



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VÁLCE ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

THE CYLINDERS OF FOUR-STROKE ENGINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Vanda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jozef Dlugoš

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Marek Vanda
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Jozef Dlugoš
Akademický rok:	2015/16

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:

Válce čtyřdobých spalovacích motorů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Válce čtyřdobých motorů mají dlouhou historii, během které se vyvinula různá konstrukční řešení jako i použité materiály. Tyto aspekty mají vliv na samotnou funkci válce, která úzce souvisí s dynamikou pístní skupiny.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Úvod do problematiky válců čtyřdobých spalovacích motorů.
- 2) Funkce a požadavky válců čtyřdobých spalovacích motorů.
- 3) Historické řešení konstrukce válců čtyřdobých spalovacích motorů.
- 4) Soudobé válce čtyřdobých spalovacích motorů.
- 5) Závěr

Seznam literatury:

Heywood, J. B. (1988): Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill, 930 p. ISBN 0-07-028637-X.

Skotsky, A. A. (2009): Automotive Engines. Springer Verlag. ISBN 978-3-642-00163-5.

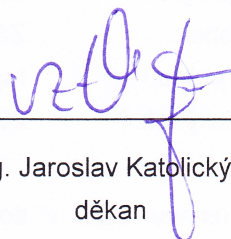
Jan, Z., Ždánsky, B. (2009): Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o. ISBN 978-80-87143-15-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 4. 11. 2015



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan



ABSTRAKT

Tématem této bakalářské práce jsou pracovní válce čtyřdobých pístových spalovacích motorů. První část práce obecně popisuje princip čtyřdobého pracovního cyklu, konstrukci zážehových a vznětových motorů. Další části jsou zaměřeny na popis funkcí a požadavků pracovních válců. Uveden je také vliv válců na samotný chod motoru a jeho životnost. Dále je pozornost zaměřena na jednotlivé způsoby konstrukce válců, materiály a jejich použití v minulosti a dnes.

KLÍČOVÁ SLOVA

spalovací motor, čtyřdobý cyklus, vnitřní spalování, válec, mokrá vložka, suchá vložka, blok motoru, blok válců, povrchové úpravy,

ABSTRACT

The topic of this bachelor thesis is Cylinders of Four-stroke Engines. First part is about four-stroke cycle, engine construction. Next parts are about cylinders, their function and requirements. Also included is the importance of the cylinders on the engine operation and engine life. Last part is focused on the construction, materials of the cylinders and their usage in the past and today.

KEYWORDS

Combustion engine, four-stroke cycle, internal combustion, cylinder, wet liner, dry liner, engine block, cylinder block, surface treatment



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VANDA, M. *Válce čtyřdobých spalovacích motorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jozef Dlugoš.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 27. května 2016

.....

Marek Vanda



PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jozefu Dlugošovi za věcné připomínky, cenné rady a za konzultace při zpracování. Poděkování patří také celé mé rodině za podporu při studiu.



OBSAH

Úvod	10
1 Čtyřdobý spalovací motor	11
1.1 Princip činnosti	11
2 Konstrukce čtyřdobého spalovacího motoru	13
2.1 Pevné části motoru	13
2.2 Pohyblivé části motoru	14
2.3 Příslušenství motoru	15
3 Válce čtyřdobých spalovacích motorů	16
3.1 Funkce válců čtyřdobých spalovacích motorů	16
3.2 Požadavky válců čtyřdobých spalovacích motorů	16
4 Konstrukce válců čtyřdobých spalovacích motorů	19
4.1 Válců motoru chlazeného vzduchem	19
4.2 Válců motoru chlazeného kapalinou	20
4.2.1 Mokré vložky válců	20
4.2.2 Suché vložky válců	21
5 Bloky Motorů	22
5.1 Rozdělení bloků podle konstrukce	22
5.1.1 Otevřený blok (open-deck)	22
5.1.2 Uzavřený blok (closed-deck)	22
5.2 Materiály bloků válců	23
5.2.1 Bloky válců z litiny	23
5.2.2 Bloky válců z hliníkových slitin	23
6 Historické řešení konstrukce válců čtyřdobých spalovacích motorů	27
6.1 Vkládané vložky válců	27
6.1.1 Použití suchého pouzdra	27
6.1.2 Použití mokrého pouzdra	28
6.1.3 Materiály používané pro výrobu vložek válců	29
6.1.4 Technologie výroby vložek válců	29
7 Soudobé válce čtyřdobých spalovacích motorů	30
7.1 Speciální povrchové úpravy	30
7.1.1 Metoda ALUSIL®	30
7.1.2 Metoda LOKASIL®	31
7.1.3 Povlakování povrchu válce nitridy titanu	32
7.1.4 Žárově stříkané vložky GOEDEL®	32
7.1.5 Metoda Tribosil®	33



7.1.6	Metody NIKASIL [®] a GALNICAL [®]	33
7.2	Speciální vložky válce ze slitiny hliníku a křemíku	34
7.3	Kompozitní slitiny	34
Závěr		35
Seznam obrázků		38



ÚVOD

Historie spalovacích motorů sahá již do 18. století. Avšak spalovací motor podobný, který dal základ tomu dnešnímu, byl představen mnohem později. Za dlouhou dobu vývoje prošly spalovací motory různými konstrukčními řešeními. S tím také souviselo jejich praktické uplatnění.[4]

Spalovací motory můžeme popsat jako tepelné hnací stroje, které spalováním vhodného paliva umožňují získávat tepelnou energii. Následně ji měnit přímo v užitečnou práci, již lze dále využít například pro pohon určitého zařízení. Tepelná energie může být přenášena různými způsoby. Od toho se odvíjí dělení tepelných motorů. Jsou to motory s vnějším spalováním, kde proces spalování probíhá mimo pracovní prostor. Pokud proces probíhá uvnitř pracovního válce, hovoříme o motorech s vnitřním spalováním, které dále můžeme rozdělit na pístové a lopatkové. Následující strany jsou věnovány zejména pístovým spalovacím motorům s vnitřním spalováním, jež blíže souvisejí s tématem práce.[1][5]

Jednou z hlavních součástí konstrukce pístového spalovacího motoru jsou pracovní válce (pevná část motoru). Mají velký význam na správné funkci, ale také životnosti motoru. Jejich úkolem je vést píst během pracovního oběhu. Stěny válců spoluvytvářejí spalovací prostor, ve kterém působí vysoké spalovací teploty a tlaky. Jsou tedy bezprostředně vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání, jemuž musí odolávat. S tím souvisí vhodný výběr materiálu a provedení jejich konstrukce.[4][3]



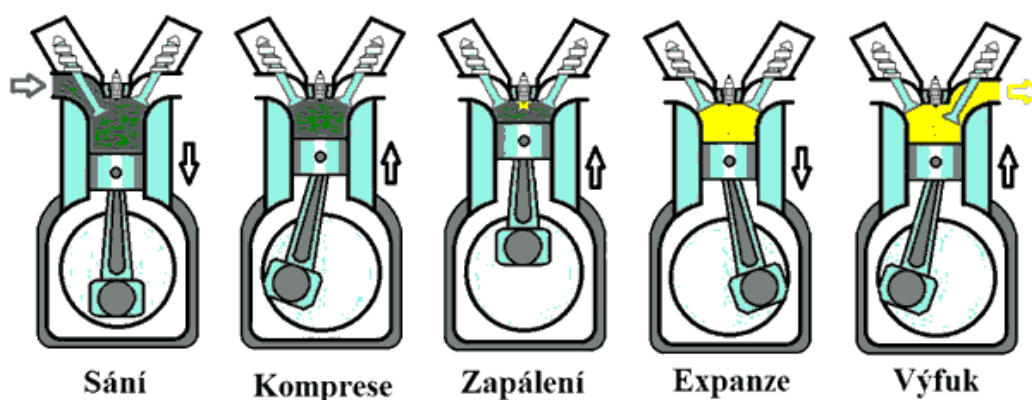
1 ČTYŘDOBÝ SPALOVACÍ MOTOR

U čtyřdobého pístového spalovacího motoru s vnitřním spalováním je do válce, kde se pohybuje píst, nasávána směs paliva a vzduchu. Tato hořlavá směs je poté elektrickou jiskrou zapálena (zážehový motor) nebo dojde k jejímu samovznícení při vysoké teplotě vyvolané tlakem (vznětový motor). Během hoření směsi vznikají plyny, které se rozpínají a vyvíjí tak tlak na píst, který koná přímočarý pohyb. Z pístu je tlak přenášen za pomoci ojnice na klikový hřídel, jež transformuje posuvný pohyb na pohyb rotační. Sací a výfukové ventily, které jsou součástí rozvodového mechanismu, zajišťují výměnu náplně ve válci.[4]

1.1 PRINCIP ČINNOSTI

Čtyřdobé spalovací motory se vyznačují čtyřdobým pracovním cyklem (oběhem), který je složen ze čtyř po sobě jdoucích fází (můžeme se setkat také s pojmem doba). Během jednoho cyklu dojde ke čtyřem zdvihům pístu. Klikový hřídel za tuto dobu vykoná dvě otáčky. Jednotlivé fáze oběhu [4][5]:

- sání
- komprese
- expanze (je jedinou pracovní dobou)
- výfuk



Obr. 1 Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru[6]

První fází cyklu je **sání**. Nasávací efekt neboli podtlak je vyvolán pohybem pístu z horní úvratě směrem do dolní úvratě. Do válce skrze otevřený sací ventil proudí čerstvá směs (náplň) vzduchu a paliva. Následuje uzavření sacího ventilu. S ohledem na dosažení co největší plnicí účinnosti (nebo také stupně plnosti), díky které můžeme ovlivnit výkon motoru, dochází k uzavření sacího ventilu až za dolní úvratí. (jedná se o několik stupňů úhlu natočení klikového hřídele).[4][5]

