



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

## TYPICKÉ PORUCHY PÍSTNÍCH KROUŽKŮ A JEJICH NÁPRAVNÁ OPATŘENÍ

CHARACTERISTIC PISTON RING FAILURES AND THEIR CORRECTIVE METHODS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JOSEF ORSÁG

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): Josef Orság

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:

### **Typické poruchy pístních kroužků a jejich nápravná opatření**

v anglickém jazyce:

### **Characteristic Piston Ring Failures and Their Corrective Methods**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní bakalářské práce je provést rešerši typických poruch pístních kroužků a navrhnout vhodné úpravy motoru nebo jiná nápravná opatření pro zamezení nebo zabránění jejich výskytu.

Cíle bakalářské práce:

1. rešerše konstrukce pístních kroužků
2. provozní stavy pístních kroužků
3. popis nejčastějších poruch pístních kroužků a příčiny jejich vzniku
4. návrhy nápravných opatření k zabránění výskytu problémů
5. vlastní závěr a shrnutí práce

Seznam odborné literatury:

[1] RAUSCHER, Jaroslav. Spalovací motory: studijní opory [online]. Brno, 1999.[cit. 2012-01-28]. Dostupné z: [www.iae.fme.vutbr.cz](http://www.iae.fme.vutbr.cz)

[2] VLK, František. Vozidlové spalovací motory. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, viii, 580 s. ISBN 80-238-8756-4.

[3] KOŽOUŠEK, Josef. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů II: vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1983, 483 s.

[4] MAHLE Premature Failures in Pistons

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Peter Raffai

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

V Brně, dne 20.10.2014

L.S.

---

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

---

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



## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá nejčastějšími poruchami pístních kroužků. První část práce je zaměřena na konstrukční provedení pístních kroužku a na zatížení, která na ně působí. Druhá část práce představuje jednotlivé druhy mazání. V této části je také uvedeno, k jakým stavům mazání dochází za provozu spalovacích motorů. Poslední část je věnována nejčastějším poruchám pístních kroužků, a jak lze zabránit, aby k těmto poruchám docházelo.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Pístní kroužky, píst, mazání, poruchy, opotřebení, tření, hydrodynamické mazání, mezní mazání, smíšené mazání.

## ABSTRACT

This Bachelor's thesis concerns the most common failures of piston rings. The first part of this thesis focuses on the design of a piston ring and on the load affecting it. The second part describes various kinds of lubrication. This section also shows, which lubrication states occur during operation of internal combustion engines. And final part is devoted to the most common failures of the piston rings and how to prevent them.

## KEYWORDS

Piston rings, piston, lubrication, failures, wear, friction, hydrodynamic lubrication, boundary lubrication, mixed lubrication.





## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ORSÁG, J. *Typické poruchy pístních kroužků a jejich nápravná opatření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Peter Raffai.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25. května 2015

.....

Josef Orság



## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Peteru Raffaiovi za pomoc a rady při vedení mé bakalářské práce.

Také bych chtěl poděkovat své rodině za pomoc během studia.



## OBSAH

Úvod .....	10
1 Pístní kroužky .....	11
1.1 Kategorie pístních kroužků .....	11
2 Konstrukční provedení pístních kroužků .....	12
2.1 Těsnící pístní kroužky .....	12
2.2 Stírací pístní kroužky .....	14
2.3 Zámky pístních kroužků .....	16
2.4 Materiálová a povrchová úprava pístních kroužků .....	17
3 Mechanika pístních kroužků .....	18
3.1 Kinematika pístních kroužků .....	18
3.2 Síly a momenty pístních kroužků .....	19
3.2.1 střední měrný tlak .....	20
3.2.2 Skutečný měrný tlak .....	20
3.2.3 Třecí síly mezi pístním kroužkem a pláštěm válce .....	21
3.3 Tepelné zatížení .....	21
4 Opotřebení .....	23
4.1 Adhezní opotřebení .....	23
4.2 Abrazivní opotřebení .....	24
4.3 Únavové opotřebení .....	24
4.4 Vibrační opotřebení .....	25
4.5 Erozní opotřebení .....	25
4.6 Kavitační opotřebení .....	26
5 Mazání .....	27
5.1 Mazací systém .....	27
5.2 Režimy mazání pístních kroužků .....	28
5.2.1 Hydrodynamické mazání .....	29
5.2.2 Mezní mazání .....	30
5.2.3 Smíšené mazání .....	31
5.2.4 Viskozita .....	31
6 Poruchy pístních kroužků a jejich příčiny .....	32
6.1 Poruchy způsobené nesprávnou montáží .....	32
6.1.1 Obrácený pístní kroužek při montáži .....	32
6.1.2 Překrývající se vinutá pružina nebo expander .....	32
6.1.3 Montáž s nežádoucím materiálem .....	33
6.1.4 Montáž pístního kroužku s nedostačujícím nebo poškozeným nářadím .....	33



6.1.5	Montáž pístních kroužků .....	34
6.1.6	Zabránění poruchám při montáži .....	35
6.2	Poruchy způsobené abrazivním opotřebením .....	35
6.2.1	Opotřebení pístních kroužků .....	35
6.2.2	Výskyt nečistot v motorové části .....	36
6.2.3	Zabránění abrazivnímu opotřebení .....	37
6.3	Nedostatečné mazání .....	37
6.3.1	Smývání olejového filmu ze stěny válce .....	37
6.3.2	Příčiny smývání olejového filmu ze stěny válce .....	37
6.3.3	Zabránění nedostatečnému mazání .....	38
6.4	Další příčiny poruch pístních kroužků .....	38
Závěr	.....	39



## ÚVOD

V dnešní době se neustále zvyšují výkony motorů, a s tím se zvyšují i nároky na konstrukci pístní skupiny, do které patří i pístní kroužky. Pístní kroužky pro současné spalovací motory musí pracovat v náročných podmínkách, jako jsou například vysoké teploty při provozu motoru, a přitom splňovat požadavky, které jsou na ně kladeny. Během provozu spalovacích motorů může dojít k nejrůznějším poruchám, které mohou být způsobeny právě pístními kroužky.

Tato bakalářská práce se zabývá typickými poruchami pístních kroužků a jak těmto poruchám co nejlépe zabránit. Práce je rozdělena na tři hlavní části. První se věnuje základním funkcím pístních kroužků a jejich základnímu rozdělení. Cílem druhé části je pojednat o jejich provozních stavech, ke kterým může během běhu motoru dojít. Poslední část je zaměřena na typické poruchy pístních kroužků a zamezení výskytu těchto poruch.



# 1 PÍSTNÍ KROUŽKY

Pístní kroužky jsou kruhové pružné prvky s vysoce expanzivními silami. Hlavní funkce pístních kroužků je poskytovat utěsnění plynů ve spalovacím prostoru motoru, odvod tepla z pístu do stěn válce a také řídit výšku mazací olejové vrstvy mezi pláštěm pístu a stěnou válce. Pístní kroužky se rozdělují na kroužky těsnící a stírací [8].

Při provozu motoru jsou pístní kroužky namáhány například setrvačnými silami, silami od tlaku plynů a třením o stěnu válce motoru. Tyto síly působí na kroužek, který je ohřátý na poměrně vysokou teplotu. Proto je nutné zabezpečit odpovídající funkčnost a životnost pístního kroužku [8].

Od pístního kroužku je požadováno:

- odvedení určité části tepla z tělesa pístu,
- schopnost regulovat spotřebu oleje,
- krátká doba záběhu,
- co nejlepší utěsnění spalovacího prostoru od prostoru klikové skříně,
- malé ztráty způsobené třením,
- vysoká životnost i za špatných mazacích podmínek,
- co nejmenší hmotnost,
- nízká cena [3].

## 1.1 KATEGORIE PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Pístní kroužky tvoří sadu, která se obvykle skládá z dvou až pěti kroužků, včetně alespoň jednoho těsnícího. Přesný počet na pístu závisí na typu motoru, ale většinou se jedná o dva až čtyři těsnící a nula až tři stírací kroužky. Například vysokorychlostní čtyřdobé dieselové motory mají dva nebo tři těsnící kroužky a jeden stírací. Na obr. 1 je znázorněné rozdělení pístních kroužků na pístu [8].



Obr. 1 Umístění pístních kroužků na pístu [21]



## 2 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

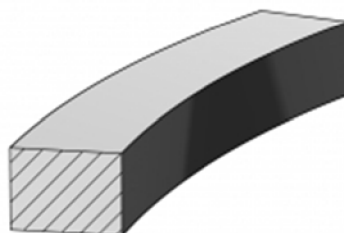
Pístní kroužky dělíme podle základních funkcí na stírací a těsnící.

### 2.1 TĚSNÍCÍ PÍSTNÍ KROUŽKY

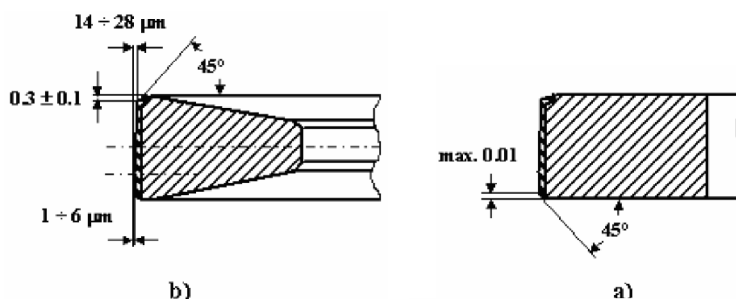
Píst je ve většině případů osazen dvěma těsnícími kroužky. Jejich funkcí je utěsnění spalovacího prostoru motoru a zabránění průchodu spalin do klikové skříně. Také se podílejí na odvodu tepla z pístu do stěn válce. Těsnící kroužky mají charakteristické tvary příčných průřezů [8].

**Těsnící kroužek s válcovou těsnící plochou**, nazývaný také jako pravoúhlý, bývá většinou používán v první drážce pístu. Nejprve byla jeho hlavní těsnící plocha čistě válcového tvaru. Toto provedení se dnes používá u málo výkonných dvoudobých motorů a motorů malé mechanizace. Plocha je pokrytá galvanicky nanesenou vrstvou tvrdochromu, která snižuje opotřebení [9].

Z důvodů vysoké třecí ztráty a nevhodné výšky olejového filmu na stěně válce se začaly používat zaoblené těsnící plochy. Ty se nazývají „balling“. Rozdělují se buď na symetrické k ose příčného profilu kroužku (obr. 3a), nebo asymetrické (obr. 3b). Tato provedení pístních kroužků splňují požadavky na omezení průniku oleje nad kroužek, což má za následek snížení spotřeby oleje motorem. Také se charakterizují ostrou spodní hranou [9].



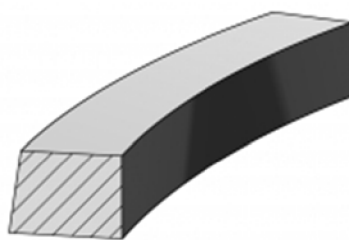
Obr. 2 Tvar příčného průřezu pístního kroužku s obdélníkovou těsnící plochou [15]



Obr. 3 Tvarování hlavní těsnící plochy pístního kroužku „balling“: a) válcového b) trapézového [9]

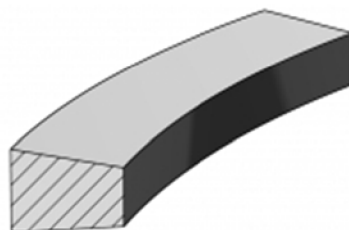
**Pístní kroužek s kuželovou těsnící plochou**, nazývaný také jako minutový, se vyznačuje tím, že při záběhu se dotýká válce jen malou plochou. Zkosení těsnící plochy pístního kroužku bývá přibližně 30' až 50'. V případě opačného namontování kroužku dochází k navýšení spotřeby oleje, a proto je kroužek popsán z horní strany značkou TOP. Tento kroužek není vhodné použít jako první těsnící, protože při působení tlaků plynu při nízkých otáčkách dochází k rozkmitání kroužku. Proto tedy bývá umístěn do druhé drážky [12].





