

**UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008

Petr Hanus

**Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera**

**NÁVRH METODIKY HODNOCENÍ
OBROBITELNOSTI BLOKŮ MOTORU ZE
SLITIN HLINÍKU**

Petr Hanus

Bakalářská práce

2008

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Katedra dopravních prostředků
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr HANUS**

Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**

Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Návrh metodiky hodnocení obrobiteľnosti bloků motorů
ze slitin hliníku**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Obrobiteľnost materiálu - parametry obrobiteľnosti, testy a metody normativního hodnocení.
2. Teoretický rozbor možných vlivů na obrobiteľnost aplikovaných materiálů vybraných obrobků
3. Analýza vhodných postupů hodnocení obrobiteľnosti bloků se slitin hliníku
4. Rozbor metod hodnocení jakosti procesních kapalin
5. Laboratorní analýzy jakosti obrobených povrchů bloků motorů
6. Shrnutí výsledků provedených rozborů, posouzení vhodnosti použitého postupu.
7. Návrh vhodné metodiky pro řešení problém hodnocení obrobiteľnosti konkrétního výrobku

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. Roučka J.: **Metalurgie neželezných slitin**. VUTBrno, CERM Brno, 2004. ISBN 80-214-2790-6
2. Čep R. a kol: **Stanovení obrobitelnosti materiálů**, VŠB TU Ostrava, v tisku
3. **Odborné publikace dle další specifikace**

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Eva Schmidová, Ph.D.

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání bakalářské práce:

18. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

26. května 2008



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

..

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem lidem, kteří mi při tvorbě mé bakalářské práce pomohli, hlavně pak paní Doc. Ing. Evě Schmidové, Phd., a Doc RNDr. Jaroslavě Machalíkové, CSc, za poskytnutí studijních materiálů, pomoc v laboratořích a motivaci ke studiu.

SOUHRN

Tato práce pojednává o obrobiteľnosti materiálů. V teoretické části jsou popsány dlouhodobé a krátkodobé zkoušky obrobiteľnosti. Část práce je věnovaná obrobiteľnosti při broušení a suchému frézování vysokými rychlostmi. Jsou zde zmíněny aplikace nových trendů v použití hliníkových slitin. V praktické části je seznámení s navrhnutou metodou obrobiteľnosti pro slitiny hliníku, která je doprovázena řeznými kapalinami. Dále je realizace metody a vyhodnocení vzorků. Závěr práce je věnován rozboru řezných a chladících kapalin.

KLÍČOVÁ SLOVA

slitiny hliníku, řezné a chladící kapaliny, mikrotvrdość, Vickers, obrobiteľnost materiálů

TITLE

METHODOLOGICAL SUGGESTION OF ALUMINIUM ALLOY ENGINE BLOCK CLASSIFICATION

ABSTRACT

This work deals with materials machinability. A description of long term and short term machinability tests is situated in a theoretical part. One section of the work is devoted to machinability during grinding and dry high speed milling. In this section, application of new trends in using aluminium alloys is mentioned, too. The method for aluminium alloy machinability is specified in a practical part. Realization of the method and sample interpretation are elaborated in the next part. The ending of the work is dedicated to an analysis of cutting and cooling fluids.

KEYWORDS

aluminium alloy, cutting and cooling fluids, machinability materials, micro-hardness

Obsah:

Úvod.....	8
2 Obrobitelnost materiálů.....	9
2.1 Dlouhodobé zkoušky obrobitelnosti.....	11
2.2 Krátkodobé zkoušky obrobitelnosti	13
2.2.1 Přímé metody zjišťování obrobitelnosti:	14
2.2.2 Nepřímé metody zjišťování obrobitelnosti	16
3 Obrobitelnost při broušení	21
3.1 Rovinné broušení obvodem kotouče	25
4 Suché frézování materiálu Ti6Al4V vysokými rychlostmi	27
5 Nové trendy používání hliníku a jeho slitin v automobilovém průmyslu.....	29
5.1 Bloky hliníku s přiloženou litinovou vložkou	29
5.2 Písty.....	30
5.2.1 Výrobní technologie:	30
5.3 Blok motoru	31
5.4 Hlava válce	31
6 Navrhnutá metoda obrobitelnosti pro slitiny hliníku, doprovázena řeznými kapalinami	33
6.1 Navrhnutá metoda	33
7 Realizace metody.....	34
7.1 Provedení metody u hlavy Škoda favorit	34
7.1.1 Postup měření.....	36
7.2 Výsledky měření.....	37
7.2 Provedení metody u příruby	38
7.3 Výsledky měření.....	39
7.3 Vyhodnocení vybraných vzorků, obrobené pomocí vrtné metody	40
7.4 Hodnocení pomocí vysokovakuového mikroskopu	41
7.4.1 Vzorek opracovaný kapalinou od 2. výrobce.....	42
7.4.2 Vzorek opracovaný kapalinou od 1. výrobce.....	43
7.5 Porovnání vzorků	43
7.5.1 Vyhodnocení podle hrany	44
7.5.2 Vyhodnocení podle plochy	44
7.6 Hodnocení vzorků na základě zkoušky mikrotvrdomosti.	44
7.6.1 Příprava vzorků	44

7.6.2	Postup při provádění mikrotvrdosti	44
7.6.3	Výsledky mikrotvrdosti	45
7.6.4	Podélné řezy	45
7.6.5	Příčné řezy.....	46
7.7	Vyhodnocení vzorků	46
8	Infračervená spektrometrie řezných kapalin.....	47
8.1	Vyhodnocení kapalin.....	50
Závěr	51
	Seznam použité literatury.....	52

Úvod

V konstrukci silničních dopravních prostředků se dnes ve zvýšené míře využívá hliník. Jedním z hlavních důvodů je snižování hmotnosti. Hliník se používá jako materiál na výrobu pístů, bloků motorů, hliníkových voštin do deformačních zón, výrobu automobilových kol i jako dekorativní prvek. Důležitou vlastností je i recyklovatelnost. V neposlední řadě je zde snaha splnit nároky na ekonomický a ekologický provoz všech silničních dopravních prostředků.

Cílem mé práce bylo navrhnout metodu hodnocení obrobitelnosti bloků motorů z hliníkových slitin, která navazuje na popsané metody obrobitelnosti. V teoretické části se věnuji obrobitelnosti materiálů, kde jsou uvedeny dlouhodobé a krátkodobé zkoušky obrobitelnosti. Dále je zde popsána obrobitelnost při broušení. Dále jsou uvedeny nové trendy aplikace hliníku a jeho slitin v automobilovém průmyslu.

V praktické části je práce věnována zkouškám obrábění vybraného segmentu z bloku motoru z hliníkových slitin podle navržené metody a jejich vyhodnocení. Součástí metody bylo vyhodnocení různých variant aplikovaných řezných kapalin. Na vzorkách byly provedeny metalografické výbrusy a vzorky byly dále zkoumány. Byla měřena tvrdost podle Vickerse. Tvrdost podle Vickerse byla měřena jak podélném, tak v příčném řezu. Z naměřených hodnot byly vyvozeny závěry a odpovídající hodnocení.

2 Obrobitelnost materiálů

Pod pojmem obrobitelnost označujeme souhrnný vliv fyzikálních vlastností a chemického složení kovů na průběh a na ekonomické, popř. kvalitativní výsledky procesu řezání. Lze ji obecně posuzovat z hlediska vlivu materiálu obrobku na intenzitu otěru, energetické bilance procesu řezání a také jejich vlivu na proces tvoření třísky a vytváření nového povrchu na obrobku.

Existuje úzký vztah stupně obrobitelnosti kovů k velikosti jednotlivých faktorů, které jsou součástí procesu řezání, jako např. součinitel tření třísky po čele nástroje, plochy řezu na hřbetě břitu, velikost měrné deformační práce, stupeň zpevnění v odřezávané vrstvě materiálu, velikost mezních kluzných napětí ve střížné rovině a velikost jeho úhlu β , apod. [1]

Z hlediska technologie obrábění je obrobitelnost jednou z nejdůležitějších vlastností materiálu a lze ji také definovat jako míru schopnosti daného konkrétního materiálu být zpracováván některou z metod obrábění. Je hlavním činitelem pro volbu řezných podmínek a pro funkci nástroje při všech metodách obrábění. Obrobitelnost závisí na mnoha faktorech, z nichž nejdůležitější jsou:

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu,
- mikrostruktura obráběného materiálu,
- chemické složení obráběného materiálu,
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu,
- metoda obrábění,
- pracovní prostředí,
- geometrie nástroje,
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu.

Z hlediska charakteristik obrobitelnosti a řezivosti je možné obrobitelnost a řezivost rozdělit na obrobitelnost a řezivost absolutní a relativní. Nutno podotknout, že obrobitelnost a řezivost spolu úzce (neoddělitelně) souvisí a řada kritérií obrobitelnosti je současně i kritérii řezivosti.

Absolutní obrobiteľnosť, resp. ŕezivosť jsou charakterizovány buď funkčným vzťahem a parametry spolu souvisejícími nebo určitou velikostí dané veličiny charakterizující obrobiteľnosť, resp. ŕezivosť.

Relativní obrobiteľnosť, resp. ŕezivosť jsou charakterizovány bezrozměrnými čísly, které udávají poměr velikostí určité veličiny, a sice poměr velikosti této veličiny vztahující se k danému materiálu obrobku, resp. k nástroji a velikostí této veličiny odpovídající etalonovému (referenčnímu) materiálu obrobku, resp. nástroji.

Obrobiteľnosť, resp. ŕezivosť hodnotíme především z hlediska intenzity opotřebování břitu, dále též z hlediska teplotního, silového, technologického a kvalitativního. Nejčastěji vycházíme z intenzity opotřebování břitu.

Nejdůležitějším kritériem tohoto typu je komplexní Taylorův vzťah. Dalšími kritérii jsou jednoduchý Taylorův vzťah a hodnota řezné rychlosti v_T odpovídající určité trvanlivosti břitu, což patří do absolutní kategorie. K relativním charakteristikám, které vycházejí z intenzity opotřebování břitu, patří především index obrobiteľnosti K_v .

$$K_v = \frac{v_{T/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{v_{T/VB} \text{ etalonového materiálu}} \quad (2.1)$$

případně

$$K_v = \frac{c_{v_{zk.mat}}}{c_{v_{et.mat}}} \cdot T \left(\frac{1}{m_{et}} - \frac{1}{m_{zk}} \right), \text{ kde} \quad (2.2)$$

$v_{T/VB}$ zkoušeného materiálu odpovídá v_{15zk} [m.min⁻¹], což je řezná rychlost v_c při trvanlivosti $T_n = 15$ [min.] pro zkoušený (sledovaný) materiál

$v_{T/VB}$ etalonového materiálu odpovídá v_{15et} [m.min⁻¹], což je řezná rychlost v_c při trvanlivosti $T_n = 15$ [min.] pro referenční (etalonový) materiál

Existuje několik možností, jak rychle, dostatečně přesně a objektivně stanovit obrobiteľnosť, zatím neznámé kombinace – nově vyvinutý řezný a rovněž doposud „neotestovaný“, nově zaváděný vysoce houževnatý (pevný a tvrdý) obráběný materiál. Jedná se konkrétně o tyto vybrané, níže uvedené možnosti:

- míra závislosti na řezné rychlosti,

- dosažená drsnost obrobené plochy,
- velikost opotřebení břitu nástroje,
- množství energie potřebné k odřezání dané vrstvy materiálu,
- vztah k dosahované teplotě řezání,
- druh a tvar tvořící se třísky.