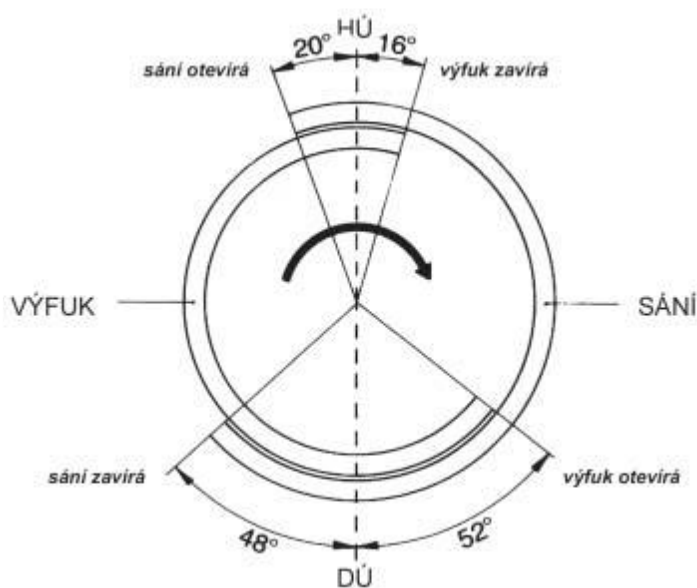
Následuje druhá doba zvaná **komprese**. Čerstvá náplň je stlačována pístem pohybujícím se směrem od dolní úvratě k úvratí horní. Dále dochází k zažehnutí směsi pomocí jiskry ze zapalovací svíčky, těsně před dosažením horní úvratě. To platí pro zážehový motor. Pokud se bavíme o vznětovém motoru, je zde potřeba zmínit hlavní rozdíl v cyklu. Konkrétně způsob jakým dojde k explozi. Rozdíl je ten, že k vytvoření zápalné směsi dochází až ve spalovacím



prostoru. Do válce je tedy nasáván pouze čerstvý vzduch. Ten je následně stlačen a palivo je vstříknuto do něj. Díky stlačení je vzduch zahřát na takovou teplotu, že nastane samovznícení paliva.[4][5]

Další fází je **expanze**. Ta je dobou pracovní. Sací i výfukový ventil jsou uzavřeny. Probíhá hoření zapálené směsi. Píst je z horní úvratě tlačěn rozpínajícími se plyny do dolní úvratě.[4][5]

Krátce před dosažením dolní úvratě se otevírá výfukový ventil a může tak začít poslední fáze zvaná **výfuk**, kdy výfukové plyny proudí ven z pracovního válce do výfukového systému. Celý cyklus se následně opakuje.[4][5]

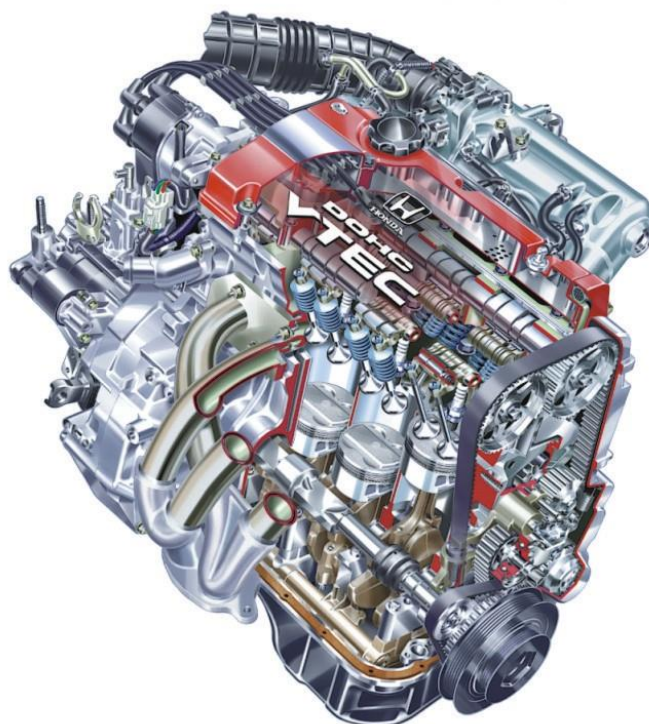


Obr. 2 Asymetrický rozvodový diagram motoru BMW V12
(perioda sání 248°)[7]



2 KONSTRUKCE ČTYŘDOBÉHO SPALOVACÍHO MOTORU

Konstrukční části čtyřdobých pístových spalovacích motorů, ať už se jedná o motory zážehové či vznětové, můžeme rozdělit do několika základních skupin. Rozdělení je dáno funkcemi jednotlivých součástí. Jsou to **pevné části motoru** (nekonají žádný pohyb), dále pak **pohyblivé části motoru** (konají pohyb) a také další části motoru, které lze považovat za **příslušenství motoru**.^[4]



Obr. 3 Částečný řez motorem VTEC výrobce Honda^[8]

2.1 PEVNÉ ČÁSTI MOTORU

Základní nosnou částí motoru je **blok motoru**. Ten je tvořen klikovou skříní a blokem válců. Je vyroben odlitím a umožňuje jednak uložení vkládaných válců, ale také dalších nezbytných součástí jako je klikový hřídel a vačkový mechanismus. Ve stěnách bloku pak najdeme kanály mazání a chlazení.^{[4][5]}

Další nosnou částí je **kliková skříň**. Pokud je motor chlazen vodou, odlévá se společně s blokem válců. Slouží jako hlavní součást, ve které je uložen klikový hřídel a v některých případech i vačkový hřídel.^{[4][5]}

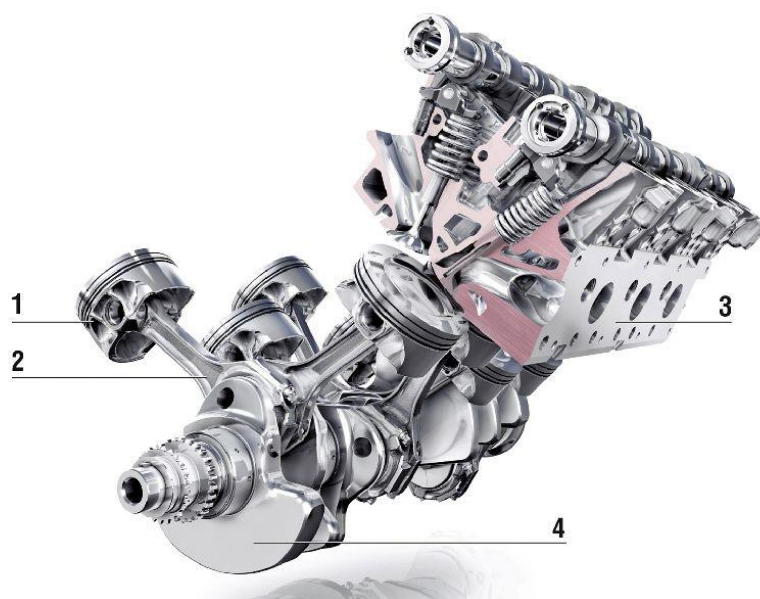
Hlava válců spoluvytváří a uzavírá pracovní prostor ve válci. V její konstrukci se nachází spalovací prostory, kanály pro přívod směsi nebo vzduchu a kanály pro odvod spalin. Je také opatřena otvory pro chlazení a mazání. Nejčastěji je hlava válců vyrobena jako jeden celek.^{[4][5]}



K neméně důležitým částem patří **víka motoru**. Za pomoci těsnicích tmelů utěsňují blok motoru ze všech stran. Spodní víko má významnou funkci jako zásobárna oleje. Někdy je nazýváno také jako olejová vana.[4][5]

Pevnou částí motoru jsou též pracovní **válce**. Jejich problematika je tématem této práce a nachází se v následujících kapitolách.[4][5]

2.2 POHYBLIVÉ ČÁSTI MOTORU



Obr. 4 Klikový mechanismus motoru Mercedes
1 - píst, 2 – ojnice, 3 - hlava válců, 4 - klikový hřídel[9]

Píst se pohybuje ve spalovacím prostoru a zachycuje tlaky spalin ve válci. Skrze pístní čep je síla vyvozená tlakem přenášena na ojnici. Píst také plní funkci odvodu tepla, vytvořeného spalinami, které je odváděno převážně na stěnu válce. Vzhledem k tomu, že je píst namáhán tepelně více než válec, který je chlazen, dochází k větší roztažnosti pístu a je potřeba umístit píst do válce se značnou vůlí. Je nutné však zachovat těsnost spalovacího prostoru. K tomu slouží pružné těsnicí kroužky, které jsou umístěny na pístu a jsou schopné se přizpůsobit teplotním změnám a rozměrovým změnám pístu. Materiál pístů by měl mít dobré třecí vlastnosti a vysokou pevnost i při vyšších teplotách. Nejčastěji se k výrobě pístů používá slitina hliníku a křemíku.[2][4][5]

Pohyblivou částí motoru je také **ojnice**. Ta zajišťuje spojení klikového hřídele a pístu. Přímý pohyb pístu ve válci je výkyvem ojnice měněn na rotační pohyb klikového hřídele. Ojnice musí odolávat velkým tahovým a tlakovým silám v podélném směru. Nejčastějším materiálem pro výrobu ojníc je legovaná ocel.[4][5]

Klikový hřídel je pomocí hlavních čepů uložen v klikové skříni. Ojnice jsou uloženy na klikových čepech, které jsou spolu s čepy hlavními spojeny rameny kliky a tvoří takzvané zalomení kliky. Podle počtu válců a konstrukce válců je závislý počet zalomení. Klikové hřídele mohou být vyráběny litím nebo kováním.[4][5]



Součástí výstupní strany klikové hřídele je **setrvačník**. Jednoduše se dá říci, že to je litinový nebo ocelolitinový kotouč. Jeho funkce spočívá v akumulování pohybové energie při nepracovních zdvizech. Má také vliv na rovnoměrnost chodu motoru.[4][5]

2.3 PŘÍSLUŠENSTVÍ MOTORU

Za příslušenství motoru můžeme považovat ostatní zařízení a systémy, které dopomáhají chodu a ovládání motoru. Jedná se o zapalování, mazání a chlazení motoru. Dále pak palivový systém (karburátor nebo vstřikovací zařízení u vznětového motoru) a výfukové potrubí pro odvod spalin. Za zmínku stojí také rozvodové mechanismy. Například ventilový nebo kanálový rozvod, kterým je řízena výměna plynů ve válci.[4][5]



Obr. 5 Kovaná kliková hřídel[10]



3 VÁLCE ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Válce čtyřdobých spalovacích motorů plní nespočet funkcí, důležitých pro bezpečný a bezproblémový chod motoru. Jak je nastíněno v úvodu, provedení konstrukce válce a výběr materiálu, který bude odolávat nejen tepelnému a mechanickému namáhání, hraje významnou roli ve správné funkci a životnosti motoru. Vzhledem k tomu, že pracovní válce jsou důležitou a také velmi namáhanou částí motoru, vyplývají na jejich konstrukci i materiály vysoké požadavky v mnoha směrech.[3]

3.1 FUNKCE VÁLCŮ ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Válce pístových spalovacích motorů plní hned několik důležitých úkolů. Spoluvytvářejí a ohraničují spalovací prostor a jsou jeho hlavní částí. Nahoře je vnitřní prostor válce uzavřen hlavou válců (se sacími a výfukovými ventily). Druhá strana spalovacího prostoru je utěsněna pístem a jeho pístními kroužky. Stěny válce pak zajišťují správné (přesné) vedení pístu s minimální vůlí. Pro jeho pohyb, konkrétně pro pístní kroužky, vytvářejí kluznou a těsnící plochu. Během pracovního oběhu jsou stěnami válce zachytávány síly související s pohybem pístu a kinematikou klikového mechanismu. Funkcí válců je také rychlé odvádění tepla z pístu a chlazení celého spalovacího prostoru. Teplo je skrze stěny válce předáváno do chladicí soustavy. [12][13]