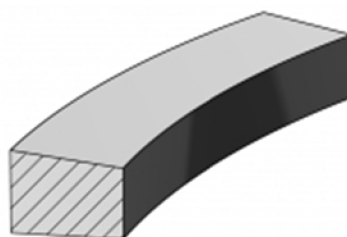
Obr. 4 Tvar příčného průřezu pístního kroužku s kuželovou těsnicí plochou (minutový) [15]

**Lichoběžníkový pístní kroužek**, tzv. trapézový, má horní i spodní dosedací plochu kuželovou se sklonem  $3^\circ$  nebo  $7,5^\circ$ . Stejněho provedení je i drážka pístu. Při pohybu pístu se mění vzájemná poloha pístu a kroužku. Při tomto pohybu se mění i axiální vůle kroužku v drážce a dochází k drcení případných karbonových usazenin, čímž nedochází k tzv. „zapečení“ kroužku [12].



Obr. 5 Tvar příčného průřezu pístního kroužku s trapézovou těsnicí plochou [15]

**Lichoběžníkový pístní kroužek jednostranný** má pouze horní plochu kuželovou. Tento kroužek je díky své vysoké odolnosti proti rozkmitání určen pro vysokootáčkové motory. Po zabudování do válce dochází kvůli nesymetrickému příčnému profilu k torznímu natočení. To má za následek, že během záběhové fáze dobře těsní spodní hrana kroužku [9].



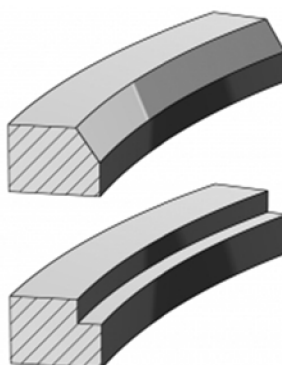
Obr. 6 Tvar příčného průřezu pístního kroužku s lichoběžníkovou jednostrannou těsnicí plochou [15]

**Torzní kroužky** mají výrazné vnitřní zkosení nebo vybrání, což po zabudování způsobuje natočení kolem neutrální osy příčného profilu. Kroužek tak dostane talířové prohnutí. Spodní hrana kroužku je v počáteční fázi záběhu v kontaktu se stěnou válce, což zajišťuje vlastnosti popsané u kroužku minutového [9].

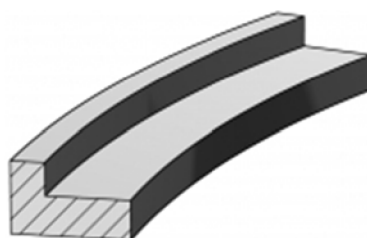
**Kroužek ve tvaru „L“** se používá pro zlepšení činnosti řídicí hrany pístu dvoudobého motoru. Působením tlaků plynů na vnitřní horní plochu se zvyšuje radiální přitlak kroužku na



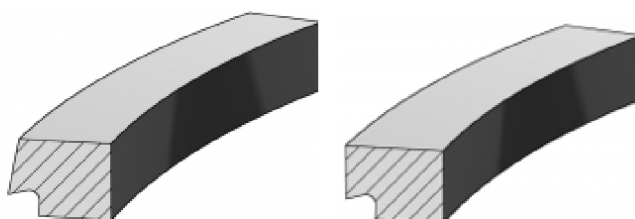
stěnu válce. Tento kroužek je odolný proti rozkmitání, proto se používá u vysokootáčkových závodních motocyklů [9].



Obr. 7 Tvar příčného průřezu torzního těsnícího pístního kroužku [15]



Obr. 8 Tvar příčného průřezu pístního kroužku tvaru „L” [15]



Obr. 9 Tvar příčného průřezu pístních kroužků s nosem [15]

**Těsnící pístní kroužky s nosem nebo také polostírací**, tzv. s osazenou pracovní plochou, jsou těsnící válcové nebo minutové kroužky, které jsou pro zvýšení stíracích účinků osazeny břitem. Stírací olej se shromažďuje ve vybrání kroužku. Tyto kroužky se používají ve druhé drážce pístu [9].

## 2.2 STÍRACÍ PÍSTNÍ KROUŽKY

Stírací pístní kroužky regulují vrstvu oleje na stěně válce a izolují spalovací prostor od olejové vany. Kroužky jsou vystaveny extrémně vysokému tepelnému a mechanickému namáhání, proto záleží na správné vrstvě mazacího oleje na stěně válce. Stírací kroužky spolu se dvěma těsnícími kroužky rovnoměrně rozdělují tenkou olejovou vrstvu po celé stěně válce. Stírací kroužky se rozdělují podle konstrukce do třech základních skupin [12]:

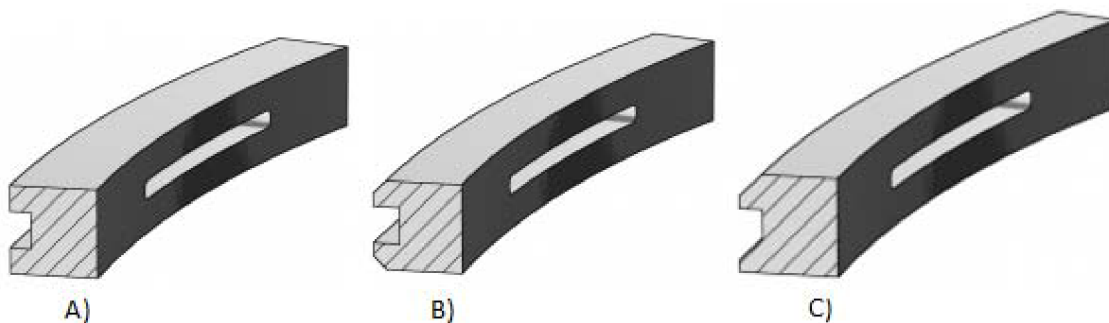
- litinové pístní kroužky vytvářející přítlak na stěnu válce vlivem vlastní pružnosti,
- litinové nebo ocelové pístní kroužky se zvýšeným přítlakem pomoci pružiny,



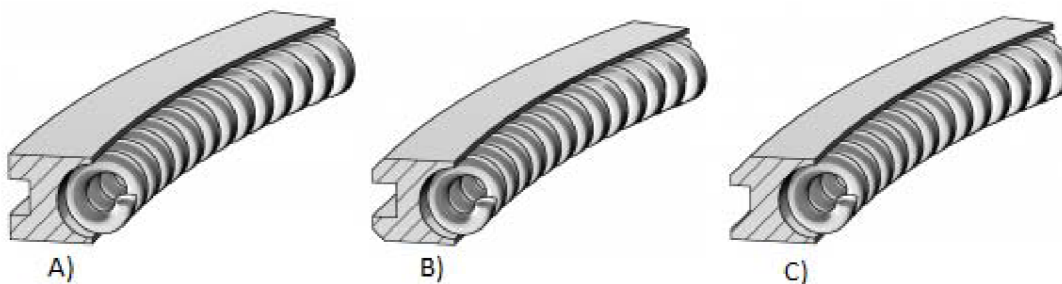
- skládané pístní kroužky.

**Stírací pístní kroužky s výřezy** jsou vyobrazeny na obr. 10. Vyznačují se tím, že u nich dochází ke kontaktu dvou břitů s různými profily se stěnou válce. Tento kroužek má díky vysokému měrnému tlaku velký stírací účinek mezi břity a stěnou válce. Setřený olej je odváděn do drážky v pístu středními výřezy v kroužku a vratnými otvory vnitřkem pístu do klikové skříně motoru. Tyto kroužky jsou u rychloběžných motorů pokryty tvrdochromem [9].

**Stírací pístní kroužek s výřezy a expanderem** je vyobrazen na obr. 11. Tento typ stíracího kroužku se skládá z profilového pístního kroužku a spirálové pružiny. Při uložení pístního kroužku na píst tato pružina způsobuje napětí, které zvyšuje tlak z pístního kroužku na stěnu válce, a tím zlepšuje stírací vlastnosti kroužku. Pružina bývá z důvodu snížení třecích ztrát mezi pístem a pístním kroužkem nejčastěji uložena v teflonovém obalu [9].



Obr. 10 Tvar příčného průřezu stíracího kroužku s: a) výřezem, b) výřezy střechovitě zkosenými, c) výřezy zkosenými [15]



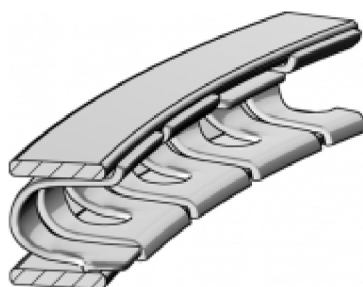
Obr. 11 Tvar příčného průřezu stíracího pístního kroužku: a) s výřezem a expanderem, b) se střechovitým zkoseným a expanderem, c) s výřezem zkoseným a expandérem [15]

Pro zabránění hromadění maziva mezi břity má pístní kroužek kanálky pro odvedení maziva zpět do klikové skříně. Tyto kanálky mohou být buď kruhové, nebo obdélníkové, přičemž v současné době se častěji používají kanálky kruhové, a to hlavně z důvodů odolnosti proti poškrábání [12].

**Stírací pístní kroužek skládaný**, zobrazený na obr. 12, se skládá z dvou ocelových lamel a rozpínací pružiny. Lamely jsou pro snížení opotřebení pokryty vrstvou tvrdochromu. Tyto kroužky jsou velmi nízké a lehké. V současné době se používají u zážehových motorů osobních automobilů. Tento typ stíracího kroužku má i své nevýhody, a to že při opotřebování



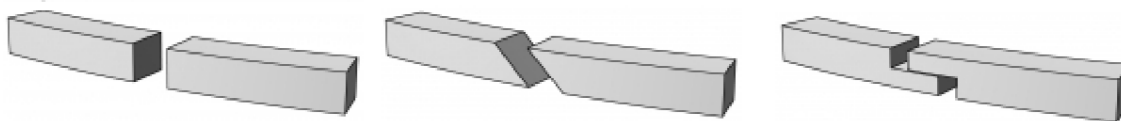
kroužku dochází k rychlejšímu poklesu měrného tlaku, čímž dochází ke spalování oleje v spalovací komoře, což má za následek razantní úbytek oleje [9].