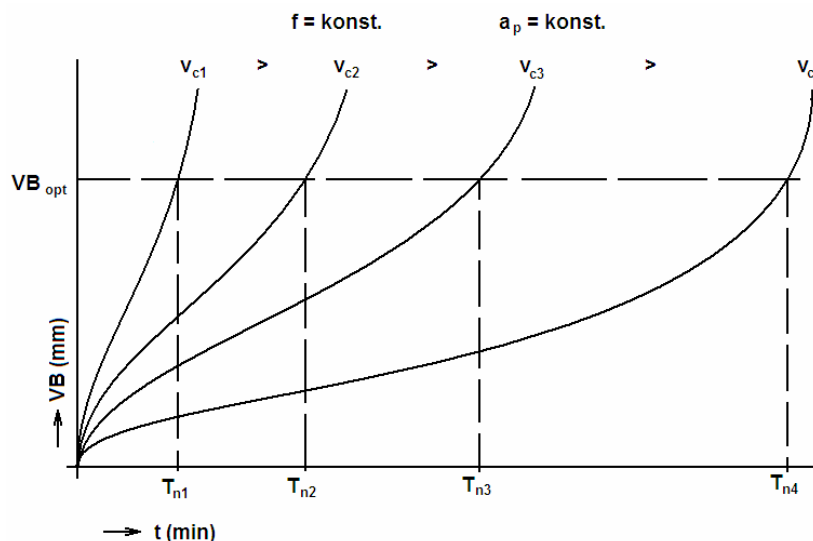
2.1 Dlouhodobé zkoušky obrobiteľnosti

Dlouhodobá zkouška trvanlivosti je v podstatě jen jedna. Kritériem je zde hodnota řezné rychlosti a provádí se soustružením nebo frézováním dohodnutými konstantními řeznými parametry, druhem řezného nástroje a geometrií více odstupňovanými řeznými rychlostmi až do optimálního otupení břitu.

Tato zkouška je považována za základní a podle ní se posuzuje míra objektivnosti ostatních zkoušek obrobiteľnosti. Lze je využít i k určování řezivosti nástrojů. Nevýhodou je velká spotřeba obráběného materiálu a náročnost na čas zkoušky. [2]

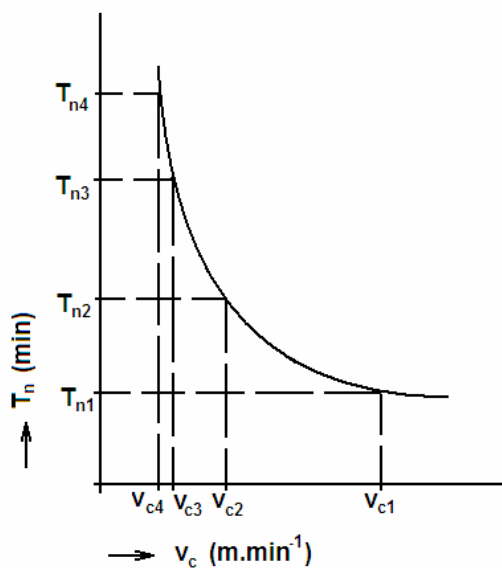
Dlouhodobá zkouška trvanlivost má následující průběh:

- změří se časový průběh opotřebení na hřbetu nástroje VB_B pro několik hodnot rychlostí při konstantních řezných parametrech a sestojí se křivky otupení, viz. *obr. 2.1*.



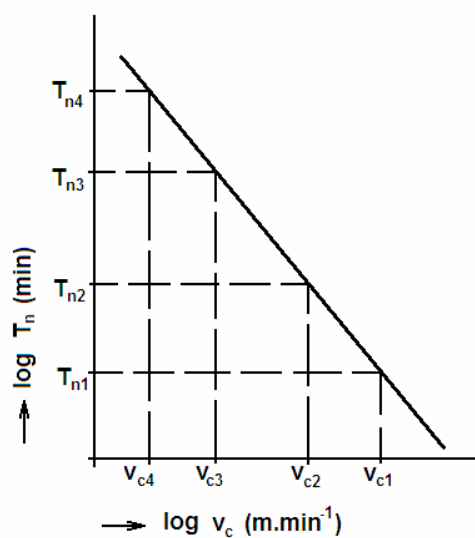
Obr. 2.1 Křivky otupení při proměnné řezné rychlosti, $f = \text{konst.}$, $a_p = \text{konst.}$ [2]

- Určí se kritérium opotřebení VB_{opt} a tím se stanoví pro každou řeznou rychlost odpovídající trvanlivost břítu, viz. obr. 2.2.



Obr. 2.2 Stanovení jednotlivých trvanlivostí na základě kritéria opotřebení [2]

- Sestrojí se závislost $T_n = f(v_c)$ v logaritmických souřadnicích a pro vybranou trvanlivost je možné stanovit index obrobitelnosti při srovnání řezní rychlosti zkoumaného materiálu s řeznou rychlostí materiálu etylénového, viz. obr. 2.3.



Obr. 2.3 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti [2]

2.2 Krátkodobé zkoušky obrobiteľnosti

Tyto zkoušky jsou méně objektivní, ale mají výhodu v nesrovnatelně kratší době trvání a nižší spotřebě materiálu. Rychlé a dostatečně přesné stanovování obrobiteľnosti materiálu zejména třískovým obráběním s definovatelnou řeznou geometrií břitu nástroje je při současném bouřlivém vývoji neustále nově vyvíjených vysoce pevných, tvrdých a přitom zvláště houževnatých technických materiálů na programu dne.

Jsou vhodné pro rychlé roztřídění skupiny materiálu podle stupně obrobiteľnosti, pro ověření eventuální změny stupně obrobiteľnosti u jednotlivých dodávek stejného druhu materiálu nebo pro rychlé určení relativního stupně obrobiteľnosti z jednotlivých taveb a u nově vyvíjených materiálů.

Podle principu a použitého kritéria lze tyto zkušební metody dále rozdělit na přímé a nepřímé. Metody založené na přímém zjišťování intenzity opotřebení za zostřených či jinak smluvně upravených podmínek. Nepřímé metody vycházejí ze známého, resp. předpokládaného vztahu mezi opotřebením břitu a charakteristickými parametry řezného procesu. Jsou založeny převážně na zjišťování energetických parametrů. [2]

Přímé metody zjišťování obrobiteľnosti:

- čelní krátkodobá zkouška,
- mikrozkouška trvanlivosti,
- snížení míry opotřebení,
- použití nástroje se sníženou řezivostí,
- zvýšením řezné rychlosti.

Nepřímé metody zjišťování obrobiteľnosti:

- dynamická metoda (měření sil při obrábění),
- měření tvrdosti obrobku,
- mikrometrická metoda (při stejné hodnotě drsnosti),
- porovnání tvaru třísky,
- Leyensetterova metoda,

- vrtání při konstantním tlaku,
- pomocí teploty řezání,
- měření hloubky zpevněné vrstvy:

2.2.1 Přímé metody zjišťování obrobitelnosti:

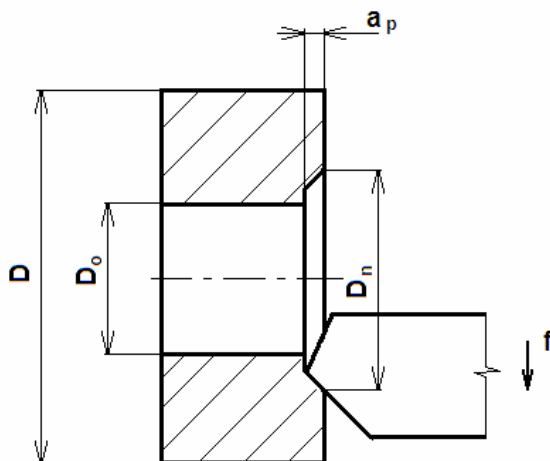
Při čelní zkoušce se soustruží mezikruží na čele disku o průměrech D_o a D . Soustruží se z průměru D_o při konstantních otáčkách, posuvu a hloubce řezu. Řezná rychlost s rostoucím obráběným průměrem narůstá. Měří se, na jakém průměru D_n dosáhne nástroj předem dané hodnoty opotřebení, viz. *obr. 2.4.* Kritériem je potom porovnání řezné rychlosti zkoumaného materiálu s řeznou rychlostí odpovídající etalonovému materiálu.

$$K_v = \frac{v_{czk}}{v_{cet}} \quad (2.3)$$

v_{czk} – řezná rychlost zkoumaného materiálu ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$),

v_{cet} – řezná rychlost etalonového materiálu ($\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$).

Nevýhodou této metody je nutnost výroby obrobku s velkým poměrem průměru ku délce (disku).



Obr. 2.4 Schéma čelní zkoušky obrobitelnosti [1]

Mikroskouška obrobitelnosti je vhodná pouze u nástrojů, jejichž funkční plochy jsou pečlivě lapovány. Tím se výrazně sníží velikost opotřebení v počáteční fázi obrábění a lze tak získat hodnoty pro sestavení závislosti $T_n = f(v_c)$ velmi rychle při malé spotřebě obráběného

materiálu. Vychází z hodnot otupení na hřbetu $VB_B = 0,1$ [mm]. Lze konstatovat, že příslušné závislosti $T_n - v_c$ jsou prakticky rovnoběžky. [3]

Zkouška za snížené míry opotřebení vychází z dlouhodobé zkoušky obrobitelnosti, ale pro její časovou náročnost se volí kritérium obrobitelnosti $v_{c,5}$ (obrábění řeznou rychlostí po dobu 5 [min.]) a mezní míra opotřebení 0,2 až 0,3 [mm]. [1]

Jiný autor uvádí mezní míru opotřebení 0,1 až 0,25 [mm]. Tím se dosáhne snížení trvanlivosti a krátkodobosti zkoušky. Tato zkouška ovšem nezaručuje plnou objektivitu hodnocení indexu obrobitelnosti. Obrábí se za běžných podmínek jako u dlouhodobé zkoušky. [2]

Pokud vhodným tepelným zpracováním snížíme řezivost nástroje, dosahuje tento nástroj rychlejšího opotřebovávání v porovnání s původním nástrojem za stejných řezných podmínek. Tím opět dosáhneme efektu krátkodobé zkoušky. Druhou možností je úprava břitu nástroje (malý úhel špičky a břitu). [2]

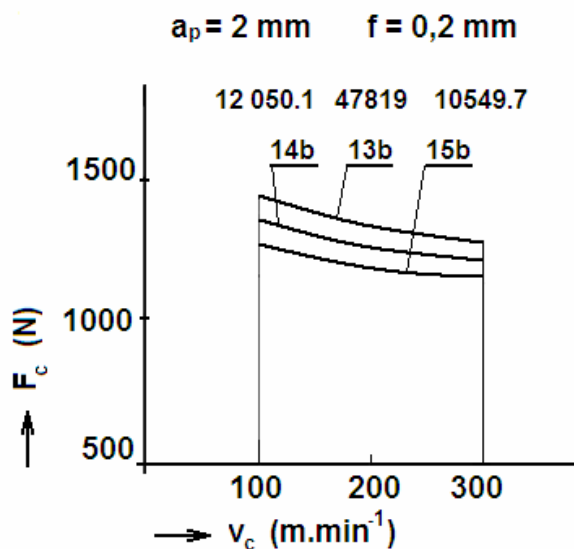
Použijeme-li zvýšenou řeznou rychlost než se běžně doporučují, dosáhneme za těchto ztuhlejších řezných podmínek snížení trvanlivosti břitu nástroje a tím i krátkodobosti zkoušky. Závislost $T_n - v_c$ se pak extrapoluje od nižších hodnot trvanlivosti k vyšším nebo se použije přímo nižší hodnota trvanlivosti pro relativní porovnání obrobitelnosti či řezivosti např. $v_{c,7}$, pro $T_n = 7$ [min.]. [2]

Podstata dynamické metody spočívá v teoreticky dokázané a experimentálně potvrzené skutečnosti, že houževnatější (z hlediska obrobitelnosti) materiál, při jinak naprosto stejných řezných podmínkách, ale i ostatních parametrech procesu řezání, klade větší měrný řezný odpor.