3.2 POŽADAVKY VÁLCŮ ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Můžeme říci, že nejdůležitějším požadavkem na pracovní válce je vytvoření výborných kluzných podmínek pro „kluzného partnera“, tedy píst, respektive pístní kroužek. Dalším důležitým aspektem jsou dobré třecí vlastnosti povrchu kluzných ploch, kdy by mělo docházet k jejich co nejmenšímu opotřebení. A to ať už na samotné stěně válce, ale zároveň i na pístu a pístnímu kroužku.[3][11]

Je nezbytné, aby povrch stěn zajišťoval vytvoření a udržení olejového filmu, navíc s ohledem na minimální spotřebu maziva. V souvislosti s touto skutečností je schopnost provozu bez mazání, která má vliv na bezpečnost chodu motoru. Tím je myšleno udržení minima olejového filmu alespoň po určitý čas v případě nedostatečného množství oleje. Ačkoliv je pracovní prostor mazivem v dostatečné míře zásobován, jeho nedostatek nastává například při studeném startu motoru. Kdy je film ze stěny válce smýván neodpařeným palivem.[5][11]

Vzhledem k rozdílným teplotám vnější a vnitřní stěny válce za provozu, dochází k jejich značnému tepelnému namáhání. Navíc za působení vysokých, rychle se střídajících tlaků plynů (od 80 kPa do 8 až 16 MPa). Rychlé změny teplot vyvolávají vysoká teplotní napětí. Teploty se pohybují od 100 °C do 2500 °C. Stěny válce jsou vystaveny korozivnímu účinku spalin hoření. Pokud je motor chlazen kapalinou, tak i její korozí. Všem těmto zmíněným vlivům musí válce motoru patřičně odolávat.[4][11][13]

Je potřeba si uvědomit, že změny tepelných toků a silové účinky vytvořené od tlaku plynů při spalování jsou časově proměnné a tím je zapříčiněno rovněž únavové namáhání materiálu válce.[5]

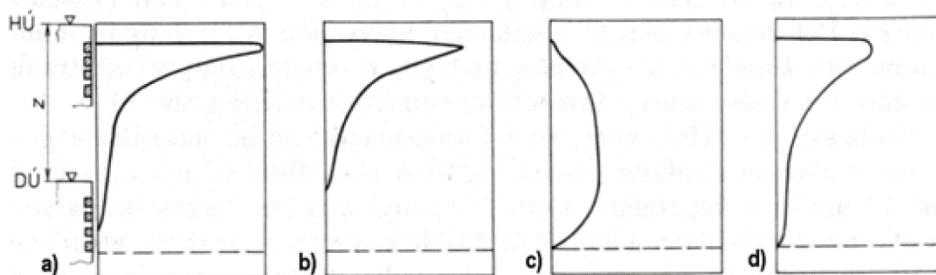
Materiál válce by tedy měl mít vysokou pevnost a tvarovou stálost za všech provozních podmínek. Měl by zabezpečovat dobré vedení tepla, avšak s ohledem na zachování malé tepelné roztažnosti. Kluzné plochy musí vykazovat dostatečnou tvrdost, a jak již bylo zmíněno, dobré třecí vlastnosti. Důležitá je také odolnost proti korozivním a abrazivním účinkům.[2][3]

OPOTŘEBENÍ VÁLCE MOTORU

V důsledku všestranného působení mnoha fyzikálně-chemických procesů dochází k opotřebení pracovní plochy válce motoru. Opotřebení může být vyvoláno několika příčinami a podle toho má pak svůj charakteristický průběh. Ve zvětšeném měřítku jsou charakteristické průběhy opotřebení plochy válce zobrazeny na obr. 6. Výsledný průběh je vidět na obr. 6 a).[12]

Třemi základními procesy jsou[12]:

- **koroze** - korozivní proces je výsledkem chemických reakcí a oxidací na povrchu válce, obr. 6 b)
- **eroze** - erozivní proces je nejčastěji zapříčiněn porušením vrstvy olejového filmu, obr. 6 c)
- **abraze** - abrazivní proces je důsledkem vlivu prachových částic přítomných na stykové ploše pístní kroužek a stěna válce, obr. 6 d)



Obr. 6 Průběhy opotřebení válce motoru[12]

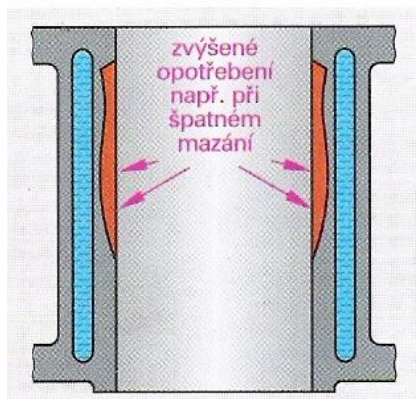
Ke korozivnímu opotřebení nejčastěji dochází za studeného chodu motoru. V okamžiku kdy stěny válce nejsou dostatečně ohřáté, kondenzují vodní páry, jakožto produkt hoření, při styku se studenou stěnou válce na vodu. Společně s produkty spalování paliva a oleje vytváří kyseliny. Konkrétně se jedná o uhlíčitou, dusičnou, siřičitou apod. Tyto kyseliny mají negativní účinek na stěny válce.[12]

Erozivní opotřebení nastává v případě nedostatečného olejového filmu na stěně válce. Jinými slovy řečeno při jeho porušení jsou kovové povrchy pístu (pístního kroužku) a válce v přímém kontaktu.[12]

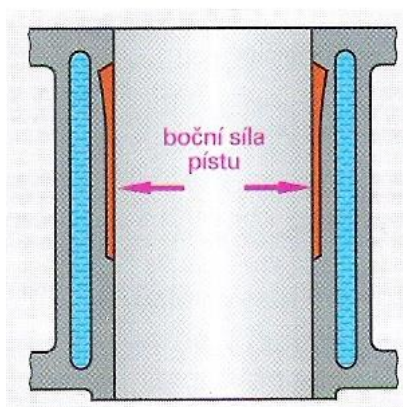
Jako následek špatné filtrace nasávaného vzduchu do pracovního prostoru válce, může docházet také k abrazivnímu opotřebení. To je významné zejména v oblasti doběhu prvního pístního kroužku, jež můžeme vidět na obr. 6 d). Abraze nastává i v případě působení částic, které jsou obsaženy v oleji. Opotřebení je nejvýraznější v místě, kde se píst pohybuje svojí



maximální rychlostí. Toto místo můžeme považovat přibližně ve středu zdvihu pístu. Je tedy patrné, že ke snížení opotřebení dopomáhá dobrá účinnost filtrace nasávaného vzduchu a také mazacího oleje.[12]



Obr. 7 Zvýšené opotřebení válce[13]



Obr. 8 Běžné opotřebení válce[13]

Uvádí se, že i přes dodržování zásad správné obsluhy a péče o motor, která je požadována výrobcem, je nejčastější příčinou zvýšeného opotřebení válce přerušovaný chod motoru. Výsledky dlouhodobých zkoušek dokazují, že až 75% opotřebení třecích ploch motoru nastává v období od startu motoru po jeho zahřátí na správnou provozní teplotu. To je nejčastěji zhruba v rozmezí 20 minut. Pokud chceme docílit nižšího opotřebení válce motoru, je důležité zajistit zahřátí motoru v co nejkratším čase. Velmi důležitá je pak správná provozní teplota v horní drážce pístního kroužku, která by se měla pohybovat mezi 180 až 220 °C. Nadměrné opotřebení bývá také zapříčiněno nešetným vytáčením nezahřátého motoru do vysokých otáček a jeho plné zatížení bezprostředně po startu.[12][13]



4 KONSTRUKCE VÁLCŮ ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

Konstrukční řešení válců se v převážné míře odvíjí od způsobu chlazení motoru a tedy i válce. Rozdíl je v použitém chladicím médiu. Válce motoru mohou být jednak chlazeny proudem okolního vzduchu, ale také chladicí kapalinou. Na základě tohoto faktu můžeme válce rozdělit do následujících skupin[1][4]:

- Válce motoru chlazeného vzduchem
- Válce motoru chlazeného kapalinou

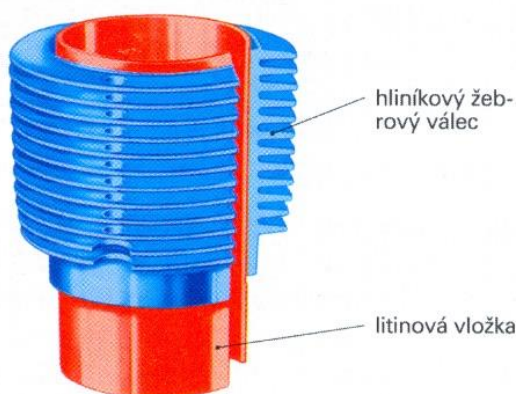
4.1 VÁLCE MOTORU CHLAZENÉHO VZDUCHEM

Čtyřdobé motory chlazené vzduchem se dříve používali pro pohon osobních automobilů. Dnes je můžeme nalézt v některých nákladních automobilech (TATRA, DEUTZ).[5]

U čtyřdobých motorů chlazených vzduchem jsou válce provedeny jako samostatné. Jednotlivě jsou pak připevněny ke klikové skřini motoru. A to pomocí šroubů, svorníků nebo závitových spojů. K lepšímu chlazení válců dochází díky chladicím žebřům, kterými jsou vzduchem chlazené válce opatřeny. Je tak zajištěna větší plocha pro odvod tepla.[4][12]

Aby byla zajištěna spolehlivost chlazení, je využíváno nuceného oběhu vzduchu. Vysoká rychlost průtoku vzduchu i při nízkých pojedzových rychlostech je zabezpečena prostřednictvím ventilátoru. Díky tomu jsou chladicí žebra na válci znatelně nižší oproti motorům s náporovým chlazením. Zároveň může být i menší rozteč mezi žebry. U víceválcových motorů bývají žebra mezi válci kratší z důvodu snížení celkové délky motoru.[5][12]

V důsledku velkého rozdílu teplot na stěně válce může docházet k deformaci kruhového průřezu válce po jeho obvodu. Je potřeba, aby teplota stěn byla co nejrovnoměrnější. Proto je vzduch usměrňován vhodně umístěnými deflektory.[12]



Obr. 9 Vzduchem chlazený válec[13]