Obr. 12 Tvar příčného průřezu stíracího pístního kroužku skládaného ze tří částí [15]

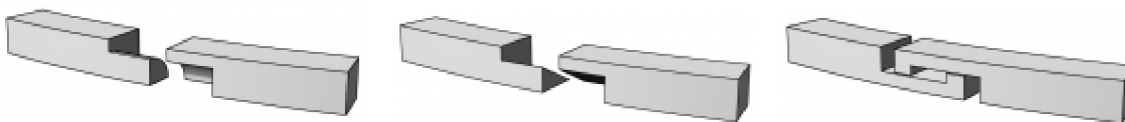
### 2.3 ZÁMKY PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Zámky pístních kroužků slouží k navlečení kroužku do drážky v pístu a roztažení kroužku při jeho ohřevu. Vůle v zámku musí být při běžné teplotě dostatečně velká, aby při maximálním ohřevu kroužku nedošlo k vymezení vůle. Pokud není vůle dostatečně velká, dochází většinou k lomu pístního kroužku. Existuje mnoho různých konstrukčních provedení zámků pístních kroužků. Nejčastějším typem je kolmý, který se používá především u čtyřdobých vozidlových motorů [9], [15].



Obr. 13 Tvary zámků pístních kroužků (zleva: kolmý, šikmý, tvarový) [16]

Dalším typem zámků jsou šikmé a tvárné. Tyto zámky můžeme vidět u velkých motorů, jako jsou lodní nebo drážní. Lepší vlastnosti, co se týče utěsnění, má zámek krokový. Hákový zámek má však pouze výhodu snadnější montáže, ale nemá žádné lepší těsnící účinky [9], [15].

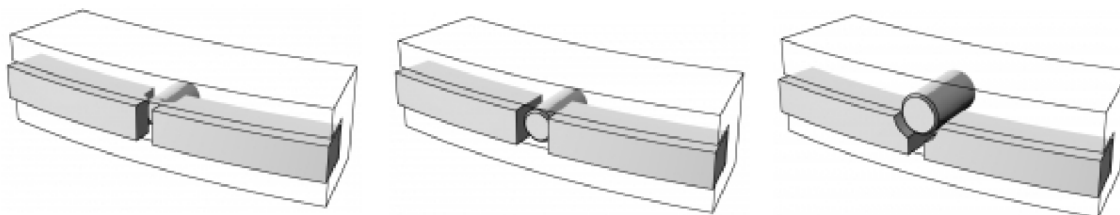


Obr. 14 Tvary zámků pístních kroužků (zleva: krokový vypouklý, krokový šikmý, hákový) [15]

U dvoudobých motorů je na rozdíl od čtyřdobých nutno zajistit otáčení pístních kroužků. Kdybychom nezajistili otáčení, hrozilo by, že se pístní kroužky dostanou volným koncem do kontaktu s hranou sacího kanálu a mohly by se zlomit. Tomuto otáčení je občas zamezeno i u pístních kroužků čtyřdobých motorů. Zamezení otáčení lze dosáhnout pomocí čepu, který je pevně spojen s drážkou pístu. Používají se tři způsoby umístění čepu vůči pístnímu kroužku. Prvním je, když čep je umístěn v kořenu drážky pístu a neprochází přes celou šířku pístního čepu. Tento způsob zajištění je nejčastější. Dalším způsobem je čep, který je opět



umístěn v kořeni pístní drážky, avšak prochází přes celou šířku pístního kroužku. Třetím a posledním typem je čep, který je umístěn ve spodní nebo vrchní části pístní drážky a v pístním kroužku jsou výřezy, do kterých je čep usazen [16].



Obr. 15 Tvary zámků pístních kroužků proti otáčení (zleva: vnitřní, centrální, boční) [16]

## 2.4 MATERIÁLOVÁ A POVRCHOVÁ ÚPRAVA PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Na materiál pístních kroužků se klade velký důraz. Materiál musí splňovat požadavky stanovené v provozních podmínkách. Kromě toho by měl být materiál odolný proti poškození i při podmínkách stavu nouze. Je nutná pružnost a odolnost proti korozi materiálu kroužku. Dále musí mít materiál dobré kluzné vlastnosti mezi materiálem stěny válce i při nedostatečném mazání a také malé opotřebení povrchu materiálu. Materiál musí být také lehce vyrobitelný a obrobitelný. Tyto požadavky splňují kroužky litinové a ocelové [12].

Litinové kroužky se vyrábí buď z temperované litiny se zrnitým grafitem, nebo ze šedé litiny. Výhodou kroužků ze šedé litiny je cena, ale naopak nevýhodou je křehkost a ztráta pružnosti při vyšších teplotách. Také u tohoto materiálu dochází k rychlému opotřebení hlavní těsnicí plochy. Výrazně vyšší pevnost mají kroužky z temperované litiny se zrnitým grafitem, které jsou také méně náchylné k praskání [8].

V dnešní době se u moderních přeplňovaných naftových motorů a u moderních benzinových motorů kladou velké nároky zejména na první těsnicí kroužek, u kterého jsou i legované šedé litiny za hranicemi možností. Zde se tedy používá tvárná litina s kuličkovým grafitem, která má horší kluzné vlastnosti oproti šedé litině. Z tohoto důvodu se používá s povrchovou úpravou [18].

Povlaky na pístních kroužcích jsou široce používány u materiálů, které mají špatné kluzné vlastnosti. Povrchové úpravy podstatně zvyšují životnost, snižují tření a zvyšují otěruvzdornost pístních kroužků. Jedním z příkladů povlaku je chrom, který se používá v těžkých abrazivních a korozních provozních podmínkách. Těžké chromování je zvláště důležité pro těsnicí kroužek [18].

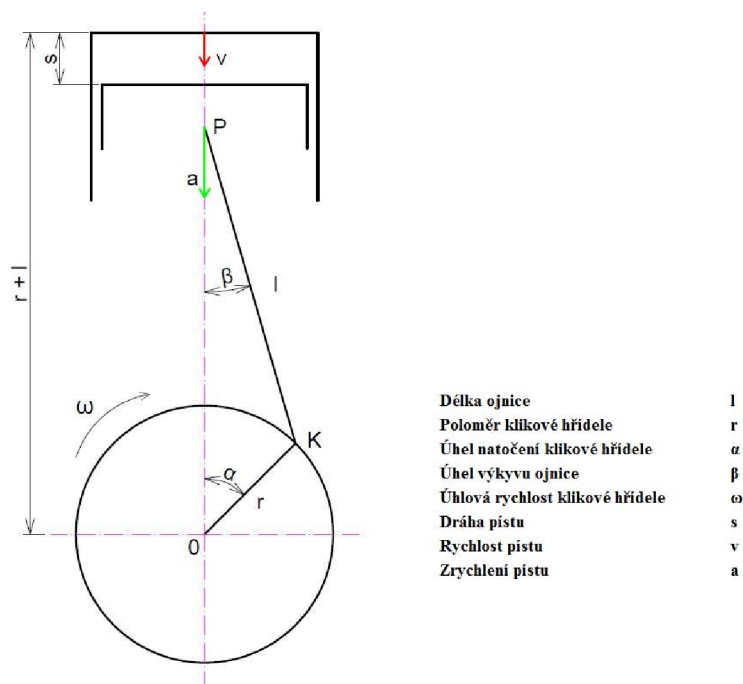


### 3 MECHANIKA PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

#### 3.1 KINEMATIKA PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Jeden z hlavních požadavků na pístní kroužky souvisí s jejich dynamikou. Na dynamice pístního kroužku závisí tvorba olejového filmu, tření mezi kroužkem a válcem pístu a opotřebení kroužku a pláště válce [1].

Primární pohyb pístních kroužků je totožný s přímočarým pohybem pístu. Tento pohyb píst cyklicky vykonává po celou dobu chodu motoru. Pro analýzu mazání a tření pístních kroužků je třeba definovat okamžitou rychlost pístu v závislosti na úhlu natočení klikové hřídele. Klikový mechanismus je znázorněn na obr. 16. Z první a druhé derivace dráhy můžeme vyjádřit rychlost a zrychlení, což je okamžitá poloha pístu v závislosti na úhlu natočení [1]:



Obr. 16 Klikový mechanismus [1]

Dráha pístu se vypočítá následovně:

$$s = r(1 - \cos\alpha + \frac{\lambda}{2} \sin^2\alpha) \quad (1)$$

kde

$$\lambda = \frac{r}{l} \quad (2)$$

$\lambda$  – ojnicní poměr

Velký ojnicní poměr, což je relativně krátká ojnice k danému zdvihu, snižuje výšku motoru, ale šikmost pozice ojnice se zvyšuje po dobu pohybu a tím se zvyšují třecí síly. Čím je větší hodnota ojnicního poměru, tím je větší odchylka od harmonického pohybu. V dnešní době pro motory osobních vozidel leží hodnota  $\lambda$  mezi  $0,2 \div 0,35$  [1].





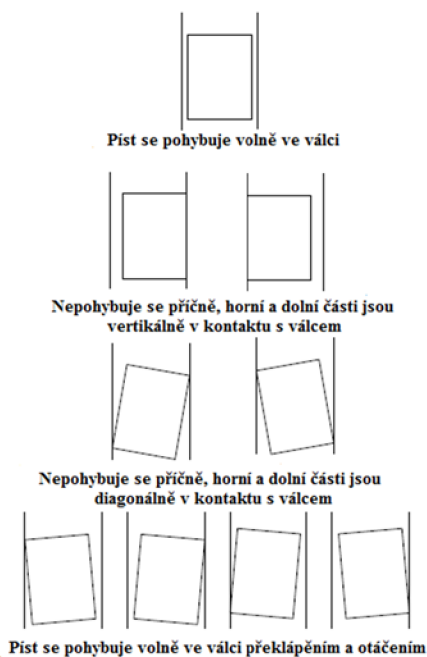
Pro okamžitou rychlost platí:

$$v_p = r\omega(\sin\alpha + \frac{\lambda}{2}\sin 2\alpha) \quad (3)$$

Z okamžité rychlosti dostaneme pomocí derivace okamžité zrychlení pístu.

$$a_p = r\omega^2(\cos\alpha + \lambda\cos 2\alpha) \quad (4)$$

Kromě vratného pohybu pístu má vliv na funkci pístních kroužků také sekundární pohyb. Tento pohyb má vliv na vzdálenost mezi pístem a pláštěm válce. Umožňuje boční pohyby a náklony pístu podle sil a momentů, které na něj působí. Základní způsoby pohybu pístu jsou uvedeny na obr. 17 [1].



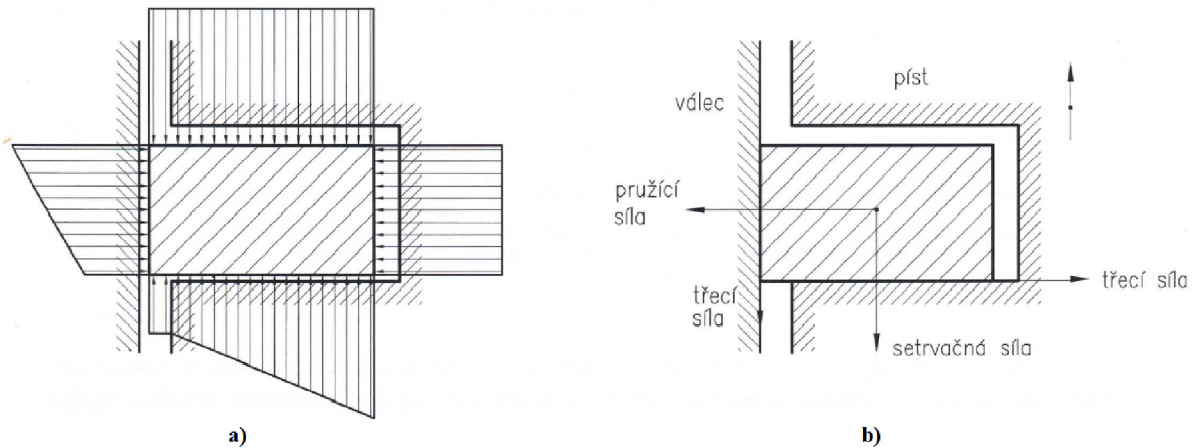
Obr. 17 Základní způsoby pohybu pístu ve válci [1][1]

### 3.2 SÍLY A MOMENTY PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Na pohybující se píst a pístní kroužek působí různé síly. Jsou to síly od tlaků plynů, setrvačné síly a vlastní pružící síly pístního kroužku. Tlak a síly působící na pístní kroužek jsou uvedeny na obr. 18 [1].