Jestliže si předem důkladně připravenými a zodpovědně provedenými dlouhodobými zkouškami „otestujeme“ referenční (etalonový) materiál s doposud z hlediska obrobitelnosti novým neznámým hutním materiálem (vzorkem), můžeme pak stanovit příslušné závislosti a porovnáním vytvořit patřičné „převodové mechanismy“ prostřednictvím nichž, jsme pak schopni dostatečně přesně a časově i ekonomicky značně výhodněji určit obrobitelnost krátkodobou zkouškou.

Průběhy závislostí řezné složky síly obrábění F_c (v tomto uváděném případě vnějším podélném soustružení) na řezné rychlosti v_c jsou uvedeny na *obr 2.5*. Průběhy těchto uvedených závislostí byly testovány za striktně dodržovaných parametrů a technologických

podmínek, které stanovuje platná norma. Závislosti zbývajících složek síly řezání F_f a F_p se z důvodu podstatně menší významnosti v tomto případě neuvádějí.



Obr. 2.5 Závislost řezné složky síly obrábění na řezné rychlosti [3]

2.2.2 Nepřímé metody zjišťování obrobitelnosti

Při měření tvrdosti obrobku se do materiálu vtlačí kužel z tvrdokovu a měří se průměr vtisku etalonového (referenčního) materiálu a zkoumaného materiálu. Index obrobitelnosti se potom určí ze vztahu:

$$K_v = \frac{d_e}{d_{zk}}, \text{ kde} \quad (2.4)$$

d_e – průměr vtisku do etalonového materiálu [mm],

d_{zk} – průměr vtisku do zkoumaného materiálu [mm].

Výhodou je nenáročnost na velikost zkoumaného i etalonového materiálu možnost využití klasických tvrdoměrů.

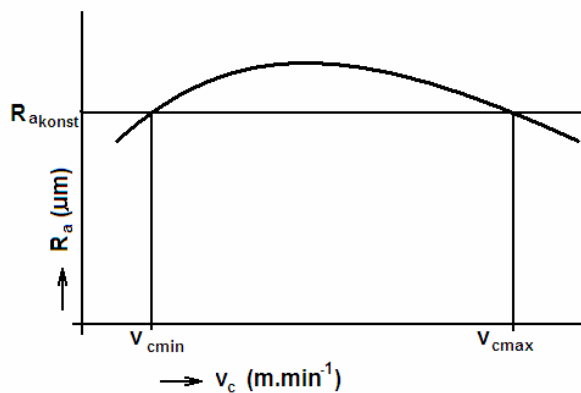
Mikrometrická metoda spočívá v porovnání rozdílu řezných rychlostí zkoumaného a referenčního (etalonového) materiálu při odpovídajících stejných hodnotách drsnosti, viz obr. 2.6. Toto měření je pouze doplňkové a nelze jej použít jako samostatné kritérium. U některých materiálů je odlišná závislost mezi řeznou rychlostí a Ra jako na obr. 2.6. V tom

případe je určení obrobiteľnosti touto metódou obtížné. Index obrobiteľnosti se potom vypočítá ze vztahu: [2, 1]

$$K_v = \frac{(v_{c \max} - v_{c \min})_e}{(v_{c \max} - v_{c \min})_{zk}} \quad (2.5)$$

$(v_{c \max} - v_{c \min})_e$ – rozdíl řezných rychlostí etalonového materiálu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

$(v_{c \max} - v_{c \min})_{zk}$ – rozdíl řezných rychlostí zkoušeného materiálu [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]



Obr. 2.6 Mikrometrická metoda [3]

Porovnání tvaru třísky je založeno na porovnání tvaru a druhu třísky. Měří se např. poloměr svinované třísky nebo koeficient pěchování třísky u zkoumaného a etalonového materiálu za stejných řezných podmínek [3]. Stejně jako u předchozí metody je tento parametr stanovování obrobiteľnosti pouze doplňkový a nelze jej použít samostatně. Používá se převážně u automatových ocelí, resp. při obrábění daného materiálu na automatech nebo poloautomatech [1]. Index obrobiteľnosti se potom určí ze vztahu:

$$K_v = \frac{r_{te}}{r_{tzk}} = \frac{K_{zk}}{K_e} \quad (2.6)$$

r_{te} – poloměr svinované třísky etalonového materiálu [mm]

r_{tzk} – poloměr svinované třísky zkoumaného materiálu [mm]

K_{zk} – koeficient pěchování třísky testovaného materiálu

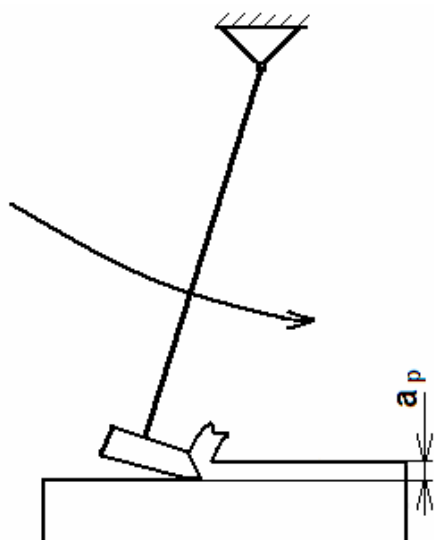
K_e – koeficient pěchování třísky referenčního materiálu

Leyensetterova metoda je obdobou Charpyho kladiva. Na kyvadle je připevněn nůž, který do vzorku vyryje žlábek, viz. *obr. 7.7* [3]. Veličina, která charakterizuje hodnotu indexu obrobitelnosti, je velikost (délka) žlábků, případně hloubka vniknutí nože do obou materiálů (zkoumaného a etalonového) při jeho spuštění z určité výšky. Index obrobitelnosti je potom:

$$K_v = \frac{a_{pzk}}{a_{pe}} \quad (2.7)$$

a_{pzk} – hloubka vniknutí nože do zkoumaného materiálu [mm]

a_{pe} – hloubka vniknutí nože do referenčního materiálu [mm]



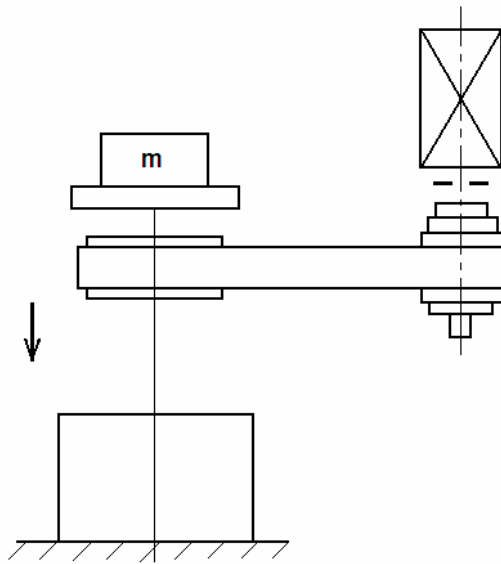
Obr. 2.7 Schéma funkce Leyensetterova kladiva [3]

Metoda vrtání při konstantním tlaku spočívá v měření hloubky vrtaného otvoru až do úplného otupení vrtáku [3]. Měří se hloubka jak v referenčním, tak i ve zkoumaném materiálu (*obr. 7.8*). Index obrobitelnosti se potom stanoví:

$$K_v = \frac{h_{zk}}{h_e} \quad (2.8)$$

h_{zk} – vyvrtaná hloubka otvoru do zkoušeného materiálu [mm]

h_e – vyvrtaná hloubka otvoru do referenčního materiálu [mm]



Obr. 2.8 Schéma vrtání při konstantním tlaku [3]

Jistou obdobou této metody je vrtání konstantní posunovou silou, při zvolené řezné rychlosti a průměru nástroje (vrtáku) [2]. Vrtá se vždy do konstantní hloubky (konstantní dráha řezu) a současně se měří čas vrtání. Kritériem pro stanovení hodnoty obrobiteľnosti je buď čas vrtání, nebo častěji velikost posuvu. Aby se vyloučil vliv příčného ostří, vrtá se obvykle do předvrtaných otvorů. Čím vyšší dosažený posuv při konstantních pracovních podmínkách, tím lepší je pak obrobiteľnost daného materiálu. Výhodou je velká rychlost zkoušky.

Princip metody pomocí teploty spočívá v měření teploty řezání obrábění (střední teploty řezání) etalonového a zkoumaného materiálu při identických pracovních podmínkách [3, 2, 1]. Tato metoda se vyznačuje poměrně vysokým stupněm objektivity [1]. Nevýhodou je, že ji lze použít při určování stupně obrobiteľnosti vždy jedné skupiny materiálu (např. uhlíkové oceli, slitiny hliníku, apod.).

Zkouška se provádí za konstantních řezných parametrů a to buď metodou přirozeného termočlánku (viz. kapitola 5), nebo pomocí termodu a to kvůli vyloučení vlivu chemického složení zkoumaného materiálu [2,1]. Je vhodné zkoušku provést při konstantním průřezu třísky ($a_p, f = \text{konst.}$) a při minimálně třech hodnotách řezné rychlosti. Čím nižší je teplota řezání, tím lepší je i stupeň obrobiteľnosti daného materiálu. Předností je relativně malá spotřeba obráběného materiálu. Index obrobiteľnosti se stanoví ze vztahu:

$$K_v = \frac{\Theta_e}{\Theta_{zk}} \quad (2.9)$$

Θ_e – střední teplota řezání etalonového materiálu [°C]

Θ_{zk} – střední teplota řezání zkoumaného materiálu [°C]

Podstata metody měření hloubky zpevněné vrstvy je v měření mikrotvrdosti zpevněné vrstvy těsně pod obrobeným povrchem etalonového a referenčního materiálu. Index obrobiteľnosti je dán vztahem:

$$K_v = \frac{HM_e}{HM_{zk}} \quad (2.10)$$

HM_e – hloubka zpevněné vrstvy etalonového materiálu [μm],

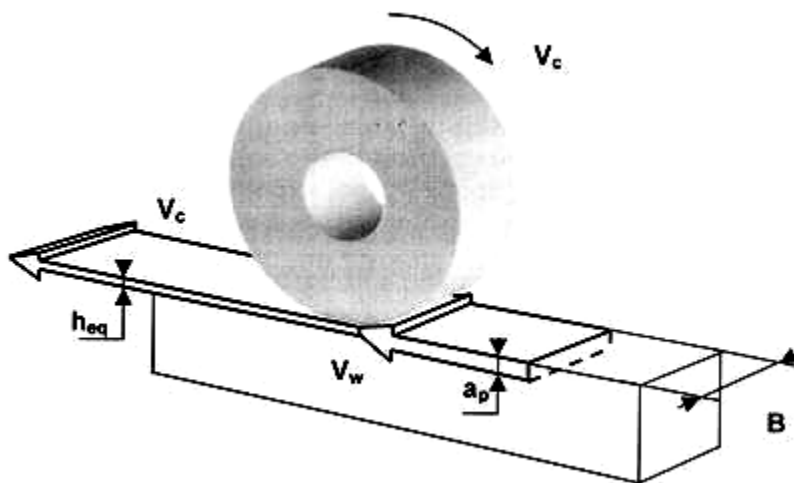
HM_{zk} – hloubka zpevněné vrstvy testovaného materiálu [μm].