4.2 VÁLCE MOTORU CHLAZENÉHO KAPALINOU

Válce motoru chlazeného kapalinou tvoří nejčastěji společný odlitek s klikovou skříní a vytváří tak jeden velmi pevný celek nazývaný jako blok motoru. Dříve při výrobě motorů byl tento blok válců ke klikové skříní přišroubován.[4][12]

Pro umožnění oběhu chladicí kapaliny jsou v bloku válců vytvořeny kanály. Pomocí vodního čerpadla je chladicí kapalina vytlačována do dolní části bloku válců. Chladí vnější stěny válců a průtokovými kanály dále proudí do hlavy válců.[4][5]

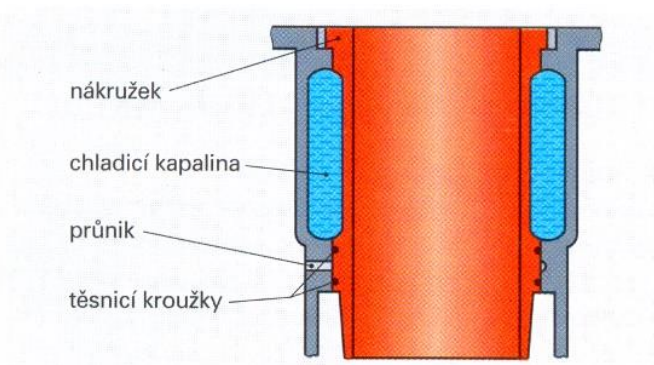
Provedení válce může být realizováno dvěma způsoby. V prvním případě je pracovní plocha válce (plocha, která je v přímém kontaktu s pístními kroužky a pístem) obrobena přímo v materiálu bloku motoru. Druhým provedením jsou tzv. vložené válce. Jedná se o pouzdra, která se vkládají do vývrtu v bloku motoru. Materiály těchto vložených válců (pouzder) pak vykazují lepší třecí vlastnosti a odolnost proti opotřebení než základní materiál. Není podmínkou, aby blok motoru měl vložku válce. Avšak v tomto případě je nutné třecí plochu válců speciálně upravit.[4][5]

U vložených válců se rozlišuje, zda je jejich vnější povrch ve styku s chladicí kapalinou. Podle toho se vložené válce dělí na mokré a suché. Neboli[12]:

- Mokrý vložky válců
- Suché vložky válců

4.2.1 MOKRÉ VLOŽKY VÁLCŮ

Mokrý vložky válců mají relativně silné stěny. Dochází k jejich přímému kontaktu s chladicí kapalinou. Díky tomuto je zajištěno účinné chlazení. V porovnání se suchými vložkami válců mají jednodušší a rychlejší odvod tepla chladicí kapalinou. Spodní strana mokrých vložek musí být řádně utěsněna, aby nedošlo k vniku chladicí kapaliny do klikové skříně. Nejčastěji pryžovým těsněním na obvodové těsnicí ploše nebo těsněním měděným na rovné těsnicí ploše. Horní strana je pak utěsněna pomocí těsnění hlavy.[5][13]



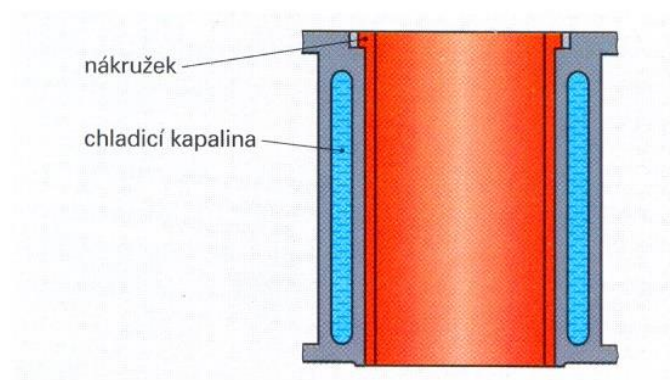
Obr. 10 Mokrý vložka válce[13]

Na rozdíl od suchých vložek válců je použití mokré vložky výhodnější z hlediska obrábění styčných ploch, zejména co se velikosti obrobení týče. Provedení oprav je také snazší a to díky jednoduché výměně nových nebo renovovaných vložek válců, které se po zabudování již nemusejí opracovávat. Nevýhodou je však nižší tuhost bloku motoru.[5][13]



4.2.2 SUCHÉ VLOŽKY VÁLCŮ

Suché vložky válců jsou do bloku nalisovány nebo zality. Nejsou vystaveny přímému kontaktu s chladicí kapalinou, proto je zde odvod tepla z válce do kapaliny o něco horší než u mokrých vložek. Oproti mokrým vložkám je výhodou větší tuhost bloku a bezproblémové utěsnění chladicí kapaliny. Suché vložky válců jsou tenkostěnné. V bloku válců jsou uloženy buď s pevným, nebo s posuvným uložením.[4][5]



Obr. 11 Suchá vložka válce[13]

Při použití suché vložky je velmi důležitá přesnost výroby. Je nezbytné, aby po nalisování byl zajištěn co nejdokonaleji styk mezi vložkou a stěnou chladicího pláště. Toto je důležité, aby nedocházelo ke zhoršenému přestupu tepla. Přestup tepla je již ovlivněn zvětšením tloušťky stěny, která je dána součtem tloušťky stěny vložky a stěny chladicího pláště.[4]

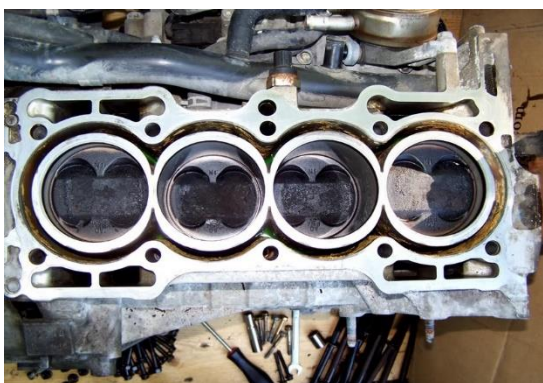


5 BLOKY MOTORŮ

Blok motoru tvoří dvě části. Je to blok válců a kliková skříň. V počátcích výroby motorů byla samostatně odlévána kliková skříň motoru a k ní byly přišroubovány jednotlivé válce. Bylo totiž obtížné dokonale odlít takto složitý výrobek. V pozdějších dobách docházelo k odlévání válců ve dvojicích, anebo v případě čtyřválcového motoru byly odlity jako jeden celek nazývaný jako blok válců. Dnes je blok motoru tvořen společným odlitkem klikové skříně a blokem válců. Řešení samostatné klikové skříně s přišroubovanými válci je dosud užíváno u nákladních automobilů chlazených vzduchem (Tatra), potažmo u velkých lodních motorů.[1][12]

5.1 ROZDĚLENÍ BLOKŮ PODLE KONSTRUKCE

Motorový blok je hlavním nosným prvkem u motorů chlazených kapalinou. Jsou k němu připojeny ostatní části motoru. Bloky kapalinou chlazených motorů lze v závislosti na provedení plochy bloku (na kterou dosedá hlava válce) rozdělit na bloky s otevřeným chladicím prostorem **Open-deck** a na bloky s prostorem chladicím uzavřeným **Closed-deck**. [1]



Obr. 12 Provedení Open-deck
(motor Honda)[15]



Obr. 13 Provedení Closed-deck
(motor Subaru)[16]

5.1.1 OTEVŘENÝ BLOK (OPEN-DECK)

Otevřený blok má řadu výhod. Jednou z nich je možnost nahrazení pískového jádra pro tvorbu chladicího pláště válců, částí ocelové kokily pro vysokotlaké lití při výrobě. Důsledkem jsou pak nižší náklady pro výrobu a dochází i k výraznému růstu produktivity. Dalším pozitivem je zajištění dokonalého odvodu tepla do proudící kapaliny v úrovni dobetu prvního pístního kroužku, oproti uzavřenému bloku, kde je obtížné tohoto docílit. Naopak nevýhodou takového provedení je nižší tuhost uložení válců a v důsledku ohybových deformací válce dochází ke značnému namáhání těsnění pod hlavou válců. Snahou je v co nejvyšší míře tyto deformace omezit. To vede k použití například heterogenních bloků, ve kterých jsou zalita litinová pouzdra válců.[1][14]



5.1.2 UZAVŘENÝ BLOK (CLOSED-DECK)

Výhodou uzavřených bloků je jejich vyšší tuhost. Právě díky tomuto uzavřené bloky nachází využití hlavně u vznětových motorů, kde dochází k vyššímu působení normálových sil pístu na stěnu válce. Chladicí plášť bloku je s hlavou válce spojen pouze dostatečně velkým otvorem na spojovací ploše. To je výhodné zvláště pro těsnění hlavy válce. Na rozdíl od otevřeného bloku, je výroba uzavřeného bloku mnohem složitější. Je zde potřeba pískové jádro pro zhotovení chladicího pláště. Při použití pískových jader je mnohem těžší dodržet velmi malé tolerance pro tloušťky stěn válců.[1][14][19]

5.2 MATERIÁLY BLOKŮ VÁLCŮ

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, vlastní provedení válce motoru v bloku může být různé. Na základě tohoto rozlišujeme motorové bloky, do kterých se válce vkládají a bloky s válci odlitými v jednom celku. Bloky u nichž se současně odlévají i válce mohou být vyráběny z šedé litiny i hliníkových slitin.[1][4]

V důsledku zlepšování a zvyšování účinnosti automobilových motorů je neustálou snahou výrobců produkovat lepší a lehčí bloky. Lze říci, že blok motoru je největší a zároveň nejsložitější kovový celek použitý v konstrukci spalovacího motoru. Obecně je vyroben jako odlitek téměř čistého tvaru. Tím je myšleno, že následně je potřeba pouze místně obrobít některé funkční plochy, aby byla splněna požadovaná kvalita povrchu.[14]

Vzhledem k tomu, že samostatný blok motoru tvoří 3 – 4% z celkové hmotnosti průměrného vozidla, hraje jeho konstrukce a použitý materiál klíčovou roli ve všech úvahách při snižování hmotnosti. Nahrazením tradiční litiny za odlévání hliníkových slitin může vést ke snížení hmotnosti bloku motoru mezi 40 a 55% a to i s ohledem na to, že hliník vykazuje nižší pevnost ve srovnání se šedou litinou.[14]