Síly působící na kroužek jsou:

- síly od tlaku plynu,
- setrvačné síly vyplývající ze zrychlení a zpomalení pístu,
- třecí síly mezi pístním kroužkem a pláštěm válce,
- zatížení od tlumení olejovým filmem.



Obr. 18 a) Tlak plynů a b) síly působící na pístní kroužek [3]

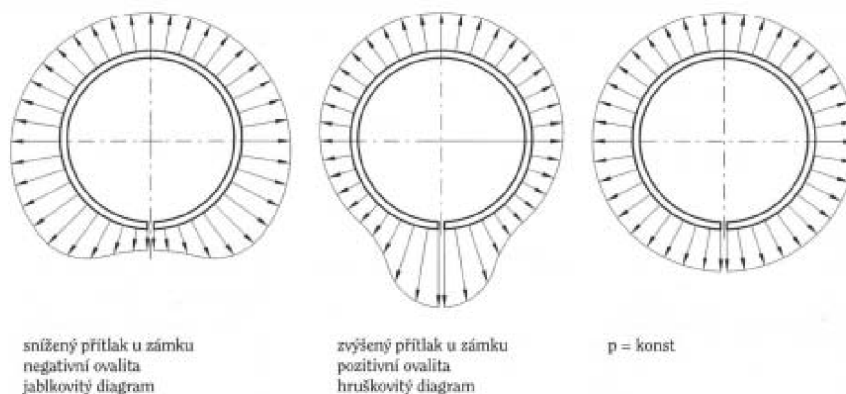
Pístní kroužky dosáhnou účinného utěsnění mezi stěnou válce v radiálním směru a horní nebo dolní části strany drážky pístního kroužku v axiálním směru. Kontaktního tlaku na stěně válce je dosaženo tlakem plynů na kroužek a u pístních kroužků, které mají pružinu, tak kontaktní tlak je dosažen ve spojení s touto pružinou. Kontakt na straně pístní drážky je dosaženo pomocí axiální síly, která působí na kroužek. Axiální síly se skládají z tlaků plynů nad a pod kroužkem, setrvačných sil a třecích sil. Tyto síly mění svůj směr během cyklu. V důsledku toho se pístní kroužek pohybuje z jedné strany drážky k druhé v průběhu cyklu. Plynové a třecí síly vytvářejí nejen axiální síly, ale také momenty okolo těžiště pístního kroužku [12].

### 3.2.1 STŘEDNÍ MĚRNÝ TLAK

Jedná se o průměrnou hodnotu tlaku pracovní plochy kroužku na stěnu válce příslušného průměru. Tyto hodnoty jsou uvedeny v normách ČSN 02 7010 až 20. Pro těsnící pístní kroužek jsou v rozmezí  $0,12 - 0,25 \text{ N/mm}^2$ . Velikost středního měrného tlaku je závislá na rozměru pístního kroužku [3].

### 3.2.2 SKUTEČNÝ MĚRNÝ TLAK

Na obr. 19 jsou vidět základní typy průběhu měrného přitlaku. Po obvodu kroužku je skutečný měrný tlak různý. Zde se jedná o rozložení přitlaku, který je vyvolán tvarem kroužku v otevřeném stavu, nikoliv tlakem plynů [3].



Obr. 19 Schéma skutečného měrného tlaku působící na pístní kroužek [3]

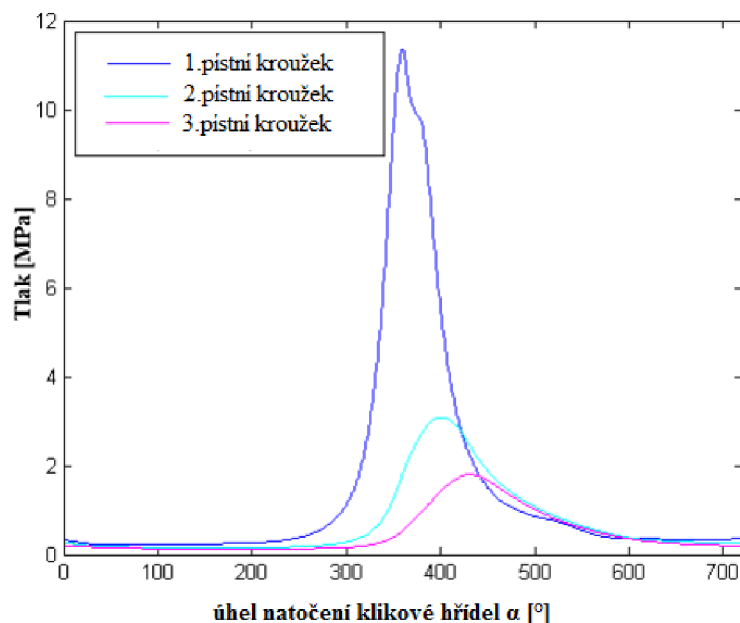




### 3.2.3 TŘECÍ SÍLY MEZI PÍSTNÍM KROUŽKEM A PLÁŠTĚM VÁLCE

Ze všech třecích ztrát ve spalovacím motoru tvoří 25 % ztráty, které se vyskytují na rozhraní mezi pístními kroužky a pláštěm válce. V důsledku toho při snížení tření pístních kroužků dojde k výraznému zlepšení účinnosti motoru, snížení spotřeby paliva a snížení emisí. Toto jsou důležité cíle pro dnešní výrobce motorů, kteří se snaží zlepšit výkon motoru a zároveň plnit stále přísnější emisní normy [1].

Třecí síly pístních kroužků jsou závislé na velikosti spalovacích tlaků a na normálové síle, která je kolmá na osu válce. Tlak za kroužky vzrůstá s nárůstem spalování plynů a zvyšuje tak přítlačnou sílu, která způsobuje zvýšené tření mezi pístním kroužkem a pláštěm válce. Nejvyšší třecí síla působí na prvním pístním kroužku, avšak ne v průběhu celého pracovního cyklu, který je přítlačován nejvyšším tlakem. Průběhy tlaku působící na pístní kroužky jsou uvedeny na obr. 20 [17].



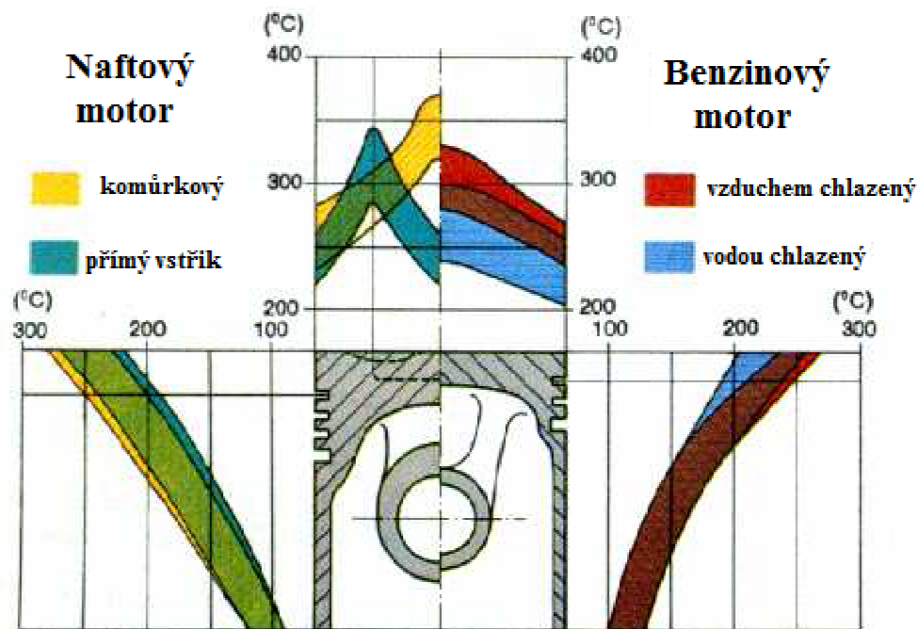
Obr. 20 Průběh tlaků působících za pístními kroužky [17]

### 3.3 TEPELNÉ ZATÍŽENÍ

První pístní kroužek je přímo vystaven spalování plynů, což má za následek přechodové změny teploty. Schématický přehled provozních teplot u naftových a benzínových automobilových motorů při plném zatížení je zobrazen na obr. 21. Přechodové maximální teploty plynu ve spalovací komoře v dieselovém motoru mohou vystoupat až na 2600 °C. Vysoké teploty způsobují problémy, jako je tepelné zatížení a zhoršení mazání olejovým filmem. Maximální teplota v drážce prvního těsnícího kroužku nesmí překročit teplotu karbonizace použitého oleje. Tato teplota je přibližně v rozmezí 220 až 260 °C a je určována velikostí výšky prvního můstku. Z důvodů většího tepelného toku u vznětových motorů je výška prvního můstku větší než u motorů benzínových. Pokud dojde k překročení této teploty, dochází ke vzniku karbonu, který následně omezí radiální a axiální pohyb kroužku, čímž dojde k zapečení kroužku na úrovni stěny můstku a ten přestává těsnit. Pokud k tomuto dojde, tak z důvodu netěsnosti začnou proudit spaliny kolem pístního kroužku a začnou zvyšovat



teplotu pístu. Při zvyšující se teplotě dochází ke zvětšení průměru pístu a tím i k postupnému zadření pístu ve válci [8].



Obr. 21 Rozložení teplot na dně a plášti pístu [9]

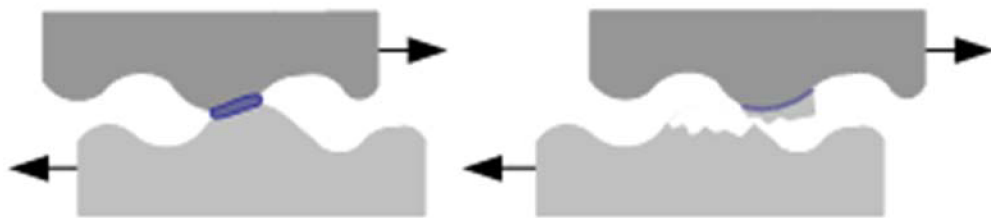


## 4 OPOTŘEBENÍ

Opotřebení pístních kroužků je nežádoucí změna rozměru nebo povrchových ploch, která je způsobena vzájemným působením kontaktních povrchů, které opotřebení vyvolává. Při kontaktu pístního kroužku s vložkou válce dochází k opotřebení povrchů. Částice obsažené v kapalině nebo v plynech způsobují nežádoucí opotřebení ploch, které jsou v kontaktu s pohyblivými součástmi. Kavitace či eroze povrchu patří k jednomu z druhů opotřebování [7].