3 Obrobitelnost při broušení

Při obrábění nástroji definovanou geometrii řezného klínu je možné poměrně jednoduše určit zařazení materiálů do jednotlivých tříd obrobitelnosti, a nebo stanovit optimální řezné podmínky. Při broušení je situace složitější vzhledem k celé řadě proměnlivých parametrů. Jestliže se obecně označí zkoumaná veličina písmenem A (řezná síla, měrný obrus, drsnost), potom je funkcí proměnných, jako jsou obrobený materiál, druh brusiva, pojivo, drsnost kotouče, tvrdost kotouče, šířka obroušení, posuv, řezná rychlost a jiné. Stanovit experimentální závislost parametru A na jednotlivé proměnné je velmi složité a vzhledem k rozsáhlosti práce velmi realizovatelné.

I přes to byl navrhnutý parametr – tzv. *ekvivalentní hloubka broušení* h_{eq} , který vhodně charakterizuje proces broušení a umožňuje stanovit závislost podmínek broušení na kvalitu a ekonomiku broušení. [4,5]

Při stanovení ekvivalentní hloubky broušení se vychází z kontinuity objemu materiálu, který vstupuje do řezné zóny rychlostí v_w a z něho vystupuje v_c . Na základě kinematických podmínek je možno určit ekvivalentní hloubku vrstvy pro rovinné broušení na základě schéma na obr. 3.1



Obr. 3.1. Schéma pro výpočet h_{eq} při rovinném broušení [5]

$$h_{eq} \cdot v_c \cdot b = a_p \cdot v_f \cdot b \quad (3.1)$$

$$h_{eq} = \frac{a_p \cdot v_f}{v_c} \quad (3.2)$$

Diagramy broušení jsou vypracované pro jeden způsob broušení jednoho druhu materiálu, jedním typem brusného kotouče. Na vodorovné ose se uvedené hodnoty ekvivalentní hloubky broušení, na svislé ose složky řezné síly, drsnost povrchu a měrný obrus, všechno v logaritmických souřadnicích.

V horní části jsou uvedené základní informace o operaci broušení, obrobeném materiálu, použitém brusném kotouči, řezné podmínky broušení, porovnání brusného kotouče a jiné.

Experimentální studie různých materiálů broušením různými kotouči potvrdilo funkční závislost mezi ekvivalentní hloubkou broušení a sledovanými výstupními parametry broušení. Tyto závislosti mají exponenciální charakter, který je možné obecně napsat ve tvaru:

$$X = X_1 \cdot h_{eq}^x \quad (3.3)$$

Po zlogaritmování tato závislost přejde na lineární:

$$\log x = \log x_1 + x \log h_{eq} \quad (3.4)$$

Za hodnotu X se dosazené parametry G , Ra , Ra^d , F_c , F_p . X_1 je úsek na ose y pro $h_{eq} = 1$ a x je tangenta sklonu přímky. (3.5)

V brusném diagramu se sledované parametry vztažené na 1 mm činné šířky brusného kotouče a vyjadřuje se ve tvaru:

Tangenciální složka řezné síly

$$F_c' = F_{cl} \cdot h_{eq}^f \quad [\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (3.6)$$

radiální složka řezné síly

$$F_p' = F_{p1} \cdot h_{eq}^f \quad [\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (3.7)$$

drsnost povrchu

$$Ra = Ra_1 \cdot h_{eq}^r \quad [\mu\text{m}] \quad (3.8)$$

měrný obrus

$$G = G_1 \cdot h_{eq}^s \quad [\text{mm}^{-3} \cdot \text{mm}^{-3}] \quad (3.9)$$

Při konstrukci brusných diagramů je nevyhnutelné vykonat měření hodnot řezné síly, drsnosti po vrchu a stanovení měrných obrusů pro různé hodnoty ekvivalentní hloubky broušení.

Příklad diagramu je na obr. 3.2.

$$F_c' = 30 \cdot h_{eq}^{0,75} \quad [\text{N}] \quad (3.10)$$

$$F_p' = 63 \cdot h_{eq}^{0,76} \quad [\text{N}] \quad (3.11)$$

$$G = 16 \cdot h_{eq}^{-0,59} \quad [\text{mm}^3 \cdot \text{mm}^{-3}] \quad (3.12)$$

$$Ra = 2,23 \cdot h_{eq}^{0,24} \quad [\mu\text{m}] \quad (3.13)$$

V diagramu broušení oblast $h_{eq} = 0,01$ až $0,1 \mu\text{m}$ reprezentuje dokončovací oblast broušení a oblast $h_{eq} = 0,1$ až $1 \mu\text{m}$ reprezentuje hrubé broušení. Hodnota $h_{eq} = 0,1 \mu\text{m}$ je rozhraním mezi nimi a je zároveň určující hladinou řezných podmínek, při kterých je možné identifikovat obrobiteľnosť materiálů při broušení.

Při broušení máme 10 tříd obrobiteľnosti. Ethalonovým (respektive referenčním) materiálem pro oceli je ložisková ocel 14 109.4. Tato třída patří do páté třídy obrobiteľnosti. Třídy obrobiteľnosti tvoří geometrický rád s kvocientem 1,16 pro ocele a litiny a 1,1 pro měď a jiné slitiny. Zařadit materiál do třídy obrobiteľnosti je možné na základě více parametrů (složky řezné síly, drsnosti povrchu, měrného obrusu apod.) na základě poměru hodnoty etylénového (referenčního) materiálu a zkušebního materiálu při $h_{eq} = 0,1 \mu\text{m}$. Jako vhodný parametr může být použita měrná energie e , která reprezentuje energii potřebnou na obroušení objemové jednotky materiálu. Možno ji vyjádřit jako:

$$e = \frac{F_c' \cdot v_c}{a_p \cdot v_f} = \frac{F_c'}{10^3 \cdot h_{eq}} \quad [\text{J} \cdot \text{mm}^{-3}] \quad (3.14)$$

Pro $h_{eq} = 0,1 \mu\text{m}$ je možné vypočítat $e_{0,1}$ jako:

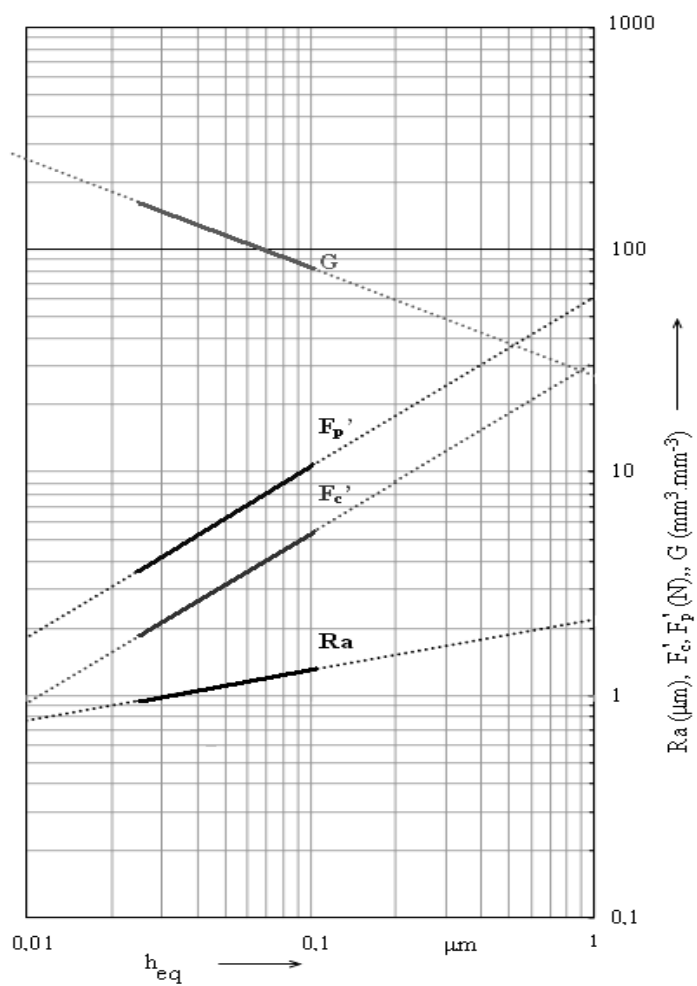
$$e_{0,1} = 10 \cdot F_c' \quad [\text{J} \cdot \text{mm}^{-3}] \quad (3.15)$$

Tato energie je nejen vyjádřením práce potřebné na úběr jednotkového množství kovu, ale i přímý vztah na kvalitu předovšetkým parametrem tepelně indukovaným vzhledem na skutečnost, že práce v řezném procesu se přemění na teplo. Se zvyšováním $e_{0,1}$ se posouvají napětí směrem k tahovým. Všeobecně se zvyšuje riziko tepelného poškození povrchu. [5]

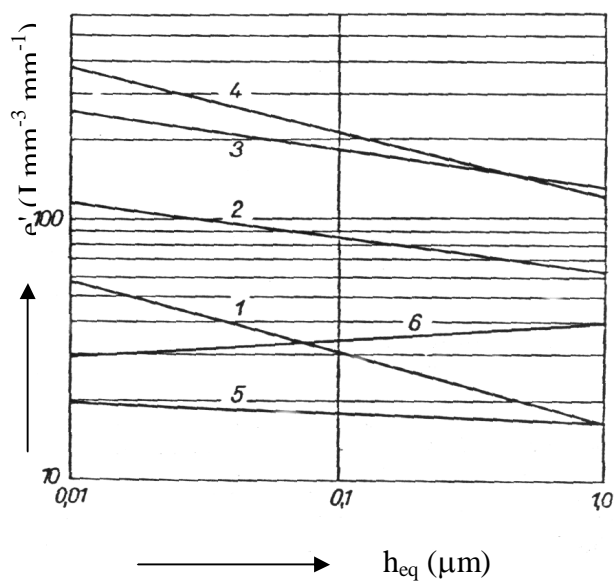
Příkladem identifikace obrobitelnosti je studium Ošťádala [6], který identifikoval obrobitelnost niklové slitiny EI 698 VD na základě více parametrů. Studie ukázala, že obrobitelnost materiálu je funkcí nejen obráběného materiálu, ale i brusného kotouče i jiných aspektů.

Materiálové vzorky	Ložisková ocel 100Cr6 tvrdosti 58 HRC			
Brusný kotouč	A9954J9V 250 x 76 x 20			
Brusné prostředí	Emulzní H 2%			
v_c [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]	34,2			
h_{eq} [μm]	0,0263	0,0526	0,0789	0,1052
a_p [mm]	0,01	0,02	0,03	0,04
v_f [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	8			

3.1 Rovinné broušení obvodem kotouče



Obr. 3.2 Brusný diagram pro ložiskovou ocel 100Cr6 tvrdosti 58 HRC [7]



Obr. 3.3 Závislost e' od h_{eq} pro řezné brusné kotouče obráběné materiály [6]

Tab. 3.1 Zařazení niklové slitiny EI 698 VD do třídy obrobiteľnosti na základe $e'_{0,1}$, respektíve indexu $i_{e0,1}$ [6]

Brsný kotouč	$e'_{0,1}$ (J.mm ⁻³ .mm ⁻¹)		$i_{e0,1}$	Třída obrobiteľnosti	
	EI 698 VD	14 109.4		EI 698 VD	14 109.4
A9940J10V	30,5	18	1,69	1b	5
A9916J10V	84,1	33,7	2,49	horšia než 1b	5

Tab. 3.2 Zařazení niklové slitiny EI 698 VD do třídy obrobiteľnosti na základe $Ra_{0,1}$, respektíve indexu $i_{Ra0,1}$ [6]

Brsný kotouč	$Ra_{0,1}$ [μm]		$i_{Ra0,1}$	Třída obrobiteľnosti	
	EI 698 VD	14 109.4		EI 698 VD	14 109.4
A9940J10V	3,1	2,56	1,21	4b	5
A9916J10V	1,35	1,26	1,04	5b	5

Na základě hodnot z obr. 3.3. jako i další měření zaměřených na drsnost povrchu, autor zařadil niklovou slitinu EI 698 VD do různých tříd obrobiteľnosti v závislosti od použitého kritéria jako i brusného kotouče. Pokud při použití kritéria měrné energie zařadil slitinu do 1b, nebo horší než do 1b třídy, při použití kritéria drsnosti povrchu je materiál zařazený do 4b nebo dokonce do rovné třídy jako etalénový 5b.