5.2.1 BLOKY VÁLCŮ Z LITINY

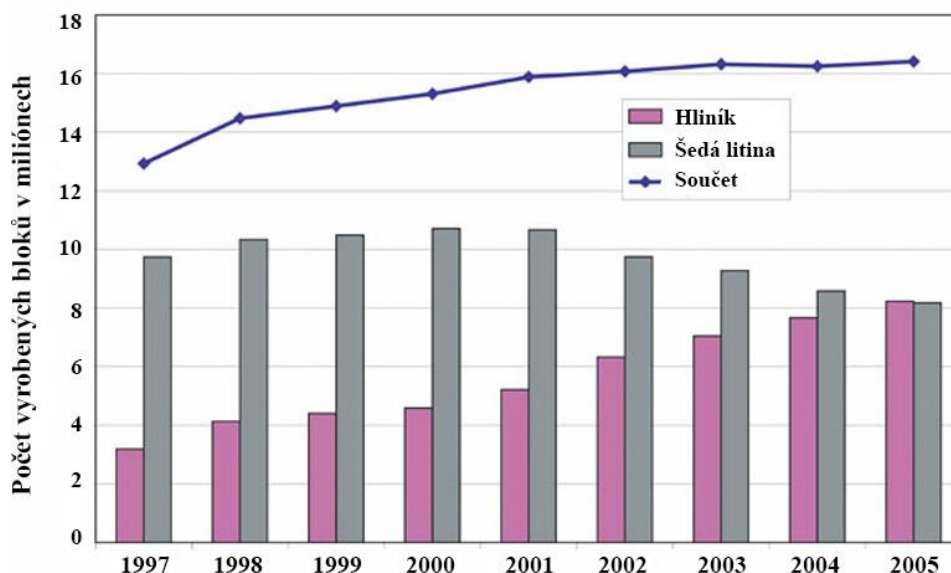
Litina je velmi příznivým materiálem pro výrobu bloku válců. V dnešní době se však již používá jen zřídka. Pro funkci válce má vynikající vlastnosti. Výroba odlitku je velmi snadná, protože se dobře odlévá. Odlitek pak vykazuje dostatečnou pevnost a tuhost. Výhodou litiny je také její nízká cena. Pokud je blok motoru odlit z šedé litiny, která má dobré třecí vlastnosti a odolnost vůči opotřebení, je zde možnost vyhotovit válec, respektive pracovní plochu válce přímo z odlévaného materiálu.[1][4][17]

5.2.2 BLOKY VÁLCŮ Z HLINÍKOVÝCH SLITIN

Hliníkové bloky se začaly používat v benzinových motorech ke konci sedmdesátých let minulého století. V dieselových motorech však k nahrazení litiny docházelo velmi zřídka a to díky náročnějším technickým požadavkům. Až s rostoucím trendem vznětových motorů, zhruba od poloviny devadesátých let, kdy bylo potřebné vyhovět kritériím lehké konstrukce, bylo využití hliníkových bloků ve vznětových motorech více a více důležité. Za zmínění stojí také fakt, že kolem roku 2005 podíl hliníkových bloků motorů na trhu dosáhl 50% a dále se



zvyšoval. V dnešní době se motory osobních automobilů a to zážehové i vznětové vyrábějí právě z hliníkových slitin.[14]



Obr. 14 Počet vyrobených bloků motorů v západní Evropě[14]

Kromě úspory hmotnosti mají hliníkové bloky také řadu dalších výhod. Je to například lepší tepelná vodivost materiálu ve srovnání s bloky ze šedé litiny. Díky tomu je možné dosáhnout vysoké zatížitelnosti. Vzhledem k tomu, že prakticky všechny písty a také většina hlav válců je vyrobena z hliníku, je použití podobného materiálu velmi výhodné. Takovéto použití pak odstraňuje problémy mezi kompatibilitou šedé litiny a hliníku. Například se lze takto vyhnout vysokému nárůstu tepelného namáhání v důsledku odlišné tepelné roztažnosti materiálů v průběhu startu a po zastavení motoru. [1][14]

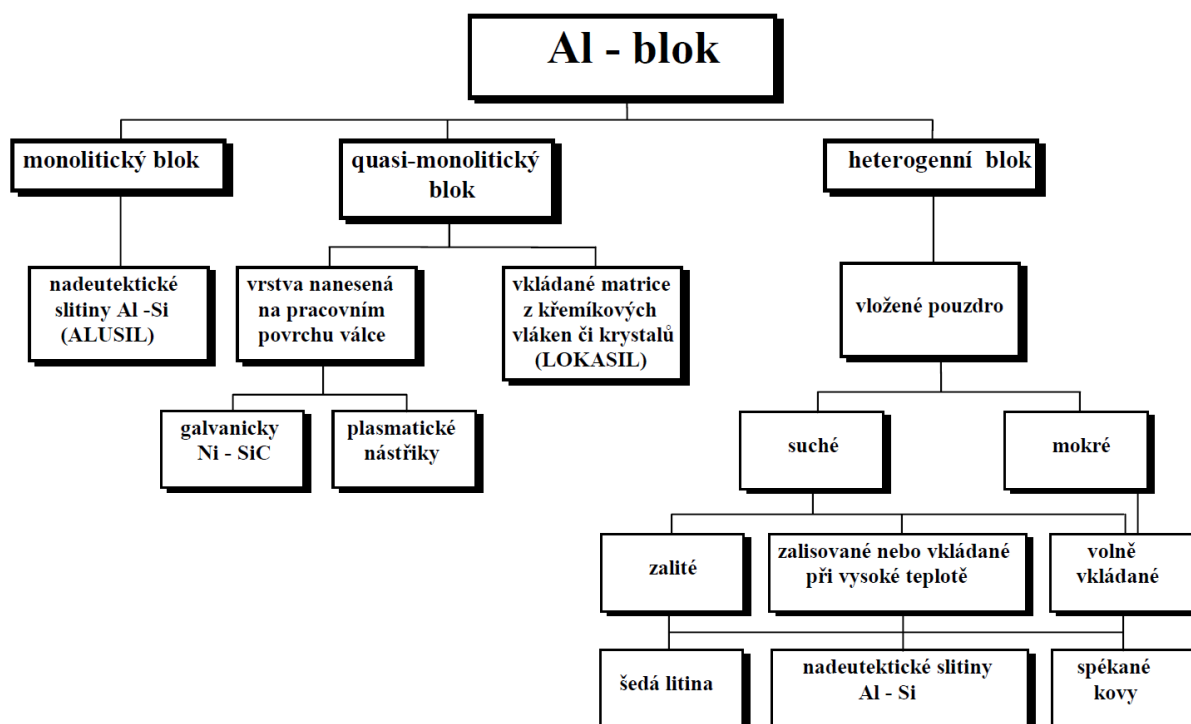
Hliníkové bloky mají však také i svoje nevýhody. V porovnání s bloky, které jsou vyrobeny ze šedé litiny, je to zejména jejich vyšší cena. Ta může být 2,5× vyšší. To je potvrzeno také tím, že bloky z lehkých kovů nelze použít bez dalších úprav jako kluzné plochy pro písty. Válce proto musí být opatřeny speciálními kluznými plochami. Je nezbytné použít vhodnou povrchovou úpravu, aby bylo možné získat tribologicky příznivý povrch válce.[1][4]



Obr. 15 Bloky válců ze šedé litiny (vlevo) a hliníkové slitiny (vpravo)[20]



Podle provedení válce motoru mohou být odlévané hliníkové bloky charakterizovány jako monolitické, quasi-monolitické a heterogenní.[1]



Obr. 16 Konstrukční provedení válců u bloků motoru z Al slitin[1]

MONOLITICKÉ BLOKY

Výroba monolitických bloků probíhá pomocí nízkotlakého lití z nadeutektické slitiny Al-Si. V objemu odlitku se nachází jemně rozptýlené krystalky křemíku. V poslední době se do taveniny Al-Si přidávají reaktivní materiály, například bority nebo nitridy. Díky následné reakci, která proběhne, vznikne jemnozrnný materiál, který je svými vlastnostmi vhodný pro třecí plochy válce.[5][12]

QUASI-MONOLITICKÉ BLOKY

Princip výroby quasi-monolitických bloků je infiltrace hliníku pod pomalu vzrůstajícím tlakem do keramických částecek nebo vláken, která tvoří pórovitou kostru vloženou do vytvořeného otvoru pro válec v bloku. Po opracování je tak docíleno vyžadovaného pracovního povrchu válce a zároveň je dosaženo zvýšené pevnosti. Jinou možností vytvoření povrchu válce může být například galvanickým pokovením či nástřikem. Současným trendem je nanášení vrstvy Ni-SiC. Hliníková slitina s rozptýlenými keramickými částčkami (např. Al_2O_3) je používána v případě nástřiku plasmovým dělem nebo laserem.[5][12]



HETEROGENNÍ BLOKY

Nejčastěji se odlévají z levných druhořadých hliníkových slitin. Válce jsou provedeny ve formě zalitých či zalisovaných pouzder. Pro jejich výrobu se používá litina, ocel nebo vhodně upravené hliníkové slitiny. Výroba probíhá metodou sintrování. Při tomto procesu za studena dochází ke slisování nekovových částic a kovového prášku z Al slitiny. Slisovány jsou do tvaru vloženého válce. V ochranné atmosféře je provedeno slinování. Procesem sintrování je možné docílit velmi jemné homogenní struktury materiálu.[5][12]

Jednou z několika metod je také vmíchávání tvrdých částic do slitiny. Například při speciálním postupu Duralcan[®], kdy jsou do taveniny vmíchávány částice korundu, popřípadě SiC, a je bráněno vzniku gravitačního rozvrstvení. Vzniklý materiál je pak následně odléván ve tvaru vloženého válce.[5][12]



6 HISTORICKÉ ŘEŠENÍ KONSTRUKCE VÁLCŮ ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

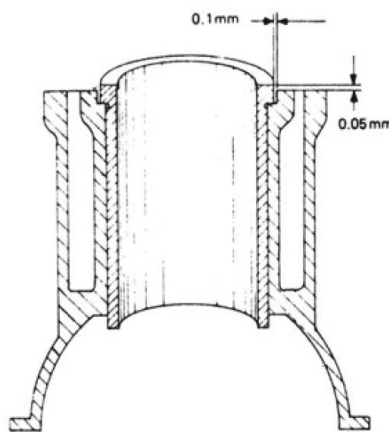
Za historickou, dnes již nepoužívanou konstrukci válců čtyřdobých spalovacích motorů můžeme považovat válce vkládané. Tyto tzv. vložené válce byly používány u všech typů motorů do devadesátých let. Později nastal rozvoj technologie výroby monolitických a quasi-monolitických bloků, jejichž předností je dostatečné zabezpečení vysoké životnosti pracovního povrchu válce. Proto se u motorů osobních automobilů odstoupilo od konstrukce s vloženými válci. Dnes se vložené válce nadále používají u motorů nákladních automobilů, traktorů a dalších velkých motorů. Důvodem je vedle ceny rozměrného bloku také případné zadření pístu, kdy je při opravě nutné demontovat motor vozidla a oprava pracovní plochy válce musí být prováděna specializovaným pracovištěm.[12]