### 4.1 ADHEZNÍ OPOTŘEBENÍ

Adhezní opotřebení je velmi vážná forma opotřebení, která se vyznačuje vysokou mírou opotřebení kluzných ploch a nestabilními součiniteli tření. Toto opotřebení je závislé na fyzikálních a chemických faktorech, jako jsou materiálové vlastnosti, přítomnost korozivní atmosféry, a také zahrnuje dynamiku, jako je rychlost a aplikované zatížení. Tento jev je však především způsobený mechanickým působením. Dochází ke kontaktu dvou kovových povrchů, které se z počátku dotýkají jen na několika drsných bodech. V těchto místech dochází právě k tření a opotřebení. Když se aplikuje zatížení tlakem, tak tyto drsné body jsou plasticky deformovány, až nakonec jsou k sobě svařeny v důsledku vysokého tlaku. Při kluzném pohybu jsou tyto částičky vytrhávány a vytváří dutiny na jednom z povrchů a prohloubeniny na druhém povrchu. Abrazivnímu opotřebení můžeme například zabránit výběrem měkčích materiálů nebo zvýšením tvrdosti materiálu [11].



Obr. 22 Adhezní opotřebení [19]

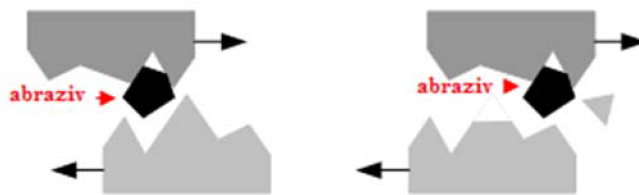


Obr. 23 Adhezní opotřebení pístního čepu [14]



## 4.2 ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

Abrazivní opotřebování vzniká v důsledku vzájemného působení tvrdých částic a funkčních povrchů součástí. Částice jsou převážně minerálního charakteru, jako je např. písek, šterk, uhelný prach atd. Při vzájemném působení funkčních povrchů dochází k oddělování a přemísťování částecek materiálů. V druhém případě se dostává tvrdá abrazivní částice mezi dva vzájemně se pohybující povrchy. Abrazivní opotřebování se projevuje výskytem rýh na povrchu. V praxi se například toto opotřebování vyskytuje na pístu a pouzdru válce u spalovacích motorů. Zabránění tomuto opotřebení lze u spalovacích motorů použitím dobré filtrace nasávaného vzduchu s filtrací motorového oleje [11].



Obr. 24 Abrazivní opotřebení [19]



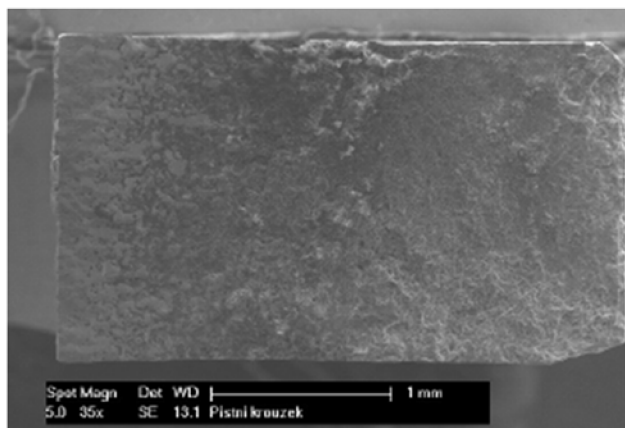
Obr. 25 Abrazivní opotřebení pístu spalovacího motoru [14]

## 4.3 ÚNAVOVÉ OPOTŘEBENÍ

Únavové opotřebení materiálu je způsobeno cyklickým zatěžováním při tření. Jedná se o progresivní a lokalizované poškození konstrukce, která nastane, když je materiál cyklicky zatěžován. Únavové trhliny začínají na povrchu a šíří se do podpovrchových oblastí. Podle cyklických podmínek může dojít k podpovrchové delaminaci a praskání. Trhliny se mohou připojovat k sobě, což vede k separaci a delaminaci kusů materiálů. Únavovému opotřebení můžeme zamezit vyšší tvrdostí povrchových vrstev, nízkou drsností styčných ploch a co nejmenšímu výskytu vměstků a jiných materiálových vad [11].



Obr. 26 Únavové opotřebení [19]



Obr. 27 Lomová plocha prasklého pistního kroužku [4]

#### 4.4 VIBRAČNÍ OPOTŘEBENÍ

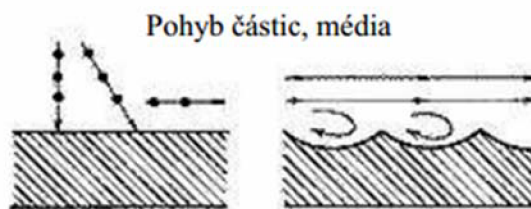
U vibračního opotřebování dochází ke kontaktu stykových ploch vlivem vzájemného tangenciálního pohybu a poměrně malé amplitudě při normálovém zatížení. Během opotřebování dochází k vytváření a porušování mikrospojů v místech kontaktu nerovností stykových ploch. V první fázi procesu nastává při působení normálových sil elastická a plastická mikrodeformace povrchových vrstev. V průběhu opotřebování dochází ke vzniku důlků na povrchu a k přemístění částic materiálu z jednoho povrchu na druhý. Vibrační opotřebování ovlivňuje mnoho faktorů, například amplituda nebo frekvence vibračního pohybu, vlivem počtu cyklů nebo vlastností materiálu atd. [4].



Obr. 28 Vibrační opotřebení valivého ložiska [14]

#### 4.5 EROZNÍ OPOTŘEBENÍ

Erozní opotřebení je způsobeno dopadem pevných částic nebo kapalných na povrch materiálu. Erozní opotřebení se vyskytuje v široké škále strojů, kde typickým příkladem je poškození plynových turbínových lopatek, když letadlo letí přes mračna prachu. Toto opotřebení zahrnuje několik mechanismů opotřebení, které jsou z velké části řízeny částicí materiálu, úhlem nárazu, rychlostí nárazu a velikostí částice [11].



Obr. 29 Erozní opotřebení [14]

#### 4.6 KAVITAČNÍ OPOTŘEBENÍ

Kavitační opotřebení nastane při kolapsu kavitační bubliny. Když se kavitační bublina zhroutí, tak okolní tekutina spěchá zaplnit prázdnotu a srazí se s povrchem materiálu. Přechodové tlaky dosahují až 1.5GPa, které se tvoří na povrchu materiálu. Vrtule, lopatky turbíny, přeliv přehrad jsou nejběžnější kavitační místa. Měkčí materiál bude mít krátery na povrchu, kdežto tvrdší povrchy budou mít trhliny, které pocházejí z podpovrchového poškození. Opotřebení kavitací může být sníženo povrchovým napětím kapaliny. Povrchové napětí kapaliny omezuje velikost kavitační bubliny. Vysoké povrchové napětí vede k větší bublině, která způsobuje větší opotřebení [11].



Obr. 30 Kavitační opotřebení pláště pistu spalovacího motoru [14]





## 5 MAZÁNÍ

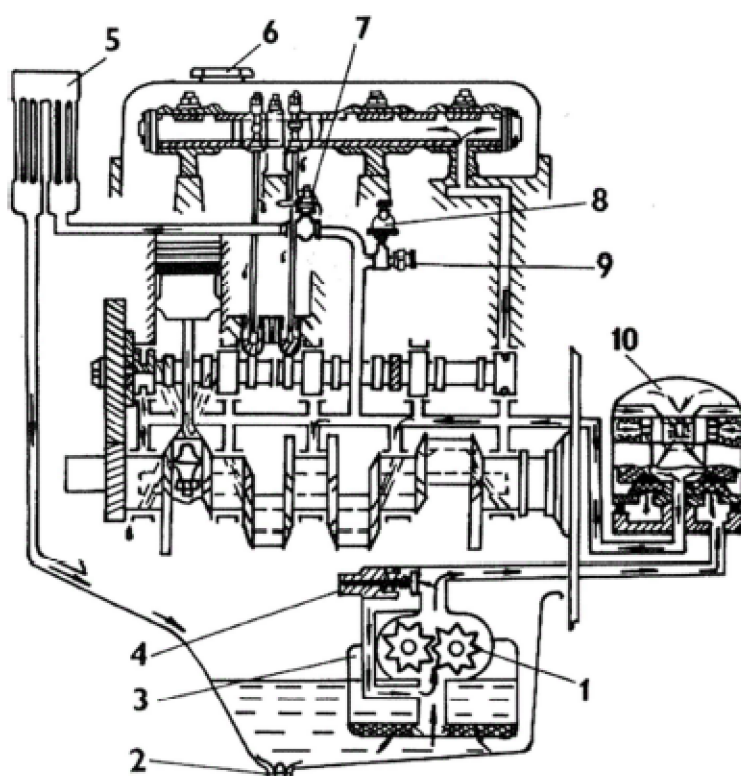
Hlavní výhodou mazání je, že při jeho použití výrazně snížíme tření při relativním pohybu dvou ploch. Toho se dosáhne především tím, že mazivo je mezi dvěma plochami, což zabraňuje, aby se přímo dotýkaly, neboť v opačném případě by došlo ke vzniku většího třecího odporu. Dalším důležitým faktorem je, že při použití mazání výrazně snížíme, nebo dokonce minimalizujeme opotřebení materiálů a také se zabrání přehřívání těchto součástí. Mazání rovněž zabrání, aby materiály korodovaly. Tyto faktory jsou tedy důležité pro životnost součástí, nebo celého stroje [2].

### 5.1 MAZACÍ SYSTÉM

Mazací systém motoru je navržen pro dopravu čistého oleje při správně teplotě a tlaku do všech částí motoru.

Mazací systém tvoří:

- olejové čerpadlo
- olejový filtr
- mazací kanály
- přetlakový ventil
- chladič olej
- zásobník oleje tzv. olejová vana



- 1 olejové čerpadlo
- 2 vypouštěcí šroub
- 3 sací koš
- 4 regulační ventil
- 5 chladič oleje
- 6 plnicí hrdlo
- 7 přepínací kohout chladiče (už se nepoužívá)
- 8 tlakoměr oleje
- 9 snímač minimálního tlaku oleje
- 10 olejový filtr

Obr. 31 Mazací systém motorů s vnitřním spalováním [20]

Olej je nasáván olejovým čerpadlem ze zásobníku oleje a přiveden k hlavním kluzným ložiskům. Z hlavních ložisek proudí olej přes mazací kanály ke klikové hřídeli a na ložiska



ojnice. Mazání pístních kroužků závisí na velikosti motoru a požadovaném množství oleje. Menší vysokorychlostní motory používají mazání rozstříkem oleje nebo tzv. rozprašovacími dýzy, které jsou umístěny na spodní straně válce. U větších motorů, které potřebují větší množství, musí být olej přiveden přímo do pístu. Přívod je řešen přes díry v ojnici na straně velkého oka, přes které se olej dostane až do válce [1].