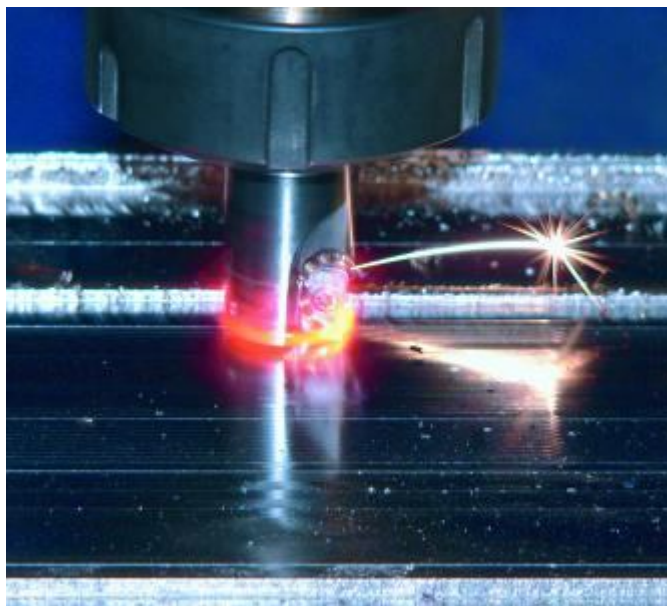
Velikost indexu $i_{Ra0,1}$ je možné určit následovně:

$$i_{e0,1} = \frac{e_{0,1} - \text{etalónu}}{e_{0,1} - \text{materiálu}} = \frac{10.F_c, et.}{10.F_c, mat.} \quad (3.16)$$

$$i_{Ra0,1} = \frac{Ra_{0,1} - \text{etalónu}}{Ra_{0,1} - \text{materiálu}} \quad (3.17)$$

4 Suché frézování materiálu Ti6Al4V vysokými rychlostmi

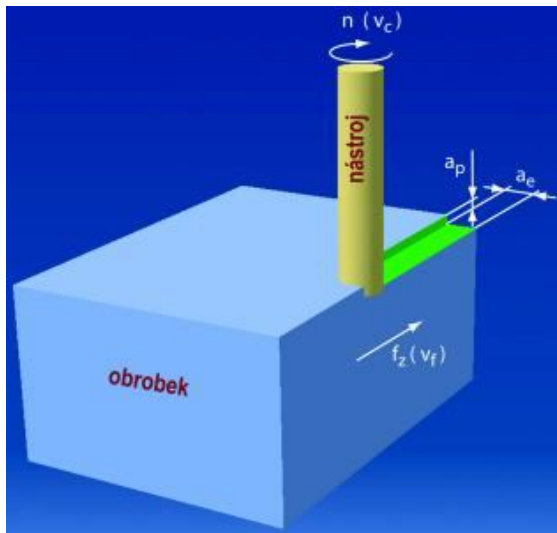
Při frézování těžkoobrobitelných materiálů je často doporučována aplikace umělého řezného prostředí, a to především ve formě emulzí o standardní koncentraci (5 až 10 %). Dodávání procesní kapaliny do místa řezu běžnými tlaky a objemy však nemusí být v těchto případech vždy dostatečně účinné. Výrazně lepších výsledků bývá dosaženo při tzv. vysokotlakém a velkoobjemovém chlazení, kdy je do místa řezu dodáno zvýšené množství kapaliny o velkém tlaku (např. okolo 7 MPa) [1]. Na druhé straně ovšem působí na výrobce potřeba snižování nákladů, stejně jako stále se zpřísňující bezpečnost práce a ekologická legislativa, a to nejen z pohledu existujícího nebezpečí z hlediska zdraví obsluhy obráběcího stroje. Pod vlivem těchto skutečností hledá mnoho výrobců řezných nástrojů, ale také jejich koncových uživatelů, řešení prostřednictvím suchého, popřípadě málo mazaného obrábění těchto materiálů. Mazání místa řezu aerosolem vzduchu a minimálního množství oleje je poměrně moderní metodou s relativně širokým rozsahem aplikací. Podobně je na tom i technologie suchého obrábění, kterou rozumíme obrábění v přirozeném prostředí, jež je tvořeno pouze upraveným či neupraveným vzduchem. Suché obrábění je výhodné aplikovat především v souvislosti s obráběním vysokými řeznými rychlostmi (HSC - High-Speed Cutting).



Obr. 4. Obrábění titanové slitiny Ti6Al4V v režimu HSC [8]

Podstatou HSC obrábění je zvyšování řezných a posuvových rychlostí s hlavním cílem zvýšit podíl tepla odvedeného třískou, a naopak snížit podíl tepla odvedeného nástrojem a obrobkem. Oblast obrábění vysokými řeznými rychlostmi leží pro materiály Ti a jeho slitiny

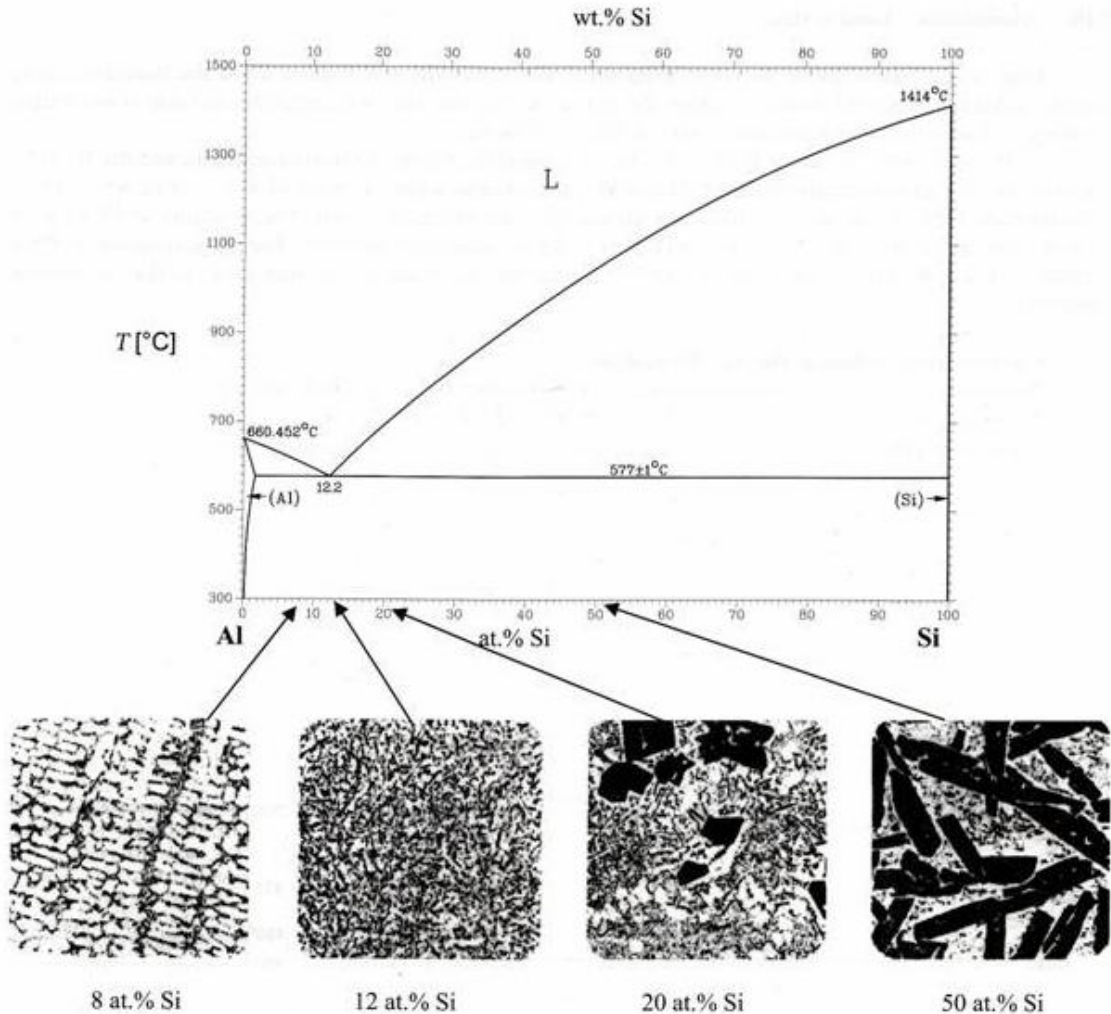
mezi cca 120 až 1000 [m.min⁻¹] a Ni a jeho slitiny v rozmezí 40 až 300 [m.min⁻¹][2]. Jelikož je však obecně známým jevem, že s nárůstem řezné rychlosti dochází také k nárůstu intenzity opotřebení nástroje, je nezbytné pro danou obráběcí operaci experimentálně nalézt optima křivek produktivity obrábění ve vztahu k celému rozsahu doporučených řezných podmínek pro daný nástroj. K jednomu z nejpoužívanějších těžkoobrobitelných materiálů ve strojírenské výrobě patří slitina Ti6Al4V.



Obr.4. 2 Operace čelního sousledného frézování [8]

Tento materiál se vyznačuje dobrými mechanickými, fyzikálními, ale i chemickými vlastnostmi. Konkrétně se jedná o nízkou měrnou hmotnost, vysokou pevnost v tahu, vysokou smluvní mez kluzu a vynikající korozní odolnost, zejména vůči chloru a chloridům. Především pak nízká tepelná vodivost, nízký modul pružnosti a hexagonálně těsně uspořádaná mřížka mají vliv na zhoršenou obrobitelnost této slitiny. Při teplotách nad 600 °C navíc dochází k tvorbě tvrdé vrstvy kysličníků a pod ní ležící zpevněné vrstvy. Všechny tyto faktory vyvolávají nehomogenní deformaci v oblasti primární plastické deformace a zmiňované intenzivní opotřebovávání břitu nástroje. Při frézování slitiny Ti6Al4V slinutými karbidy, které se zde aplikují především při dokončovacích a polohrubovacích operacích, se obvykle doporučuje použití relativně nízkých řezných rychlostí (30 až 80 [m.min⁻¹]) a umělého řezného prostředí, nejčastěji ve formě emulzí standardních koncentrací (5 až 10 %). [8]

5 Nové trendy používání hliníku a jeho slitin v automobilovém průmyslu



Obr. 5.1 Slitiny Al-Si [10]

[10]

5.1 Bloky hliníku s přiloženou litinovou vložkou

Donedávna, s výjimkou sportovních vozů, motor aut používal litinové monolitické bloky. Skutečnost byla, že většina aut nevyžadovala vysoký výstupní výkon a litina byla levná. Hliník je slabší, než litina. Nicméně, jestliže je hliníkový blok dobře navržený, může přenést stejný výkon jako litinový odlitek. V nedávném srovnání hliníkového bloku s litinovým byl úbytek hmotnosti až o 40% na váze ve prospěch hliníku. Hliníkové bloky používalo 60% evropských automobilových motorů v roce 2003.