6.1 VKLÁDANÉ VLOŽKY VÁLCŮ

Vzhledem k tomu, že způsob uložení pouzdra válců má vliv na tuhost bloku, vložené pouzdro válců se vždy řeší současně s konstrukcí bloku válců. Při použití materiálu pouzdra válců, který má výhodné kluzné vlastnosti a je odolný proti opotřebení, je pak možné docílit nižších nároků na jakost materiálu pro odlitek bloku.[17]

6.1.1 POUŽITÍ SUCHÉHO POUZDRA

V případě použití suchého pouzdra se konečné výrobní operace musí provádět až po jeho vložení do bloku. To má za následek například horší výměnu pouzdra při případné opravě motoru. Suchý vložený válec může být uložen po celé délce anebo pouze v horní části bloku, kde nastává největší opotřebení vlivem největšího tepelného namáhání.[17]



Obr. 17 Konstrukce suchého vloženého válce[12]

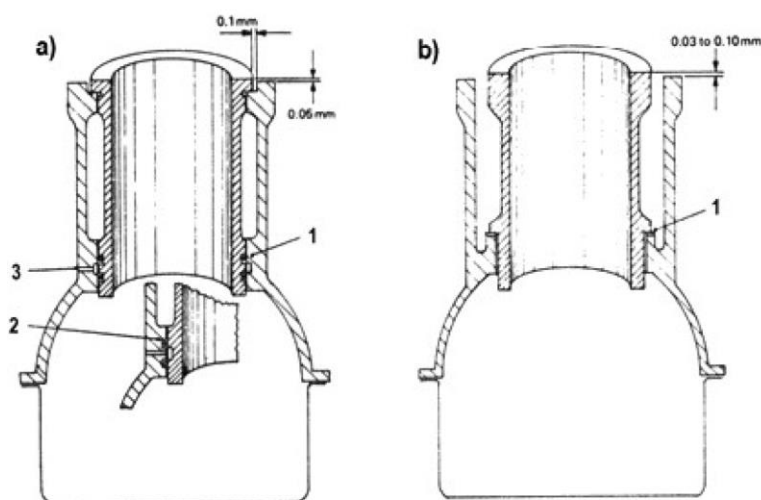
Vložený válec se nejčastěji zhotovuje ze svinutého a ve spáře svařeného ocelového plechu. Může být eventuálně opatřen i okrajem, který překrývá dosedací plochu bloku. Vyroben může být také jako tenkostěnný litinový odlitek z kvalitní jemnozrnné šedé litiny. Suché pouzdro je v bloku uloženo s přesahem nebo i s malou vůlí, která je předepsána tak, aby vlivem působení



teplotních dilatací při zahřátí motoru na provozní stav bylo docíleno přesahu. Pokud nemá suché pouzdro opěrnou plochu, pojišťuje se pružným opěrným kroužkem proti osovému posunutí. Tloušťka stěn suchých pouzder bývá 2 až 4 mm.[4][17]

6.1.2 POUŽITÍ MOKRÉHO POUZDRA

U mokrého vloženého válce na rozdíl od suchého je před vložením do bloku pracovní povrch válce předem upraven honováním. Při případné opravě motoru je tak možné vložku jednoduše vyměnit. Uložení vloženého válce v bloku motoru může být dvojitý. Jednak jsou to vložené válce s horní dosedací plochou tzv. visící, nebo nazývané také jako zavěšená vložka a v druhém případě se jedná o vložené válce se spodní dosedací plochou.[12]



Obr. 18 Konstrukce mokrého vloženého válce, a) horní, b) dolní dosedací plocha, 1 – drážky, 2 – vybrání v bloku, 3 – kontrolní otvor[12]

U vložených válců s horní dosedací plochou je velmi snadné dosáhnout vyžadované tolerance přesahu vložky nad plochou bloku motoru, viz obr. 16. Uvádí se, že míra 0.06 mm zajišťuje lepší utěsnění všech spalovacích prostorů. Výhodou této vložky je i větší odolnost proti ohybovým deformacím, které jsou vyvolány normálovou složkou síly od tlaku plynů působících na píst při spalování. Výhodná je také možnost axiální tepelné dilatace vložky, která tak částečně zabraňuje vzniku deformací vývrtu válce a vzniku vzpěrných napětí. Díky těmto výše uvedeným skutečnostem je toto provedení vložených válců použito u vznětových motorů. Velmi důležité je utěsnění chladicího prostoru vůči klikové skřini. To je zabezpečeno pomocí pryžových „O“ kroužků. Ty bývají umístěny v drážkách, které jsou vysoustruženy ve vloženém válci nebo v bloku motoru ve vybrání. Jejich průměr je obvykle $3 \div 6$ mm.[12]

Druhým případem jsou vložené válce se spodní dosedací plochou neboli tzv. válce vzepřené. Jejich významnou předností je velmi dobrý odvod tepla. Využití nalézají v zážehových motorech osobních automobilů a to díky menšímu působení normálových sil na stěnu válce. U těsnicí plochy je vyžadován přesah $0,03 \div 0,1$ mm. Pro zajištění takového přesahu a zároveň i utěsnění chladicího prostoru vůči klikové skřini, jsou používány tenké měděné podložky. V některých případech se aplikují plochá silikonová těsnění, která jsou uložena na čelní ploše.[12]



6.1.3 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ PRO VÝROBU VLOŽEK VÁLCŮ

Vložky válců se mohou vytáčet z následujících materiálů[2][12]:

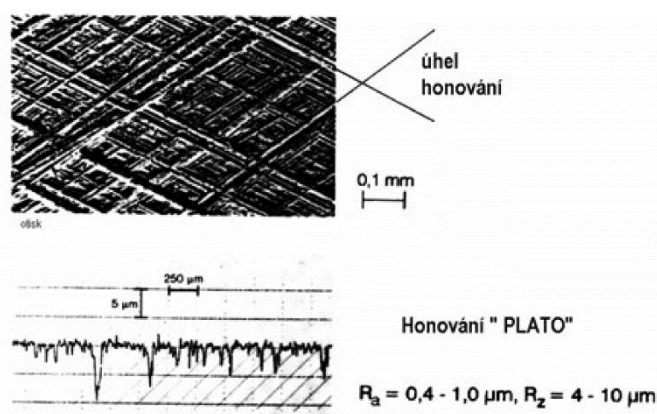
- **šedá litina** (např. označení dle ČSN 42 2425); je vhodná pro motory s nižším namáháním
- **nízko legovaná šedá litina** (například s obsahem 0,4 – 0,7% chromu a 1,6 – 2,2% niklu); díky přísadám jako je Ni, Cr, Mo, Cu je v litině zajištěna stabilnější perlitická struktura současně s vyšší pevností a odolností proti opotřebení
- **vysoce legovaná litina** (používána jen ve zvláštních případech)
- **ocelové vložky válců**

6.1.4 TECHNOLOGIE VÝROBY VLOŽEK VÁLCŮ

Důležitým základem pro produktivní výrobu vložek válců je přesný polotovár. Nejpříznivější je použití odlitku ze skořepinové formy nebo výroba odlitku odstředivým litím na výstelku. Polotovár je po odlití potřeba obrobit. Důležité je zejména opracovat vnitřní válcovou plochu, vnější válcovou plochu a obě čela. Minimálně horní čelo musí vykazovat bezpečnou těsnost. Největší důraz je kladen na funkční část, kterou je vnitřní válcová plocha. Tu je potřeba dvakrát soustružit, dvakrát jemně vrtat a dvakrát honovat. Honování probíhá pomocí brusných kamenů z karbidu křemíku. Stopy, které po tomto procesu vzniknou, vytváří křížové šrafování, kde úhel honování je 40 až 70°. Lze také použít tzv. honování „plato“, které je vytvořeno za pomoci brusných kamenů s rozdílnou zrnitostí. V první fázi jsou vytvořeny hlubší rýhy větším zrnem. Tyto rýhy umožňují udržení olejové vrstvy. V druhé fázi jsou pak kameny s jemnějším zrnem vytvořeny plošinky, které slouží k zachycení měrného tlaku od pístních kroužků. Tímto způsobem je možné dosáhnout menšího opotřebení válce i snížení spotřeby oleje.[2][12]



Obr. 19 Pohled na povrch válce vytvořený honováním[18]



Obr. 20 Detail pracovního povrchu válce[12]



7 SOUDOBÉ VÁLCE ČTYŘDOBÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ

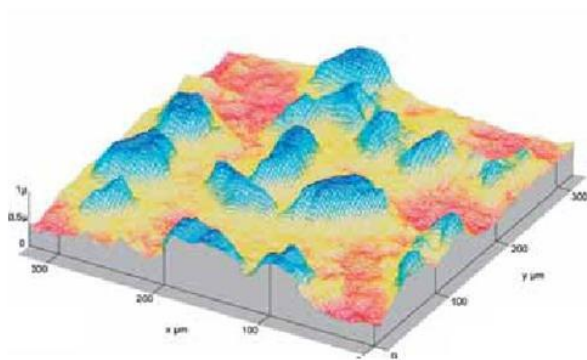
Současným trendem je vyrábět co nejkompaktnější motory s vysokým výkonem. S tím je spojeno zvýšené termomechanické zatížení, kdy vnitřní stěny válců jsou vystaveny vyšším tlakům při spalování a vyšším rychlostem pístu. To zdůrazňuje důležitost tribologických vlastností povrchů válců a jejich chování při kontaktu s pístem nebo pístním kroužkem. Právě toto má hlavní význam v souvislosti s mechanickými a termodynamickými ztrátami, opotřebením a emisemi při spalování motorového oleje. Kromě toho také vhodné sladění válce a pístu nebo pístních kroužků vede ke snížení opotřebení, menší spotřebě paliva a vyššímu výkonu motoru.[11]

7.1 SPECIÁLNÍ POVRCHOVÉ ÚPRAVY

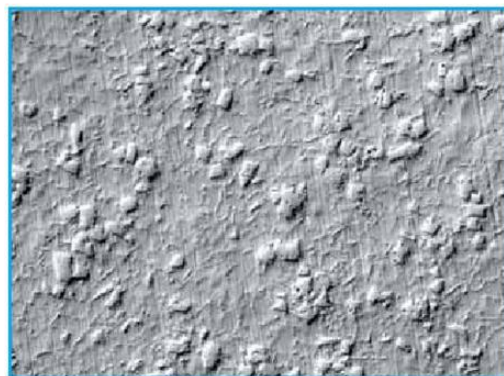
V dnešní době jsou válce odlévány společně s blokem motoru. K výrobě těchto bloků se používají lehké slitiny hliníku. Avšak pro zajištění příznivého povrchu kluzných ploch pro písty je třeba aplikace speciálních povrchových úprav, bez kterých není možné tyto hliníkové odlitky použít.[5][19]