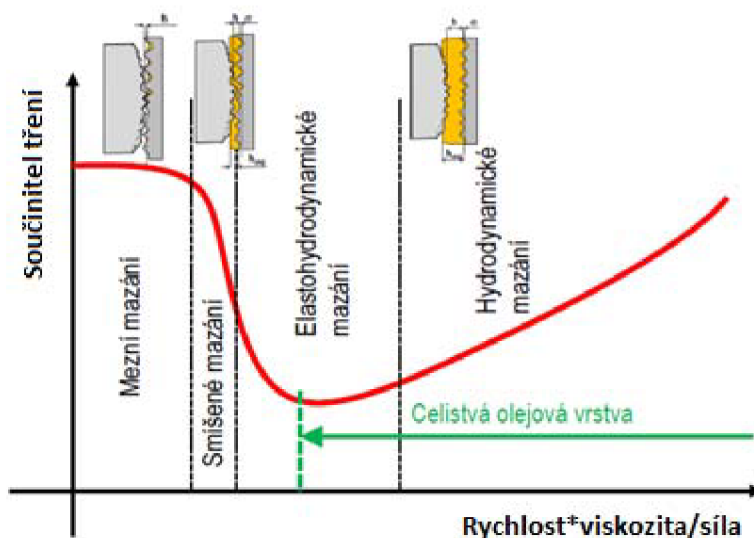
## 5.2 REŽIMY MAZÁNÍ PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

V oblasti sady pístních kroužků dochází k různým druhům mazacích režimů, kvůli změnám místní rychlosti, zatížení a drsnosti povrchu, a také dochází ke změně přísunu oleje. Nejmenší možné tření mezi pístem a stěnou válce je zajištěno hydrodynamickým mazáním. Stírací kroužky pracují převážně v režimu hydrodynamického mazání, kromě polohy horní a dolní úvratí pístu, kde dochází ke kontaktu a soustava je v smíšeném režimu. V tomto režimu se nachází i druhy kompresní kroužek, jen s tím rozdílem, že má k dispozici menší množství oleje. U prvního kompresního kroužku dochází už jen k smíšenému mazání, kromě doby kdy se kroužek nachází v horní a dolní úvratí. V tomto případě kroužek pracuje v režimu mezního mazání [1].

V závislosti na množství maziva, přítlačné síle a relativní rychlosti ploch proti sobě v soustavě, které tvoří pístní kroužky a válec, můžeme hovořit pouze o třech režimech mazání:

- hydrodynamické mazání,
- smíšené mazání,
- mezní mazání.

Oblasti jednotlivých mazacích režimů jsou vyznačené na Stribeckově křivce, která znázorňuje závislost rychlosti a součinitele tření.



Obr. 32 Stribeckova křivka [5]

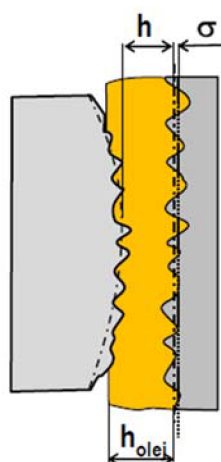




### 5.2.1 HYDRODYNAMICKÉ MAZÁNÍ

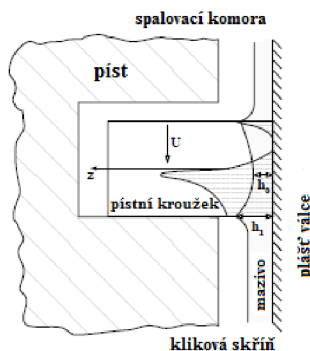
Teorie hydrodynamického mazání se objevila koncem 19. století, kdy Beauchamp Tower uskutečnil první experimenty ve své laboratoři. Výzkum Towera spočíval v nalezení vhodného mazání radiálních kluzných ložisek. Jeho výzkum vedl k objevu nové teorie, ve které dále pokračoval Osborn Reynolds [10].

Reynolds přišel s myšlenkou, že musí existovat rovnice, která popíše vzájemný vztah mezi třením, tlakem a rychlostí. Ze zákona zachování hybnosti a rovnice kontinuity odvodil diferenciální rovnici druhého řádu, která popisuje rozdělení tlaku maziva v mazací mezeře mezi třecími povrchy. Tato rovnice se stala základem současné teorie hydrodynamického mazání [10].



Obr. 33 Schéma hydrodynamického mazání [5]

Princip hydrodynamického mazání spočívá v tom, že relativně tlustý mazací film odděluje dvě třecí plochy od sebe, čímž nedochází ke kontaktu třecích povrchů. Hydrodynamická vrstva závisí především na geometrii strojních povrchů, rychlosti, zatížení a na viskozitě oleje. Minimální tloušťka mazacího filmu roste s rychlostí dodávání maziva, běžně nabývá hodnot větších než  $1 \mu\text{m}$ . Rychlost a viskozita jsou při vzniku hydrodynamického mazání nepřímo úměrné zatížení. Při dostatečně velké relativní rychlosti stykových ploch součástí, dojde k vytvoření protitlaku [2], [10].



Obr. 34 Schéma hydrodynamického mazání pístního kroužku [11]

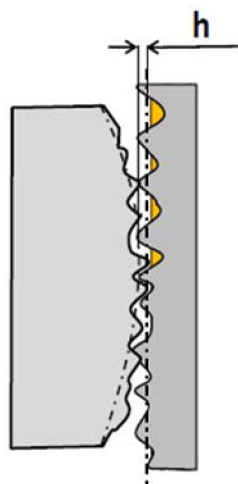


Tento protitlak umožňuje mazivem přenášet zatížení, které působí na stykové plochy. Maximální velikost průměrného protitlaku je menší než 7MPa. Velikost součásti a kvalita povrchu také ovlivňují způsob, jakým vznikne hydrodynamická vrstva [2].

Při spouštění a zastavování není dosaženo hydrodynamického mazání. Hydrodynamické mazání se také naruší při střídavém zatížení nebo při náhlé změně rychlosti. Parametr mazání, který vyjadřuje poměr tloušťky mazacího filmu k redukované drsnosti třecích ploch, nabývá při hydrodynamickém mazání hodnot v intervalu  $5 \leq \Lambda < 100$  [2].

### 5.2.2 MEZNÉ MAZÁNÍ

Při režimu mezného mazání dochází ke vzájemnému kontaktu mezi povrchovými nerovnostmi, z důvodu nedostatečného oddělení dvou stykových ploch mazivem. Účinky hydrodynamického mazacího efektu jsou zanedbatelné. Zatížení je zde přenášeno velmi tenkým mazacím filmem. Běžné základní vlastnosti maziva nejsou tak podstatné a součinitel tření je na viskozitě téměř nezávislý. K meznému mazání obvykle dochází při podmínkách vysokého zatížení a nízké rychlosti [2].



Obr. 35 Schéma mezného mazání [5]

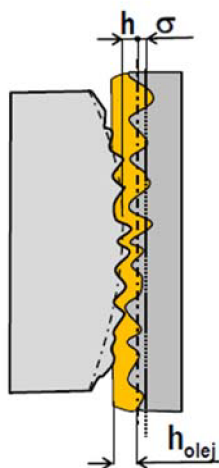
Tření je určeno vlastnostmi materiálů v kontaktu a mezními vrstvami vzniklými na třecích površích. Hlavní vliv má mazivo na vznik mezních vrstev a částečný vliv mají přísady maziva a materiálové vlastnosti kontaktních ploch. Pokrytí povrchů mezními vrstvami se řídí zákony absorpce a závisí na teplotě a koncentraci daných látek. Tloušťka mezních vrstev je velmi malá, obvykle to je mezi 1 až 10 nm v závislosti na velikosti jednotlivých molekul maziva. Při mezném mazání nabývá parametr mazání hodnot v intervalu  $\Lambda < 1$  [2].

Se zatížením u mezného mazání výrazně roste opotřebení kontaktních ploch, než u hydrodynamického mazání. Nicméně mezní mazání je stále přijatelnější, ve srovnání s nemazanými povrchy funkčních ploch. U pístních kroužků může dojít k meznému mazání v horní a dolní úvratí a to především u prvního kompresního kroužku [2].



### 5.2.3 SMÍŠENÉ MAZÁNÍ

Režim smíšeného mazání nastává, jestliže v režimu hydrodynamického mazání se zatížení příliš zvýší nebo rychlost se sníží natolik, že v mazací vrstvě se nevytvoří dostatečný tlak na snášení zatížení. Výška mazacího filmu se natolik sníží, že je rovna nebo je menší než nejmenší vzdálenost nerovností povrchů, a tím dochází ke kontaktu výstupků. V tomto režimu mazání je na rozdíl od mezního mazání dostatečné množství maziva. Zátěž je přivedena zčásti tlakem kontaktním a zčásti hydrodynamickým. V tomto případě parametr mazání dosahuje hodnoty v intervalu  $1 \leq \Lambda < 5$  a tloušťka mezních vrstev je obvykle mezi 0,01 až 1  $\mu\text{m}$  [2].



Obr. 36 Schéma smíšeného mazání [5]

### 5.2.4 VISKOZITA

Důležitou vlastností tekutých maziv je viskozita, což je velikost vnitřního tření molekul a projevuje se odporem při pohybu jejich částic. Čím větší je viskozita, tím se zvětšuje i tření. Rozdělujeme viskozitu na dynamickou a kinematickou, která se vyskytuje u základních údajů maziv. Pokud vynásobíme kinematickou viskozitu hustotou kapaliny, dostáváme dynamickou viskozitu. Základní vlastnosti viskozity jsou závislé na teplotě a tlaku. Při vzrůstající teplotě viskozita klesá, ale při vzrůstajícím tlaku stoupá, přičemž závisí na chemickém složení kapaliny [2].



## 6 PORUCHY PÍSTNÍCH KROUŽKŮ A JEJICH PŘÍČINY

Předčasná příčina poruchy nebo opotřebení obvykle nespočívá v samotném pístním kroužku, ale spíše v jiných problémech v motoru. Pro zabránění opakování stejného problému je potřeba tuto závadu najít a odstranit ji ještě před opravou motoru. Nejčastěji může dojít k poškození způsobenému nedostatečným přívodem mazacího oleje, jeho zadřením, stárnutím, nečistotami, špatným seřizením nebo poruchou trysek mazání a chlazení válců nebo špatným spalováním. K poškození také může dojít od pevných částic, které se do motoru dostaly v důsledku závady vzduchového filtru nebo poškozením sacího systému vzduchu [16].

### 6.1 PORUCHY ZPŮSOBENÉ NESPRÁVNOU MONTÁŽÍ

#### 6.1.1 OBRÁCENÝ PÍSTNÍ KROUŽEK PŘI MONTÁŽI

Plocha pístního kroužku, která je označena rytinou např. TOP, GOE nebo AE, je umístěna opačně do drážky pístu. Pístní kroužky, které nejsou označeny žádnou rytinou, nevyžadují zvláštní orientaci. Nejzávažnější porucha může nastat u stíracího kroužku, který přestane plnit svou funkci. Pokud je vložen obráceně na píst, tak místo toho, aby se olej stíral dolů do klikové skříně, tak se začne dostávat také do spalovacího prostoru, což má za následek vysokou spotřebu oleje. Také se zvyšuje kontaminace mazacího oleje, která snižuje životnost maziva, a tím vzrůstá pravděpodobnost poškození ostatních komponentů motoru, jako jsou ojnice, ložiska či pouzdra **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**[6].