[9]

5.2 Písty

Písty spalovacích motorů, které jsou vyrobeny z Al slitiny obsahují Si (ca 12-18%). Složení Al slitiny a technologie výroby se liší podle aktuálních pístových aplikací (písty pro naftové stroje pro osobní automobily, písty pro benzínové motory v osobních automobilech, písty pro dva cyklické motory, písty pro kamiony a jiná vozidla). Na výrobu pístů se používají formy, které jsou obvykle vyrobené z oceli a nitračním aparátem. HSC proces je používán pro strojní zpracování pístů s NC stroji. Povrchové úpravy jsou poskytovány pomocí anodové oxidaci (tuha, úhledný lak nebo úhledný lak založený na dalších prvcích). Kvalita pístů se ověřuje pomocí rentgenu, která testuje vnitřní vady, kontrolu rozměrů pístu a tvary,).

5.2.1 Výrobní technologie:

Odlévání pístů je prováděno metodou gravitačního lití do kovových kokil a licích strojů. Slitina je modifikována a odplyněna.

Hlavní pracovní činnosti slévárny:

- tavení hliníkových slitin
- odlévání odlitků pístů do kokil
- tepelné zpracování odlitků pístů - jednostupňové nebo dvoustupňové tepelné zpracování

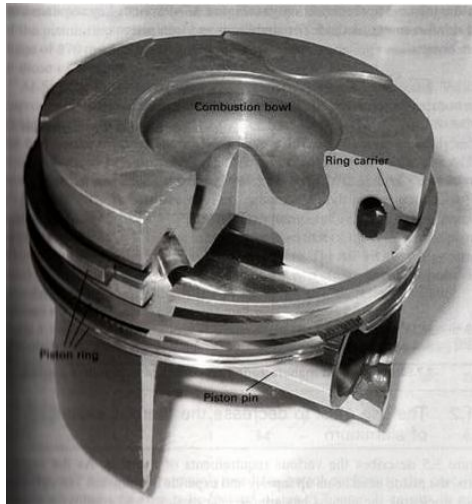
Výrobní možnosti: odlévání odlitků pístů se zalitým ocelovým nosičem pístního kroužku do průměru 300 mm, výroba pístů s chladicí dutinou uvnitř pístů, vytvořenou rozpustným jádrem

Opracování pístů je prováděno prostřednictvím přesných číslicově řízených strojů zajišťujících přesný tvar obráběné povrchové křivky (tzn. stálost požadovaného tvaru a ovality pístu) při použití vysokých řezných rychlostí

Povrchová úprava pístů:

- tvrdý elox
- fosfátování
- grafitový lak

- cínování



Obr. 5.2 Píst motoru [10]

5.3 Blok motoru

Blok motoru představuje mechanismus pro přenos energie mezi hlavou válce a klikovou hřídelí. Nesou postoje klikové hřídele a pouzdra válce. Blok také zahrnuje oddělení vody a olejového prostoru. Blok slouží jako skříň pro většinu doplňků. Al slitiny jsou více a více užívány pro osobní automobily, obzvláště kvůli jejich nižší váze.

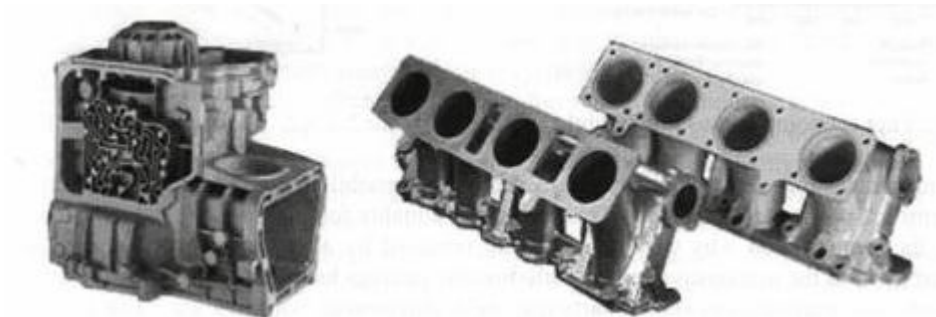


Obr. 5.3 Blok motoru [10]

5.4 Hlava válce

Hlavy válce přikrývají bloky, válce, ventily, zásuvky zapalování nebo vstříkovací trysky. Hlava válce poskytuje spalovacímu prostoru požadovaný tvar. U většina motorů

osobních automobilů se celý mechanismus ventilů vyskytuje v hlavě. Umožňuje lepší odvádění tepla a nižší váhu - to je to co vedlo k použití hliníku ne jen pro hlavy motorů, ale také pro celé zapálení jiskry. Používají se i u naftových motorů osobních automobilů.



Obr. 5.4 Blok a hlava motoru [9]

[10]

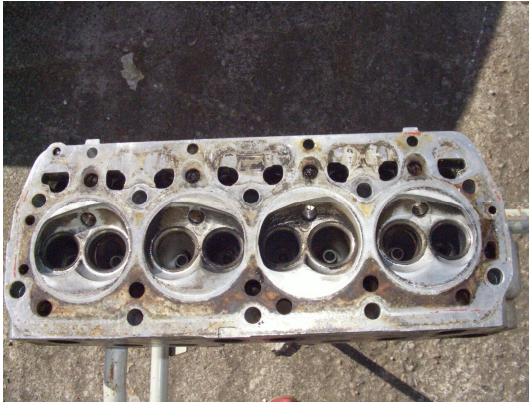
6 Navrhnutá metoda obrobiteľnosti pro slitiny hliníku, doprovázena řeznými kapalinami

6.1 Navrhnutá metoda

- Obrobení materiálu pomocí vrtného nástroje. Materiál (hliníkové slitiny) je položen na digitální váhu. Pomocí sloupové vrtačky s konstantním posuvem jsou do materiálu vyvrtány otvory. Celý vrtný proces je doprovázen řeznými kapalinami. Následně se provede řez a vyhodnocení.
- Z vzniklých kusů, získaných při vzniku řezu materiálu, se vybrousí vzorek obsahující vrtný otvor v řezu. Následně se obrousí nerovnosti na řezu vzorku, vzniklým řezným nástrojem, rovnoběžným na samotný vrt. Postupným opracováváním nerovností na řezu se dosáhne dokonale ostrá hrana, která by měla být rovnoběžná s vrtem. Opracované vzorky se následně vyhodnotí např. na vysokovakuoném mikroskopu. Porovnáním hran a ploch vzorků by se mělo docílit výsledků obrobiteľnosti.
- Vyrojení příčného a podélného řezu. Příčný i podélný řez se opracuje pomocí jemného brusného papíru, který je chlazený vodou. Po ukončení broušení se vzorky vyleští pomocí leštící pasty a alkoholu. Na příčném i podélném řezu se naměří mikrotvrdość pomocí Vickerse.

7 Realizace metody

Jedna z metod pro zjištění obrobitelnosti hliníkových slitin pomocí řezných kapalin je metoda vrtná. Jako zkušební materiál sloužila hlava ze Škody favorit a příruba, zhotoveny z hliníkových slitin.



Obr. 7.1 Hlava Škoda Favorit



Obr. 7.2 Příruba

7.1 Provedení metody u hlavy Škoda favorit

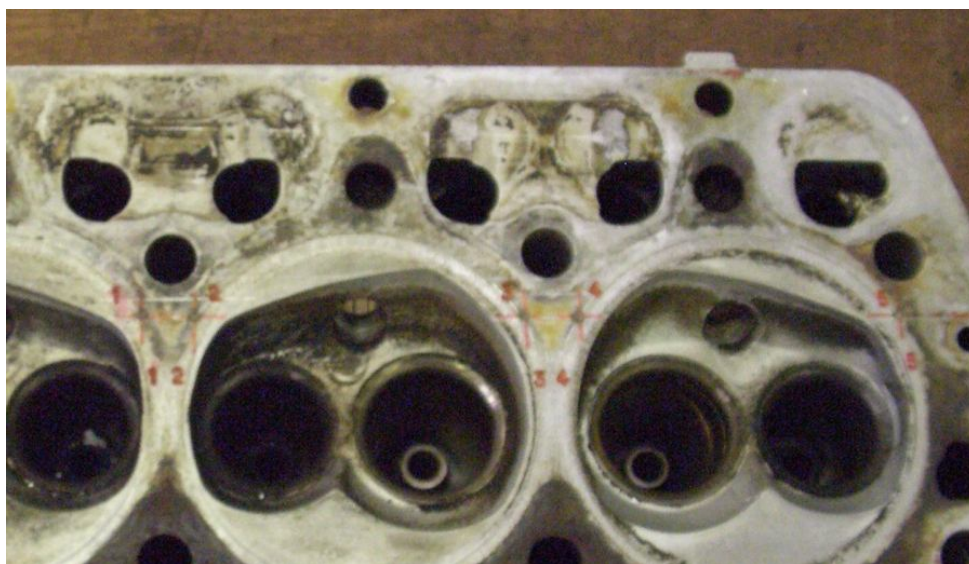
Zkušební materiál byl před vlastním měřením odstraněn nečistot (alkohol, voda) a usušen pod proudem vzduchu. Jako vrtné a chladicí kapaliny se použily 15% koncentráty emulzních olejů, vrtná pasta a petrolej.

- Řezná a chladicí kapalina 1. výrobce
- Řezná a chladicí kapalina 2. výrobce
- Petrolej
- Vrtná pasta 3. výrobce

Místa pro provedení vrtů se hledaly podle tloušťky materiálu. Cílem byla minimální tloušťka 15[mm]. Omezení bylo dáno hustou sítí chladicích kanálů, které jsou rozvedeny po celém zkušebním materiálu. Jediná vhodná místa se nacházela vedle otvorů pro ventily. Po vybrání vhodných míst pro vrty, se místa číselně označila. Číselné označení je provedeno podle označení chemikálií.

Tab. 7.1 Označení chemikálií

Chemikálie	Označení
Řezná a chladicí kapalina 2. výrobce	1
Řezná a chladicí kapalina 1. výrobce	2
Petrolej	3
Vrtná pasta 3. výrobce	4
Suchý vrt	5



Obr. 7.3 Označená místa pro vrty

Vrty se prováděly na stojanové vrtačce s vlastním posuvem. Posuv byl nastaven na 0,18 [mm] a otáčky na 560ot. [min.⁻¹]. K měření tlaku vrtáku působící na hlavu se použila digitální váha, měřící s přesností na 0,1kg.



Obr. 7.4 Sloupová vrtačka

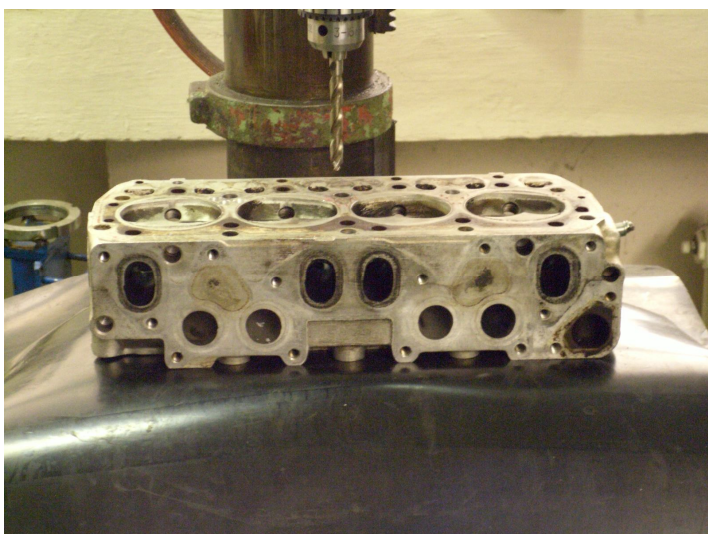
Při vlastním měření byly snímány tři veličiny

- Teplota vrtáku [C]
- Elektrický proud na vrtačce [A]
- Síla na vrák [N]

7.1.1 Postup měření

Zkušební materiál se umístil na digitální váhu. Mírný tlak způsobil aktivaci váhy a kalibrační proces. Pro měření elektrického proudu byl použit Ampérmetr, který se připevnil na kabely sloupové vrtačky. Snímání teploty se uskutečnilo pomocí pyrometru.