7.1.1 METODA ALUSIL®

Při použití metody ALUSIL® je celý blok motoru vyroben z nadeutektické slitiny hliníku a křemíku. Zvýšený obsah křemíku, který činí 17% je nejčastěji používaným právě v nadeutektických slitinách ALUSIL® s označením AlSi17Cu4Mg. Pro porovnání je dobré uvést, že například v eutektické slitině hliníku a křemíku se procento křemíku pohybuje pouze mezi 12 až 13%. K lepšímu průběhu krystalizačního procesu křemíku dopomáhá také malé množství fosforu, které se přidává do roztaveného kovu.[19]



Obr. 21 3D pohled – Drsnost povrchu zhotoveného metodou ALUSIL[19]



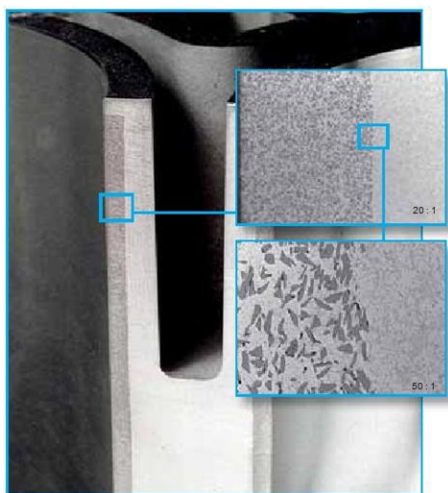
Obr. 22 Struktura dokončeného povrchu metodou ALUSIL[19]

Výroba nejčastěji probíhá litím do kokil nebo pomocí nízkotlakého lití. Poté co je pracovní plocha válce honována dochází k odstranění měkkého hliníku kolem křemíkových krystalů. A to lapováním či elektrochemickým leptáním. Vystoupí tvrdá křemíková zrna poté vytvářejí dráhu pro píst a pístní kroužky, která je velmi odolná proti oťeru. Docílit nižšího opotřebení pístu je dále možné použitím hliníkových pístů s povrchovou úpravou „Ferrocoat“.[4][5]

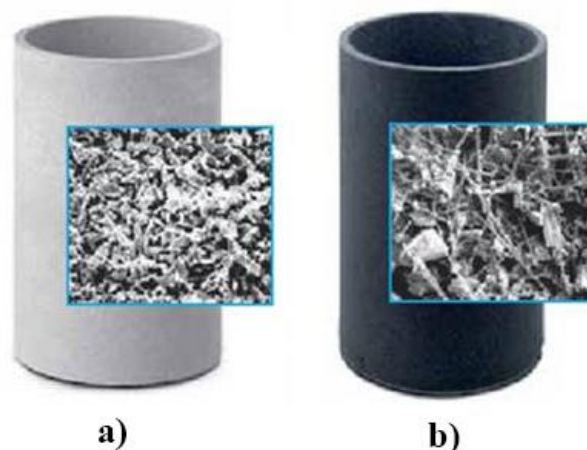
7.1.2 METODA LOKASIL®

Při výrobě metodou LOKASIL® je hliníková slitina (např. AlSi9Cu3) odlévána za normálního tlaku. V místech kde se nachází kluzná plocha válce, je slitina obohacena křemíkem. Toho je dosaženo pomocí vysoce porézních jader, která jsou složena z matrice přehřáté zhruba na 700 °C. Přehřáté jsou pak vkládány do lící formy. V tomto případě je užíváno speciálního postupu tlakového lití (Squeeze Casting). Po následném naplnění formy hliníková slitina za zvýšeného tlaku (cca 70 MPa) prostupuje skrze póry vložených jader. Velkou výhodou je možnost použití recyklovaného hliníku s nižším podílem křemíku. To se samozřejmě příznivě projeví na ceně výrobku. Docílení potřebného obohacení křemíkem je poté zajištěno materiálem jader.[5][19]

Pro zabezpečení velmi odolného povrchu proti opotřebení je zapotřebí několikastupňového honování. Při tomto procesu dochází k tomu, že křemíkové krystaly jsou reliéfovitě odkrývány a tím je zajištěn vznik požadovaného povrchu.[5]



Obr. 24 Řez blokem motoru vyrobeného užitím metody LOKASIL[19]



Obr. 23 a) Verze LOKASIL I, b) Verze LOKASIL II[19]

Křemíkové polotovary se vyskytují ve dvou rozdílných úpravách. Jejich označení je LOKASIL® I a LOKASIL® II., viz obr. 23. V obou případech jsou před odlitím do motorového bloku polotovary nejdříve zapékány v pecích. Během procesu je přidána syntetická pryskyřice, která je následně vypálena a funguje jako anorganické pojivo držící krystaly křemíku před samotným odlitím.[19]

Rozdílem těchto úprav je, že při použití metody LOKASIL® I bude připravený polotovar po odlití do bloku motoru obsahovat přibližně 5-7% vláken a 15% křemíku. S metodou LOKASIL® II bude možné získat větší zastoupení křemíku a to přibližně 25% současně s anorganickým pojivem, kterému bude připadat přibližně 1%. U modifikace LOKASIL® I dosahují křemíkové částice velikosti mezi 30 a 70 µm. Při použití typu LOKASIL® II je velikost částic v rozmezí 30 a 120 µm. Na obr. 23 a) je mikroskopické zobrazení struktury povrchu upraveného pomocí metody LOKASIL® I a na obr. 23 b) pomocí typu LOKASIL® II. Na zvětšeném detailu jsou velmi dobře vidět části vláken, které se nachází mezi křemíkovými krystaly.[19]



7.1.3 POVLAKOVÁNÍ POVRCHU VÁLCE NITRIDY TITANU

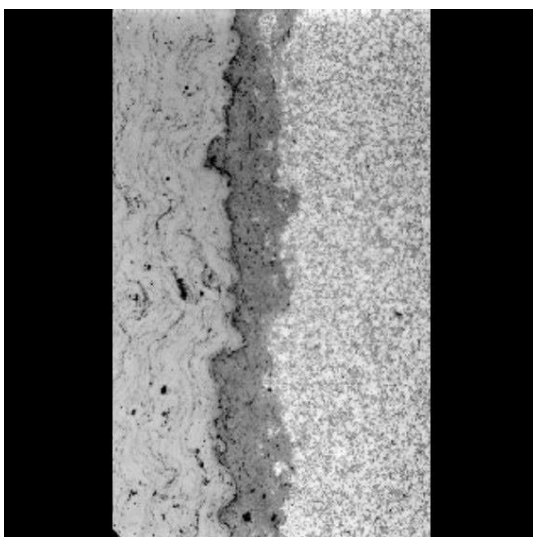
Povlakování kluzných ploch válců pomocí nitridů titanu (TiN) nebo hliníkových nitridů titanu (TiAlN) je poměrně novým procesem, který se do sériové výroby dostal teprve před několika lety. Pro zajištění nezbytné odolnosti proti opotřebení jsou honované povrchy válců vyrobené z hliníku pokrývány povlakem pomocí fyzikální metody PVD (angl.. physical vapour deposition). Tloušťka povlaku vytvořená tímto procesem je relativně malá. To je velmi výhodné, protože je tak možné zachovat strukturu povrchu vytvořenou honováním. Avšak relativně vysoké náklady a nedostatečná spolehlivost procesu stále brání širšímu používání této metody.[19]

7.1.4 ŽÁROVĚ STRÍKANÉ VLOŽKY GOEDEL®

Hlavní myšlenkou této metody je zachování, jak je již známo, dobrých tribologických vlastností šedé litiny a zároveň vyřešit stávající problémy, které se vyskytují při použití tradiční vložky z šedé litiny v hliníkovém bloku. Zejména je to nedostatečný kontakt, který má za následek zhoršený odběr tepla a horší rozměrovou stálost.[11]

Metoda GOEDEL® je založena na principu žárového nanášení kovů. Při použití této metody je na základní geometrii válce tepelně nastříkána vrstva železa a následně také vrstva vhodné AlSi slitiny. Tím je docíleno velmi dobrého přechodu mezi železem a hliníkem. Výhodou je pak také mikrodrsnost AlSi slitiny, která umožňuje velmi dobrou přilnavost během zalévání vložky do bloku a to zejména v případě použití metody vysokotlakého lití.[11]

Příznivý vliv pak má vytvořená kovová vazba, díky které je docíleno lepšího tepelného toku a vyšší tuhosti (+ 30%) celého bloku. To má za následek také menší deformace válce, tudíž i opotřebení a menší spotřebu oleje.[11]



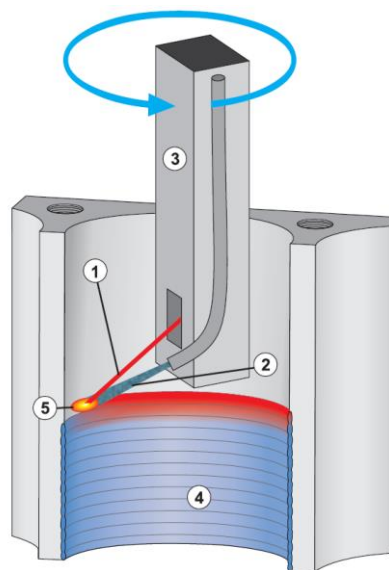
Obr. 25 Mikroskopická fotografie přechodu tepelně nanesených vrstev a odlitku z hliníku[11]

7.1.5 METODA TRIBOSIL®

Zdá se, že tato metoda nabízí téměř ideální řešení, kdy celohliníkový monolitický blok je možné jednoduše a s nízkými náklady odlít a zároveň již ve druhém kroku výrobního procesu dosáhnout vysoké stability a dobrého odvodu tepla z vnitřního prostoru otvoru pro válec. Při použití konceptu TRIBOSIL® je požadovaný povrch válce vytvořen pomocí laserového povrchového legování, které je provedeno na původním hliníkovém odlitku bloku. Tento blok může být odlit z běžných druhořadých slévarenských slitin. Což snižuje cenu výroby. Původně odlitá hliníková matrice otvorů pro válce v bloku je místně obohacena jemnými křemíkovými částicemi o průměru 10 μm , aby bylo možné docílit vytvoření nadeutektické povrchové struktury.[11]

Proces probíhá tak, že pohybující se laserový paprsek lokálně roztaví povrch válce. Současně je do lázně taveniny vstřikován křemíkový prášek. Výsledné vrstvy dosahují tloušťky okolo 600 μm . Tím je dosaženo optimální struktury a rozptýlení křemíkových částic. Po vhodném honování pak povrch válce vykazuje vysokou tvrdost a vynikající tribologické vlastnosti. Válcové vytvořené metodou TRIBOSIL® se vyznačují dobrou tepelnou vodivostí. Výhodou této metody je možná výroba bloků motorů s malými vzdálenostmi mezi otvory pro válce.[11]