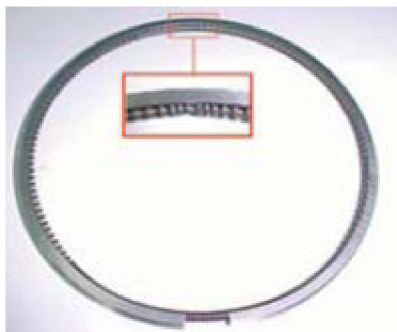
Obr. 37 Obrácený pístní kroužek na pístu [6]

#### 6.1.2 PŘEKRÝVAJÍCÍ SE VINUTÁ PRUŽINA NEBO EXPANDER

Vinutá pružina nebo konce expanderu jsou umístěny tak, že se překrývají. Překrytí vinuté pružiny nebo expanderu způsobuje snížení radiálního tlaku na pístním kroužku, kterým se řídí stírání mazacího oleje. Při tomto snížení radiální síly dochází k špatnému stírání oleje na stěně válce, což má za následek značné zvýšení spotřeby oleje. Tyto poruchy jsou zobrazeny na obr. 38 a obr. 39. [6].



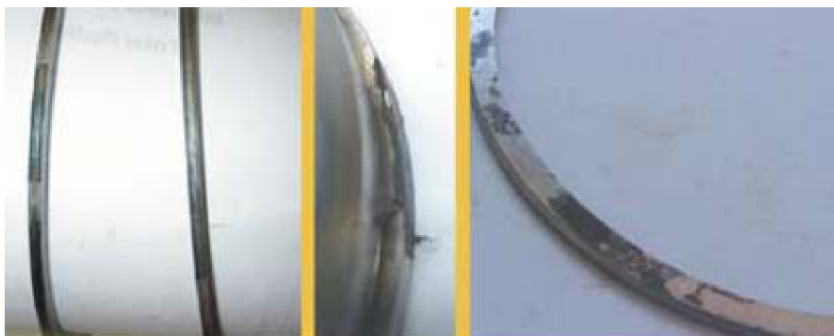
Obr. 38 Překrytí konce expanderu [6]



Obr. 39 Překrytí vynutí pružiny [6]

### 6.1.3 MONTÁŽ S NEŽÁDOUCÍM MATERIÁLEM

Pístní kroužky mají na svých provozních plochách impregnovaný nežádoucí materiál, který je vidět na obr. 40. Použitím lepidla pro těsnění motoru v blízkosti válců dojde ke kontaminaci pístního kroužku. Dochází tak k nerovnoměrnému rozložení tlaků v obvodu pístního kroužku, což způsobuje snížení těsnění mezi pístním kroužkem a válcem motoru. Při této poruše se snižuje životnost pístního kroužku, což způsobuje zvýšení spotřeby mazacího oleje a nepravidelné opotřebování válce [6].



Obr. 40 Nežádoucí materiál na pístním kroužku [6]

### 6.1.4 MONTÁŽ PÍSTNÍHO KROUŽKU S NEDOSTAČUJÍCÍM NEBO POŠKOZENÝM NÁŘADÍM

Tato porucha se vyznačuje zkrouceným nebo deformovaným pístním kroužkem. Montáž pístního kroužku do drážky pístu byla provedena bez odpovídajících nástrojů, jako jsou kroužkové kleště. Pístní kroužek trpí nežádoucím napětím a deformacemi. Při této deformaci dojde k snížení těsnění na stranách pístního kroužku. Kvůli těmto podmínkám se pístní kroužky nebudou pohybovat v drážkách, čímž dochází k nepravidelnému opotřebování na stěnách válce, zvýšení spotřeby oleje a unikání spalin do klikové skříně. Další porucha může





vzniknout od nástroje pro uzavření pístních kroužků. Tento nástroj je znám jako svěrka pístních kroužků. Pokud svěrka zcela neuzavře pístní kroužek v drážce, tak jejich postranní plochy budou kolidovat s okrajem válce. To může vést k poškození nebo dokonce k prasknutí pístního kroužku [6].



*Obr. 41 Odštipnutí kontaktní plochy [6]*



*Obr. 42 Vyhnutí konců pístního kroužku [6]*

### 6.1.5 MONTÁŽ PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Z důvodu stále složitější konstrukce a provedení pístních kroužků nemusí být jejich fyzikální vlastnosti a rozměry vždy rozlišitelné pouhým okem. Proto je třeba být obezřetný na jejich orientaci při montáži. Pokud pístní kroužek má na jedné straně uvedenu značku top, tak musí být tato značka orientovaná tak, aby směřovala ke dnu pístu, není-li uvedeno jinak. Při osazování pístního kroužku je nutné použít kleště pro osazení kroužku na píst. Kroužek by se neměl při navlékání na píst rozevírat více, než je potřeba. Pokud dojde k příliš širokému otevření, může dojít k poškození, deformaci nebo dokonce k prasknutí kroužku. Nanesená povrchová vrstva kroužku se může odloupnout od podkladu nebo poškodit, takže při provozu dochází k prasknutí kroužku. Stírací kroužek se nasazuje na píst jako první, následně se nasadí spodní těsnící kroužek a nakonec horní těsnící kroužek. Stírací kroužky s expanderem jsou třídílné. Nejprve se vloží expander a pak horní a spodní část kroužku v úhlu od 45° do 90° z jedné nebo druhé strany spoje expanderu [16].



Obr. 43 Sada nástrojů pro montáž pístních kroužků [13]

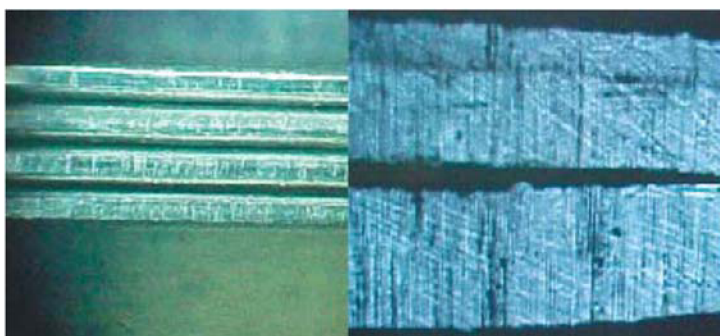
### 6.1.6 ZABRÁNĚNÍ PORUCHÁM PŘI MONTÁŽI

Aby nedošlo při montáži k porušení pístního kroužku, je zapotřebí v první řadě používat vhodné nářadí na jejich montáž. Pro správnou funkci se musí použít správný pístní kroužek a vhodně ho umístit do drážky na pístu. Před umístěním kroužku na píst je vždy nutné kroužek řádně očistit od veškerých nečistot a po montáži zkontrolovat, zda kroužek sedí správně v drážce a že nedošlo při montáži k poškození pístního kroužku [16].

## 6.2 PORUCHY ZPŮSOBENÉ ABRAZIVNÍM OPOTŘEBENÍM

### 6.2.1 OPOTŘEBENÍ PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Opotřebení pístních kroužků a vložek válců může být způsobeno drobnými abrazivními částicemi v mazacím oleji. Tyto částice různých velikostí jsou přítomny ve vzduchu. Částice obsažené v mazivu mohou být například písek, prach, uhelný prach a mnoho dalších. Kontaminující částice způsobující abrazivní opotřebení mohou pocházet z olejové vany nebo ze spalovací komory. Mezi kroužkem a vložkou válce vznikají vysoké třecí síly, které vedou ke vzniku rýh na plochách kroužku a na ploše válce [6].



Obr. 44 Škrábance na kontaktních plochách pístních kroužků [6]

### INTERVAL VÝMĚNY OLEJE

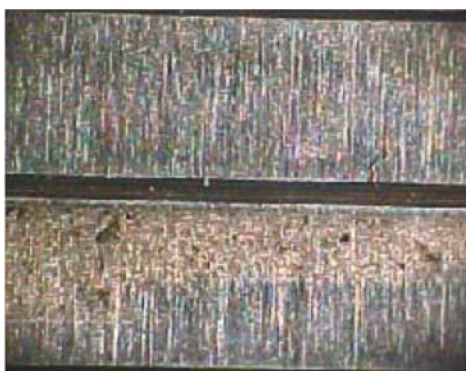
Důvodem výměny motorového oleje je, že olej je po jistém čase degradován z hlediska viskozity a oxidace a také obsahuje pevné nebo kapalné nečistoty v oleji. Přítomnost nečistot v oleji je obecně nežádoucí. Pevné nečistoty mohou způsobit abrazivní opotřebení a tekuté nečistoty vyvolávají korozní a chemické opotřebení a změnu viskozity. K nežádoucímu



leštění válcových vložek v dieselovém motoru za provozu může dojít, pokud jsou přítomny korozivní nečistoty a malé brusné částice. Nečistoty v motorovém oleji se objevují v průběhu času. Interval výměny oleje mohou být stanoveny na základě provozních hodin, zejména v případě menší motorů, nebo u automobilů se řídí podle počtu najetých kilometrů [1].

### NEČISTOTY OBSAŽENÉ V OLEJI

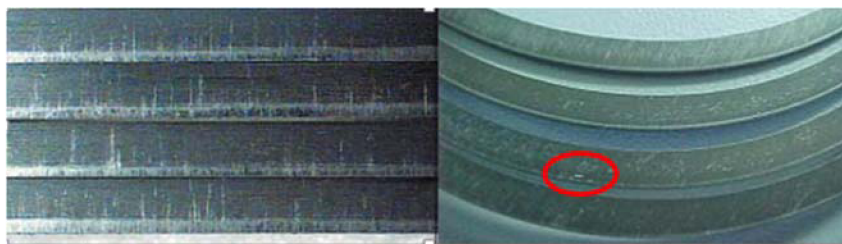
Olej v klikové skříni, který je kontaminován abrazivními částicemi, vede k opotřebení pláště pístu pod pístními kroužky. Pístní kroužky trpí opotřebením, jsou-li částice dostatečně velké a obsažené ve velké koncentraci v motorovém oleji. Původ kontaminace částic v oleji může pocházet ze sazí ze spalovací komory nebo z nasátí prachu a podobných minerálních látek. Během záběhu motoru je vyšší pravděpodobnost otěru větších částic než při běžném provozu. Použitím odpovídajícího olejového filtru se účinně zabrání koncentraci částic v mazacím oleji [6].



Obr. 45 Pístní kroužky se škrábanci na kontaktních plochách [6]

### KAPALNÉ NEBO ROZPUŠTĚNÉ NEČISTOTY V OLEJI

Ke kapalnému znečištění oleje může dojít různými způsoby, jako například ze zbytku paliva, produktů ze spalování nebo ze zkondenzované vody. Kapalně nečistoty ovlivňují viskozitu oleje nebo způsobují korozi mazacích ploch. Kromě vody je většina kapalných nebo rozpuštěných nečistot obtížně mechanicky oddělitelná od mazacího oleje [6].



Obr. 46 Škrábance na kontaktních a bočních plochách pístních kroužků [6]

#### 6.2.2 VÝSKYT NEČISTOT V MOTOROVÉ ČÁSTI

Brusné nečistoty mohou vstoupit do motoru přes:

- nedostatečný systém vzduchového filtru – znečištěné nebo nesprávné filtrační prvky, díry nebo trhliny ve vzduchové hadici, poškozené svorky a poškozené těsnění na sacím potrubí;
- obráběcí zbytky – nedostatečné vyčištění brusných částic vzniklých při honování;





- palivový filtrační systém – nesprávné použití palivového filtru a použití nekvalitního paliva.