Před zahájením činnosti se sejmula teplota na vrtáku., změnil se elektrický proud před zatížením a při zahájení vlastního vrtání i elektrický proud při zatížení vrtáku. Celou dobu se vstříkuje emulze na vrták. Během doby se měří zatížení vrtáku. Při skončení vrtání se sejme opět teplota vrtáku.



Obr.7.5 Postup při měření

7.2 Výsledky měření

Chemikálie	Teplota vrtáku před [C] po [C]	El. proud před [A] při [A]	Zatížení vrtáku [N]	Otáčky [min ⁻¹]	Vrták průměr: [mm] mat. vrtáku
Řezná a chladicí kapalina 2. výrobce	17 21	2,82 2,85	586	560	9,8 kobalt
Řezná a chladicí kapalina 1. výrobce	17 24	2,82 2,87	616	560	9,8 kobalt
Petrolej	17 38	2,82 2,88	716	560	9,8 kobalt
Vrtná pasta 3. výrobce	20 42	2,82 2,88	756	560	9,8 kobalt
Suchý vrt	20 43	2,82 2,89	766	560	9,8 kobalt

Vzorky se dále hodnotily na vysokovakuovém mikroskopu a provedla se mikrotvrdomost.

7.2 Provedení metody u příruby

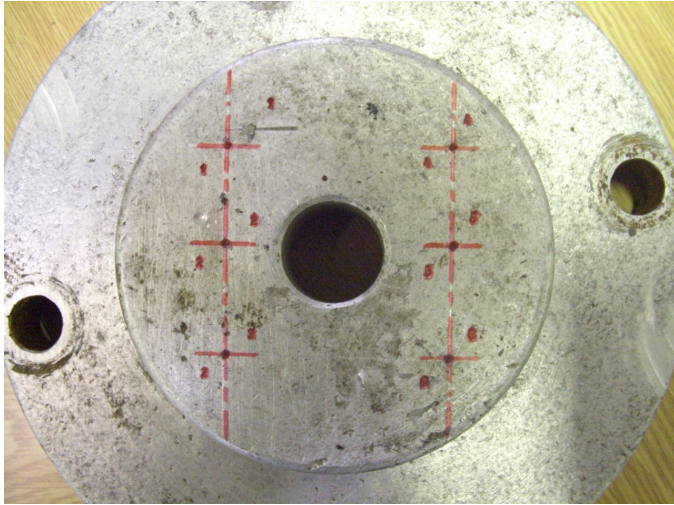
Postup metody, který se použil na obrobku příruby byl obdobný jako u hlavy ze Škody Favorit. Vrtné a chladící kapaliny které doprovázely vrtání byly:

- řezná a chladící kapalina 1. výrobce
- řezná a chladící kapalina 2. výrobce

Místa pro vrty se vybraly opět podle tloušťky materiálu, která u příruby činila 27 [mm] a podle druhu chemikálie se číselně označily.

Tab. 7.3 Označení chemikálií

Řezná a chladící kapalina 1. výrobce	Řezná a chladící kapalina 2. výrobce
1	4
2	5
3	6



Obr. 7.6 Označení míst pro vrty

Na obrázku jsou znázorněny místa pro vrty a řezy. Po provedení metody se provede řez. Následně se vizuálně vyhodnotí.

7.3 Výsledky měření

Chemikálie	Číslo vrtu	El. prod před [A] po [A]	Zatížení vrtáku [N]	Teplota vrtáku před [C] po [C]	Otáčky [min ⁻¹]	Vrták průměr: [mm] mat. vrtáku
Řezná a chlad. kapalina 1. výrobce	1	2,82 2,85	450	20 27	560	9,8 kobalt
Řezná a chlad. kapalina 1. výrobce	2	2,82 2,86	470	21 29	560	9,8 kobalt
Řezná a chlad. kapalina 1. výrobce	3	2,82 2,87	480	20 27	560	9,8 kobalt
Řezná a chlad. kapalina 2. výrobce	4	2,82 2,84	450	20 24	560	9,8 kobalt

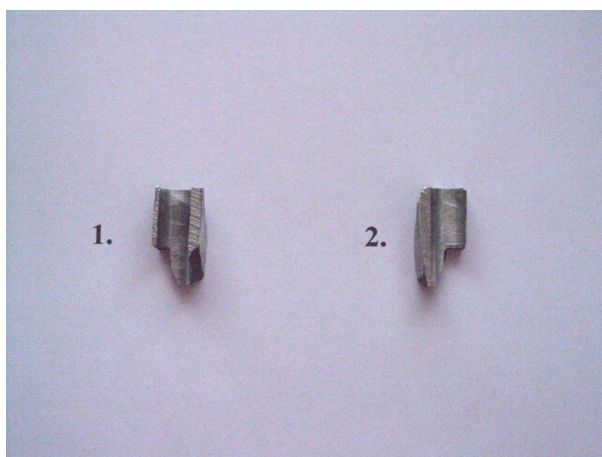
Řezná a chlad. kapalina 2. výrobce	5	2,82 2,83	440	21 26	560	9,8 kobalt
Řezná a chlad. kapalina 2. výrobce	6	2,85	450	22 28	560	9,8 kobalt

Vizuální zkouška probíhala pomocí lupy. Na vrtech, které byly obrobené kapalinou od druhého výrobce vykazovaly menší stopy po porušení povrchu vrtákem.

7.3 Vyhodnocení vybraných vzorků, obrobené pomocí vrtné metody

Vybrané vzorky byly obrobené pomocí vrtné metody řeznými kapalinami:

1. Řezná a chladicí kapalina 2.výrobce
2. Řezná a chladicí kapalina 1.výrobce



Obr. 7.7 Hodnocené vzorky

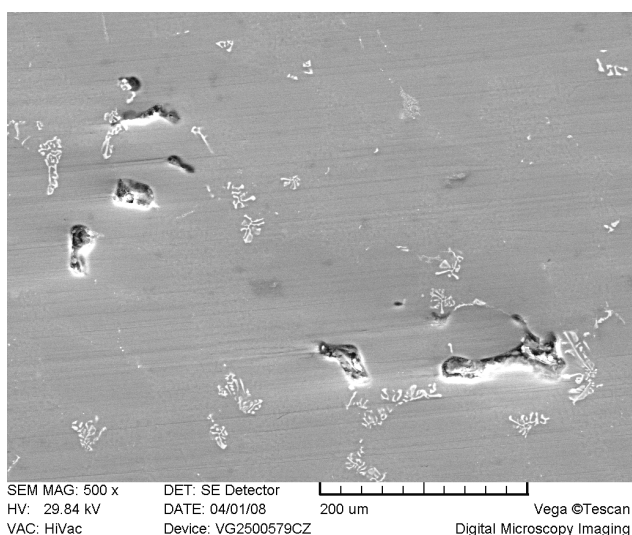
Vzorky byly pomocí úhlové brusky odebrány z hliníkové hlavy motoru. Následně se očistily pomocí alkoholu a nechaly se osušit pod proudem teplého vzduchu. U zkušebních vzorků se pomocí brusných papírů (od hrubého až po jemný) a ochlazováním vodou obušovala hrana, která vznikla řezem jednotlivých děr. Opracovaný materiál se vyleštil pomocí leštící pasty s hrubostí 0,7 [μm] a alkoholu.

Na základě navržené metody jsem zpracoval vzorky. Při broušení mohlo dojít k malé nepřesnosti spočívající v nerovnoběžnosti broušené hrany se samotným vrtem. Dále mohlo dojít k zbroušení vrtných stop vrtáku v důsledku měkkého materiálu a tlaku při broušení. Zpracované vzorky se vyhodnotily pomocí vysokovalupvého mikroskopu.

7.4 Hodnocení pomocí vysokovakuového mikroskopu

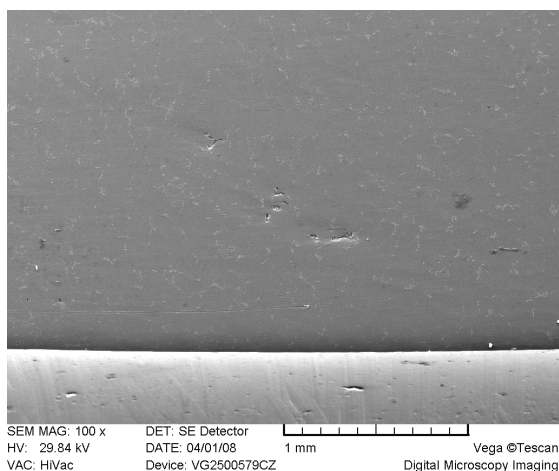
Vzorky byly hodnoceny na vysokovakuovém mikroskopu od společnosti Tescan typu Vega TS 5130SB. Mikroskop pracuje na principu wolframové žhavicí katody ve vakuu, rychlost čerpání komory je 3 min. Nažhavená katoda vysílá paprsky, které se odrážejí od těles uvnitř komory a následně jsou zpracovávány. Proud ve stopě je 1 pA až 2 μA. Urychlovací napětí je 1 pA až 2 μA a rychlost rastrování od 200 ns do 10 ms na pixe.

Na vzorkách jsou patrné vady, které vznikly v průběhu odlévání. Viditelné mapování je důsledkem eutektičnosti materiálu.

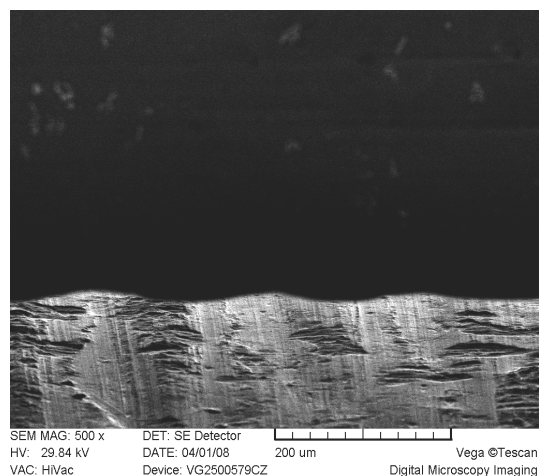


Obr. 7.8 Vady hliníkové slitiny.

7.4.1 Vzorek opracovaný kapalinou od 2. výrobce

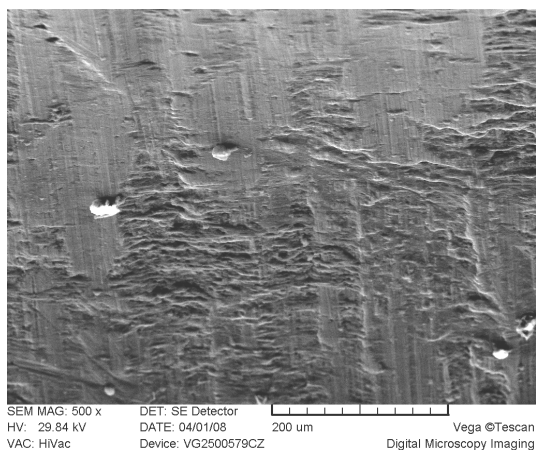


Obr. 7.9 Hrana

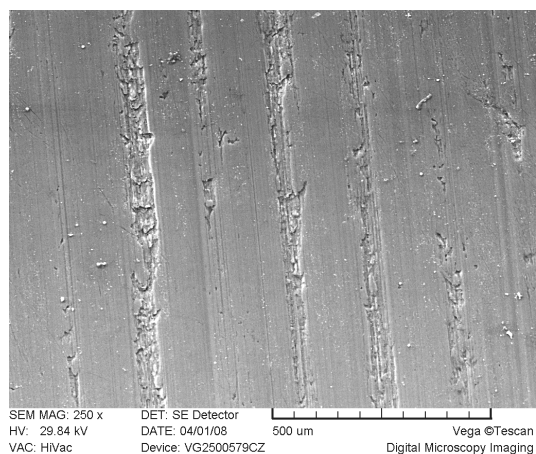


Obr. 7.10 Hrana

Na obrázku Hrana jsou viditelné vady, způsobené odléváním. Jsou zde patrné trhliny, jejichž možné příčiny vzniku mohou být právě vady povrchu, rychlost a kvalita vrtného nástroje, ale i kvalita vtrné a chladící kapaliny.