Nevýhodou tohoto způsobu výroby je poměrně dlouhá doba při realizaci povrchové úpravy, která se pohybuje v rozmezí 3 – 6 minut. To je výrazně vyšší doba v porovnání s běžnou dobou cyklu typické výrobní linky motorů.[11]



Obr. 26 Schéma laserového legování[19]

1 – laser; 2 – tryskající prášek; 3 – rotační laserové optické zařízení;
4 -vytvořený povlak; 5 – roztavená lázeň

7.1.6 METODY NIKASIL® A GALNICAL®

Obě metody jsou založeny na principu galvanického povlakování. Výsledkem je disperzní vrstva Ni-SiC, která obsahuje zhruba 10% částic SiC o průměru 1 – 3 μm . Tyto částice jsou vloženy v niklové matici. Galvanické nanášení povlaků metodou NIKASIL® i GALNICAL® je již osvědčenou technologií a tyto metody jsou používány v sériové výrobě. Avšak problémy



spojené s otázkou životního prostředí v důsledku přítomnosti niklu a také problémy s korozí galvanické vrstvy, která je vyvolána působením paliv obsahující síru, značně omezilo jejich použití.[11]

7.2 SPECIÁLNÍ VLOŽKY VÁLCE ZE SLITINY HLINÍKU A KŘEMÍKU

Speciálním případem může být použití vložek ze slitiny hliníku a křemíku. To bylo poprvé uskutečněno v sériově vyráběném motoru Mercedes-Benz V6. Takovéto konstrukční řešení umožňuje snížení hmotnosti a také dosažení lepších kluzných vlastností povrchu válce. Dále pak tyto vložky zabezpečují lepší odvod tepla do bloku motoru, který je vyroben z lehké hliníkové slitiny. Naopak nevýhodou je nutnost použití drahých obráběcích nástrojů s diamantovými brity při výrobě. To je dáno charakterem slitin hliníku a křemíku, kdy jejich povrchy vykazují vysokou tvrdost a je tak náročné je obrobit.[4]



Obr. 27 Hliníkový blok motoru V6 s vložky válců ze slitiny hliníku a křemíku[11]

7.3 KOMPOZITNÍ SLITINY

Zajímavým konstrukčním řešením je použití vlákný zesílené hliníkové slitiny MMC (angl. Metal Matrix Composite). Tu použila firma Honda pro upravení povrchu stěn válců u motoru pro typ Prelude.[4]

Matrixovou slitinu, která je tvořena krátkými uhlíkovými a keramickými vlákny na bázi oxidů hliníku, si lze představit vlastně jako vložku válce. Odolnost proti opotřebení otěrem je zvýšena tvrdými keramickými vlákny, která zabraňují přímému kontaktu hliníkové stěny válce s pohybujícími se pístními kroužky. Výhodou uhlíkových vláken (24% slitiny MMC) je jejich samomaznost. Slitina MMC je také navíc ideálním vodičem tepla. Díky tomu dochází k rovnoměrnějšímu přenosu tepla skrze stěny válce. Ty pak podléhají nepatrné tepelné deformaci. Při použití takovéto slitiny je možné dosahovat vyšších provozních teplot. Tím je zvýšena celková účinnost motoru a tedy i úspornost motoru. Nevýhodou tohoto řešení jsou velmi vysoké výrobní náklady.[4]



ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo objasnit problematiku týkající se pracovních válců ve čtyřdobých spalovacích motorech. Uvést jejich funkce a požadavky, které se na ně váží. Vypracovat přehled možných konstrukčních řešení včetně používaných materiálů pro výrobu. Dále pak zmínit historické řešení konstrukce válců a také konstrukční řešení v současné době.

Na začátku práce je obecně popsán čtyřdobý pracovní cyklus a stručně rozebrána konstrukce čtyřdobého spalovacího motoru včetně rozdělení jeho hlavních částí. Dále je již pojednáváno o pracovních válcích. Zmíněny jsou jejich funkce a požadavky. Uvedena je také problematika jejich opotřebení. Následuje rozdělení válců z hlediska konstrukce (obecně) a s tím související kapitola věnující se blokům válců, resp. blokům motoru. Zbytek práce je věnován historickému řešení válců a válcům vyskytujícím se v dnešní době. Podrobně je popsána jejich konstrukce, materiály a v případě soudobých válců použité povrchové úpravy.

Jak již bylo několikrát řečeno, pracovní válec se podílí na správné funkci motoru a také máí obrovský vliv na jeho životnost. Charakteristika povrchu válce má zásadní podíl na funkci pístní skupiny. S tím souvisí také spotřeba paliva a maziv v motoru. Ve snaze dosahovat co nejvýhodnějších vlastností povrchů pro dvojici válec a píst, jsou jasným směrem do budoucna povrchové úpravy válců a jejich vývoj. Ty jsou výhodné také pro dnešní trend zvyšování účinnosti spalovacích motorů, kdy je kladen důraz na výkon, ale zároveň na kompaktnost, nízkou hmotnost a ekologii.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. ISBN 9788024734750.
- [2] JAROŠ, Karel. *Spalovací motory. II., Konstrukce spalovacích motorů*. Vyd. 1. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1990. ISBN 8021401311.
- [3] KOSTÁL, Jan a Bohuslav SUK. *Pístové spalovací motory*. 1. vyd. Praha: ČSAV, 1963.
- [4] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily 3: motory*. 3. vyd. Brno: AVID, 2004. ISBN 978-80-87143-06-3.
- [5] VLK, František. *Vozidlové spalovací motory*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 8023887564.
- [6] 48. Kruhové děje v plynu. *Bakalářská fyzika pro HGF VŠB-TUO*. [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://if.vsb.cz/bf/48.html>
- [7] AutoEXPERT. *Praktická dílna – Spalovací motory III*. 2005. [online]. [cit. 2016-04-07]. Dostupné z: http://www.skolahostivar.cz/DownloadPF/prakticka-dilna_09_2005.pdf
- [8] Korbmacher-Archiv. *Hondaoldies.de*. [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.hondaoldies.de/Korbmacher-Archiv/Honda/Engines/f22b.htm>
- [9] Mercedes-Benz S 63 AMG - Tradice výkonu. *automobilrevue.cz*. [online]. [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: http://www.automobilrevue.cz/rubriky/technika/mercedes-benz-s-63-amg-tradice-vykonu_39467.html
- [10] Eurospec High Performance Crankshafts. *Eurospec.com* [online]. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.eurospecsport.com/products/components/performance-crankshafts.htm>
- [11] Aluminium Automotive Manual – Applications – Power train – Cylinder linings. *EUROPEAN ALUMINIUM*. [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://european-aluminium.eu/media/1575/aam-applications-power-train-3-cylinder-linings.pdf>
- [12] RAUSCHER, Jaroslav. *Vozidlové motory*. [online]. [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.iae.fme.vutbr.cz/userfiles/ramik/files/Vozidlove%20motory.pdf>
- [13] TECHNOLOGIE OPRAV I. *T 8 Opravy válců pístových spalovacích motorů*. [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/160/08.html>
- [14] Applications – Power train – Engine blocks. *EUROPEAN ALUMINIUM* [online]. [cit. 2016-05-12]. Dostupné z: <http://european-aluminium.eu/media/1573/aam-applications-power-train-2-engine-blocks.pdf>
- [15] Open deck and closed deck. *Honda Prelude Forum* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.preludepower.com/forums/showthread.php?t=298307>



- [16] Closed Deck Block. *Subaru Performance Engines & Parts* [online]. [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://subaruperformanceengines.com/imagepages/image20.html>
- [17] KOŽOUŠEK, Josef. Výpočet a konstrukce spalovacích motorů. II. Praha : Bratislava: SNTL - Nakladatelství technické literatury ;, Alfa, vydavatel'stvo technickej a ekonomickej literatury, 1983, 483 s. : il. 2 listy.
- [18] YZ 250 honování válce. *Fórum Motorkáři.cz* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.motorkari.cz/tema/?t=127173&pgr=2>
- [19] Kolbenschmidt Pierburg AG. *Reconditioning of Aluminium Engine Blocks*. [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.electrosil.com.au/pdf/KS.pdf>
- [20] Engine Blocks. *CALLIES* [online]. [cit. 2016-05-19]. Dostupné z: <http://www.callies.com/components/blocks-sleeve>



SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Pracovní cyklus čtyřdobého zážehového motoru.....	11
Obr. 2 Asymetrický rozvodový diagram motoru BMW V12 (perioda sání 248°).....	12
Obr. 3 Částečný řez motorem VTEC výrobce Honda.....	13
Obr. 4 Klikový mechanismus motoru Mercedes 1 - píst, 2 – ojnice, 3 - hlava válců, 4 - klikový hřídel.....	14
Obr. 5 Kovaná kliková hřídel	15
Obr. 6 Průběhy opotřebení válce motoru	17
Obr. 7 Zvýšené opotřebení válce.....	18
Obr. 8 Běžné opotřebení válce	18
Obr. 9 Vzduchem chlazený válec	19
Obr. 10 Mokrý vložka válce	20
Obr. 11 Suchá vložka válce	21
Obr. 12 Provedení Open-deck (motor Honda)	22
Obr. 13 Provedení Closed-deck (motor Subaru)	22
Obr. 14 Počet vyrobených bloků motorů v západní Evropě	24
Obr. 15 Bloky válců ze šedé litiny (vlevo) a hliníkové slitiny (vpravo)	24
Obr. 16 Konstrukční provedení válců u bloků motoru z Al slitin	25
Obr. 17 Konstrukce suchého vloženého válce.....	27
Obr. 18 Konstrukce mokrého vloženého válce, a) horní, b) dolní dosedací plocha, 1 – drážky, 2 – vybrání v bloku, 3 – kontrolní otvor.....	28
Obr. 19 Pohled na povrch válce vytvořený honováním	29
Obr. 20 Detail pracovního povrchu válce.....	29
Obr. 21 3D pohled – Drsnost povrchu zhotoveného metodou ALUSIL	30
Obr. 22 Struktura dokončeného povrchu metodou ALUSIL	30
Obr. 23 a) Verze LOKASIL I, b) Verze LOKASIL II	31
Obr. 24 Řez blokem motoru vyrobeného užitím metody LOKASIL	31
Obr. 25 Mikroskopická fotografie přechodu tepelně nanesených vrstev a odlitku z hliníku...32	
Obr. 26 Schéma laserového legování[19] 1 – laser; 2 – tryskající prášek; 3 – rotační laserové optické zařízení; 4 -vytvořený povlak; 5 – roztavená lázeň	33
Obr. 27 Hliníkový blok motoru V6 s vložky válců ze slitiny hliníku a křemíku	34