### 6.2.3 ZABRÁNĚNÍ ABRAZIVNÍMU OPOTŘEBENÍ

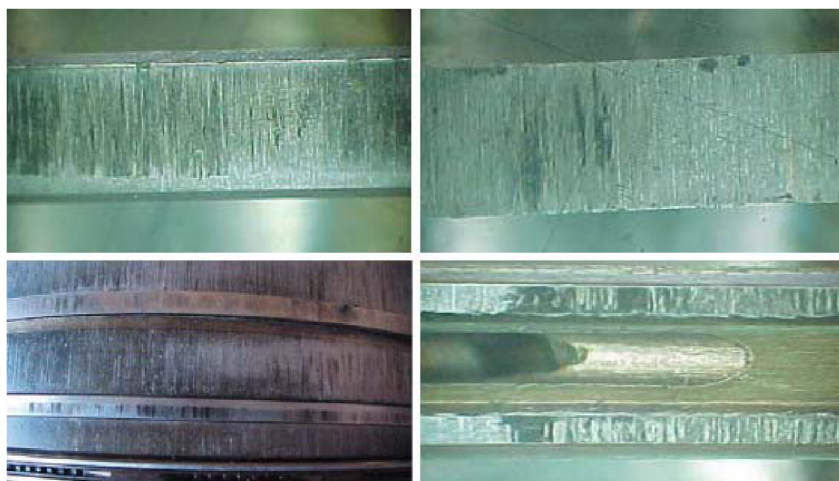
Zabránit abrazivnímu opotřebení lze následovně:

- pravidelná výměna vzduchového oleje,
- správná instalace filtračních prvků (kontrola popraskaného nebo vadného těsnění včetně sacího potrubí),
- odstranění nečistot před montáží při honování válce, broušení ventilů nebo jakékoliv podobné operace,
- pravidelná a správná výměna motorového oleje.

## 6.3 NEDOSTATEČNÉ MAZÁNÍ

### 6.3.1 SMÝVÁNÍ OLEJOVÉHO FILMU ZE STĚNY VÁLCE

Na pístních kroužkách je viditelné odírání dosedací plochy. Mazací olej má řadu funkcí, dvě z nich jsou: podílet se na chlazení vnitřních součástí motoru a snížení tření mezi pohybujícími se částmi. Porucha smývání olejového filmu nastává, když se dostane do spalovací komory velké množství bohaté směsi, která se nestihne spálit a následně vypařit. Přebytková směs začne stékat po stěně válce a tím dochází ke smývání olejového filmu ze stěny válce. Smývání oleje má za následek nedostatečnou tloušťku olejového filmu, čímž dojde ke styku plochy pístního kroužku se stěnou válce. To vede k zadírávání pístních kroužků a tím k poškození chodu motoru [6].



Obr. 47 Odírání dosedací plochy pístních kroužků [6]

### 6.3.2 PŘÍČINY SMÝVÁNÍ OLEJOVÉHO FILMU ZE STĚNY VÁLCE

K poruše, při které dochází k smývání olejového filmu ze stěny válce, dochází především z důvodu špatného seřízení vstřikovacího systému. Nesprávná regulace vstřikovacího čerpadla a trysky má za následek řadu změn. Mezi tyto změny patří především nesprávné množství dodané spalovací směsi, synchronizace prvků čerpadel nebo špatné načasování vstřikování paliva do spalovací komory. Toto všechno vede ke smývání olejové vrstvy na stěně válce a tím dochází k zvýšení tření a ohřevu pístních kroužků. Tím také dochází k odlupování (obr. 48) a může dojít k zadření válců [6].



Obr. 48 Odlupování povlaku z pístních kroužků [6]

### 6.3.3 ZABRÁNĚNÍ NEDOSTATEČNÉMU MAZÁNÍ

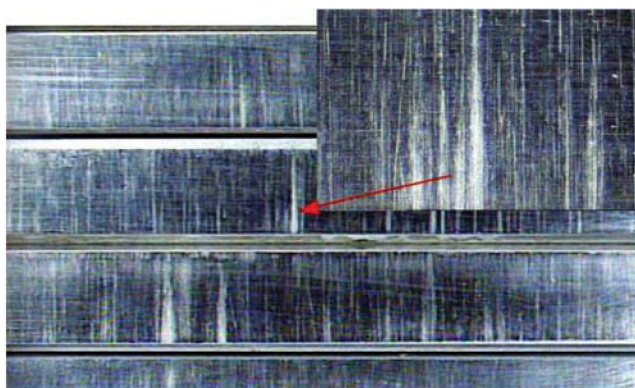
Zabránit nedostatečnému mazání a tím i poškození motoru lze:

- správným nastavením vstřikovacího systému a karburátoru,
- pravidelnou kontrolou a výměnou motorového oleje,
- používáním správných a originálních dílů klikového mechanismu,
- kvalitní palivovou směsí,
- udržováním chladicího systému.

### 6.4 DALŠÍ PŘÍČINY PORUCH PÍSTNÍCH KROUŽKŮ

Mezi další příčiny poruch patří škrábance na kontaktních plochách pístních kroužků, především na kroužcích v první drážce. Tato porucha souvisí s úpravou válce po honování. Příliš vysoká drsnost má za následek vysoké riziko opotřebování kontaktní plochy pístního kroužku. Naopak příliš nízká drsnost pístního kroužku zachovává méně mazacího oleje na stěně válce [6].

Proto je velmi důležité při honování válce dodržovat správný úhel honování a správnou drsnost, kterou doporučil výrobce motoru.



Obr. 49 Škrábance na pístních kroužcích [6]



## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo popsat nejčastější poruchy pístních kroužků. Ty jsou v dnešní době velmi důležité pro zvýšení výkonu spalovacích motorů. Navzdory vyšším výkonům selže mnoho motorů příliš brzy. K předčasnému selhání může dojít v průběhu poslední generální opravy motoru (např. při vkládání pístního kroužku došlo k mechanickému poškození tohoto kroužku) nebo může být výsledkem provozních podmínek.

K nejčastějším poruchám pístních kroužků dochází při abrazivním opotřebením, kde se do prostoru mezi kroužek a plášť válce dostanou nežádoucí částice. Tyto částice způsobí porušení kontaktních ploch jak kroužků, tak i vložky válce. Další selhání může být příčinou neopatrné montáže kroužků na píst nebo neodstranění všech nečistot při generální opravě spalovacích motorů.

Selhání pístů nebo pístních kroužků se obvykle projeví vysokou spotřebou oleje nebo dochází ke ztrátě výkonu motoru. Kroužky vlastně při těchto poruchách přestanou plnit svoje hlavní úlohy, a to utěsnit prostor mezi spalovací komorou a klikovou skříní nebo přestanou odvádět teplo z pístu na plášť válce.

Zabránění nebo minimalizaci výskytu poruch lze dosáhnout především pravidelnou kontrolou filtračních prvků, a to jak olejových, tak vzduchových. Při generální opravě motoru je důležité, aby opravu prováděli kvalifikovaní mechanici, kteří s touto problematikou jsou seznámeni. Pokud se objeví náznaky poruch, je třeba je okamžitě řešit, jinak může dojít až k zadření pístu nebo k velice nákladné opravě motoru.



## 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] DETERS, L. *Springer Handbook of Mechanical Engineering*. Part B. [s.l.] : [s.n.], Tribology, 2009, s. 295-326. ISBN 978-3-540-491.
- [3] HRABÁK, V. a kol. *Pístní kroužky: Konstrukce, výroba, provoz*. Buzuluk Komárov, a.s., Charlie Hořovice, 2000.
- [4] KRŽIŽ, A. Analýza pístních kroužků: Technická zpráva. ZČU, Plzeň, 2012
- [5] NOVOTNY, Pavel. *Základy aplikované tribologie*. Brno [cit. 2015-04-20]. Přednáška. Vysoké učení technické v Brně.
- [6] MAHLE. 2006. Failure manual: piston rings.
- [7] PLUHAŘ, J., KORITA, J. *Strojírenské materiály*. Druhé, přepracované vydání, Praha, SNTL, Nakladatelství technické literatury, 1977.
- [8] RAUSCHER, J. *Vozidlové motory*. Studijní opory VUT v Brně, 2005.
- [9] RAUSCHER, J. *Spalovací motory*. Studijní opory VUT v Brně, 2005.
- [10] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [11] STACHOWIAK, G. a A. BATCHELOR. *Engineering tribology*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, xxiv, 801 s. ISBN 07-506-7836-4.
- [12] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 580 s. ISBN 80-238-8756-4.
- [13] *Dobré nářadí* [online]. [cit. 5.5.2015]. Dostupný na WWW: <http://www.dobrenaradi.cz/zbozi/sada-na-montaz-a-servis-pistnich-krouzku/p-2058>
- [14] FAMFULÍK, Jan, Jana MÍKOVÁ a Radek KRZYŽANEK. *Teorie údržby*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1509-1. Dostupné také z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TU/TU/>
- [15] FEDERAL-MOGUL BURSCHEID GMBH. *Piston Ring Handbook* [online]. 2008 [cit. 2015-03-15]. Dostupné z: <http://korihandbook.federalmogul.com/en/index.htm>
- [16] FEDERAL-MOGUL. *Montážní příručka: pro montáž pístních kroužků pístů a vložek válců*. 2007. Dostupné také z: [http://www.cesomot.cz/doc\\_cz/GOETZE-NURAL-AE\\_pokyny\\_pro\\_montaz\\_pistnich\\_krouzku\\_pistu\\_a\\_vlozek\\_valcu.pdf](http://www.cesomot.cz/doc_cz/GOETZE-NURAL-AE_pokyny_pro_montaz_pistnich_krouzku_pistu_a_vlozek_valcu.pdf)



- [17] HONC, R. *Obecné řešení ztrát klikového mechanismu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 77 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Novotný, Ph.D. Dostupné také z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/7625>
- [18] CHOCHOLATÝ, Ondřej. *Vlastnosti, zkoušení a vývoj kompozitních Cr povlaků pro pístní kroužky*. Plzeň, 2012. Dizertační práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Antonín Kříž. Dostupné také z: <https://otik.uk.zcu.cz/handle/11025/5842>
- [19] KOPELIOVICH, Dmitri. *Mechanisms of wear*. In: SubsTech [online]. 7.4.2014 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php>
- [20] Lubrication systems for petrol engines (automobile). In: *What-when-how* [online]. Dostupné z: <http://what-when-how.com/automobile/lubrication-systems-for-petrolengines-automobile/>
- [21] *STREET TUNED MOTORSPORTS* [online]. 2007. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: [http://www.streettunedmotorsports.com/parts/je\\_piston\\_rings\\_4g63.htm](http://www.streettunedmotorsports.com/parts/je_piston_rings_4g63.htm)



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$a_p$	$[\text{ms}^{-2}]$	Zrychlení pístu
$h$	$[\text{m}]$	Minimální mezera olejového filmu
$l$	$[\text{m}]$	Délka ojnice
$r$	$[\text{m}]$	Poloměr kliky
$s$	$[\text{m}]$	Dráha pístu
$\Lambda$	$[-]$	Parametr mazání
$v_p$	$[\text{ms}^{-1}]$	Rychlost pístu
$\alpha$	$[\text{°}]$	Úhel natočení klikového hřídele
$\beta$	$[\text{°}]$	Úhel výkyvu ojnice
$\lambda$	$[-]$	Klikový poměr
$\sigma$	$[\text{m}]$	Střední aritmetická drsnost
$\omega$	$[\text{s}^{-1}]$	Úhlová rychlost klikové hřídele