Obr. 7.11 Plocha

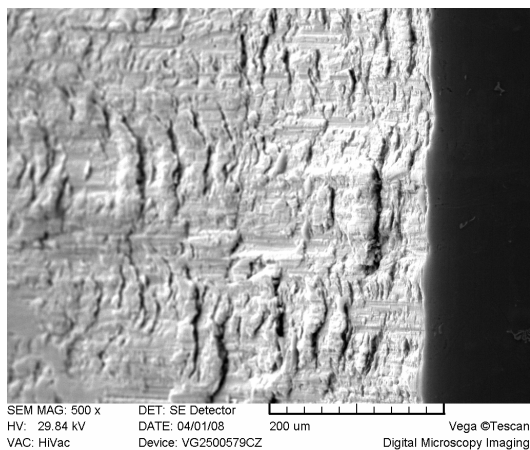


Obr. 7.12 Plocha

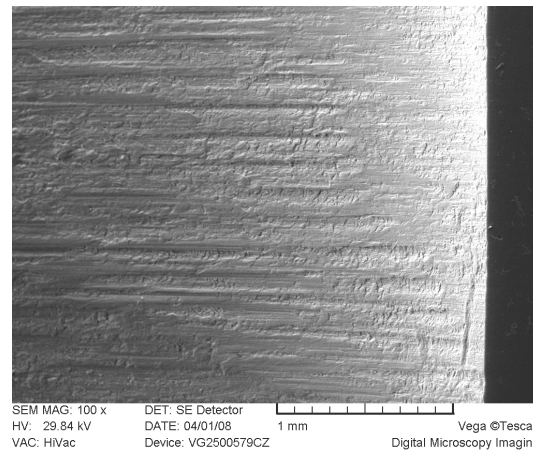
Na obrázku Plocha jsou viditelné stopy po vrtáku. Příčiny trhlín mohou mít stejné vlastnosti jako u obrázků Hrana.

7.4.2 Vzorek opracovaný kapalinou od 1. výrobce

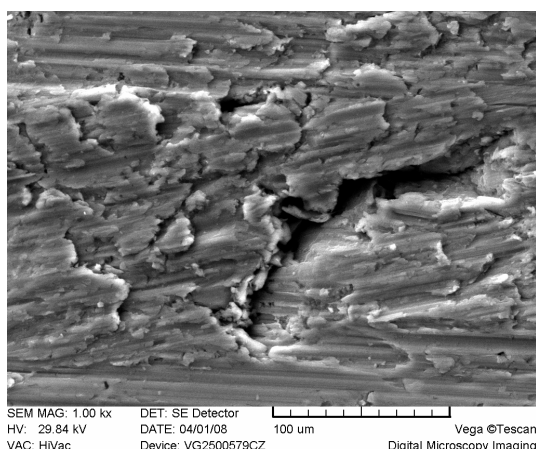
Vzorek opracovaný kapalinou od 1. výrobce byl vyhodnocen stejnou metodou jako vzorek vyhodnocený kapalinou od 2. výrobce.



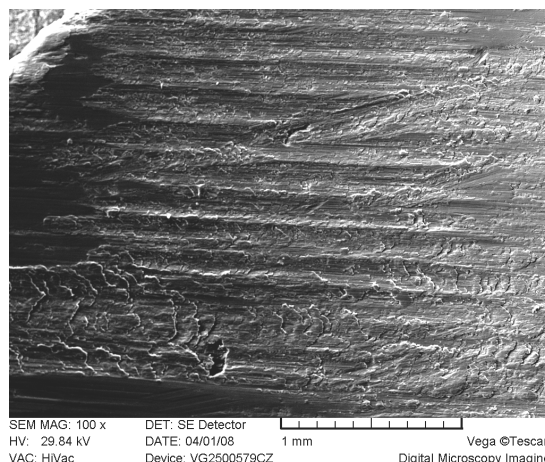
Obr. 7.13 Hrana



Obr. 7.14 Hrana



Obr. 7.15 Plocha



Obr. 7.16 Plocha

Na obrázku Hrana jsou viditelné vady, způsobené odléváním. Jsou zde patrné trhliny, jejichž možné příčiny vzniku mohou být právě vady povrchu, rychlost a kvalita vrtného nástroje, ale i kvalita vtrné a chladicí kapaliny.

7.5 Porovnání vzorků

Oba vzorky byly opracované a vyhodnocené stejnou metodou. Vybrané vzorky můžeme vyhodnotit ze dvou hledisek:

- Podle hrany
- Podle plochy

7.5.1 Vyhodnocení podle hrany

Při pohledu na hrany vzorků, které byly obrobeny různými kapalinami je patrné, že jsou rozdílné. Na materiálu obrobeným kapalinou od 2. výrobce je méně trhlin, než na vzorku, který byl obrobený kapalinou od 1. výrobce. Při porovnání obrobitelnosti podle hrany má kapalina od 2. výrobce příznivější výsledky obrobitelnosti.

7.5.2 Vyhodnocení podle plochy

Plochy obou vzorků jsou opět rozdílné. Na vzorku obrobeném kapalinou od 2. výrobce jsou ve srovnání se vzorkem obrobeným kapalinou od 1. výrobce menší povrché vady. Při porovnání obrobitelnosti podle plochy má kapalina od 2. výrobce opět příznivější výsledky obrobitelnosti.

7.6 Hodnocení vzorků na základě zkoušky mikrotvrdomosti.

7.6.1 Příprava vzorků

Zkouška se prováděla na příčném a podélném řezu materiálů. Před zahájením vlastní zkoušky se udělal na obou vzorkách příčný a podélný řez. Místo řezu se upravilo pomocí brusného papíru (od hrubého, po jemný) a vyleštilo se pomocí leštící pasty a alkoholu. Následně se vzorky nechaly usušit pod proudem teplého vzduchu.

7.6.2 Postup při provádění mikrotvrdomosti

Na každém vzorku se prováděla mikrotvrdomost na místech, které byly od sebe stejně vzdálené. V podélném směru se provedly vždy tři vpichy v každé rovině na sebe kolmé, vzdálené od sebe 4 [mm] a 0,3 [mm]. V příčném směru se prováděly tři vpichy v jedné rovině, vzdálené od sebe 0,3 [mm].

7.6.3 Výsledky mikrotvrdomosti

Metoda se prováděla podle Vickerse. Vtisk má jehlanovitý tvar, u nějchž se měří úhlopříčky podstavy, z níž se udělá průměr. Síla vtisku byla 5 [N].

$$\text{Tvrdomost se vypočítá podle vzorce: } H_v = \frac{F[N]}{A[\text{mm}^2]} = 1,854 \cdot \frac{F}{d^2} \quad [\text{MPa}] \quad (7.1)$$

1. d^2 - kvadrát průměru úhlopříček

7.6.4 Podélné řezy

Tab. 7.4 Tvrdomost vzorku v podélném řezu

Řezná a chladicí kapalina 1. výrobce			
[mm]	0	0,3	0,6
0	110,2 [MPa]	121,7 [MPa]	139,2 [MPa]
4	139,2 [MPa]	132,5 [MPa]	119,5 [MPa]
8	118,2 [MPa]	125,2 [MPa]	118,2 [MPa]

Tab. 7.5 Tvrdomost vrorku v podélném řezu

Řezná a chladicí kapalina od 2. výrobce			
[mm]	0	0,3	0,6
0	121,7 [MPa]	142 [MPa]	137,6 [MPa]
4	117,0 [MPa]	122,1 [MPa]	118,2 [MPa]
8	128,6 [MPa]	127,6 [MPa]	114,5 [MPa]

7.6.5 Příčné řezy

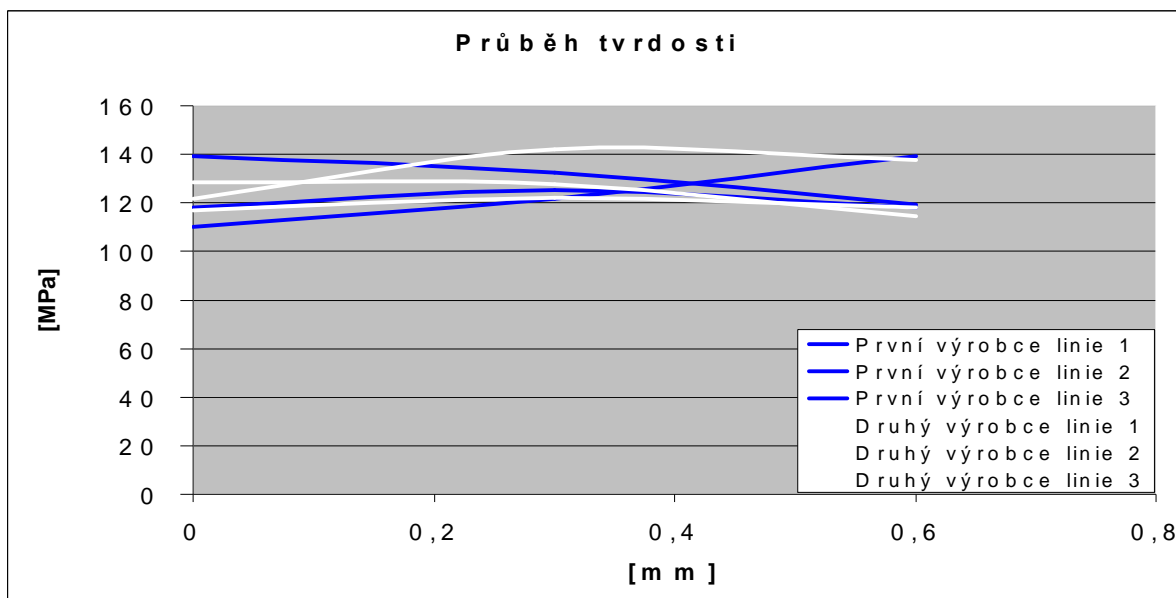
Tab. 7.6 Tvrdost v příčném řezu

Kapalina od 1. výrobce	
[mm]	0
0	125,7 [MPa]
4	108,3 [MPa]
8	110,2 [MPa]

Tab. 7.7 Tvrdost v příčném řezu

Kapalina od 2. výrobce	
[mm]	0
0	110,6 [MPa]
4	112,5 [MPa]
8	118,2 [MPa]

Graf. 7.1 Průběh tvrdosti



7.7 Vyhodnocení vzorků

Při porovnání obou vzorků na základě mikrotvrdosti nejsou patrné velké rozdíly mezi vzorkem obrobeným kapalinou od 1. a 2. výrobce. Z grafu je zřejmé, že tvrdost v rozmezí 0,3 [mm] až 0,5 [mm] se vyrovnává u obou vzorků.

8 Infračervená spektrometrie řezných kapalin

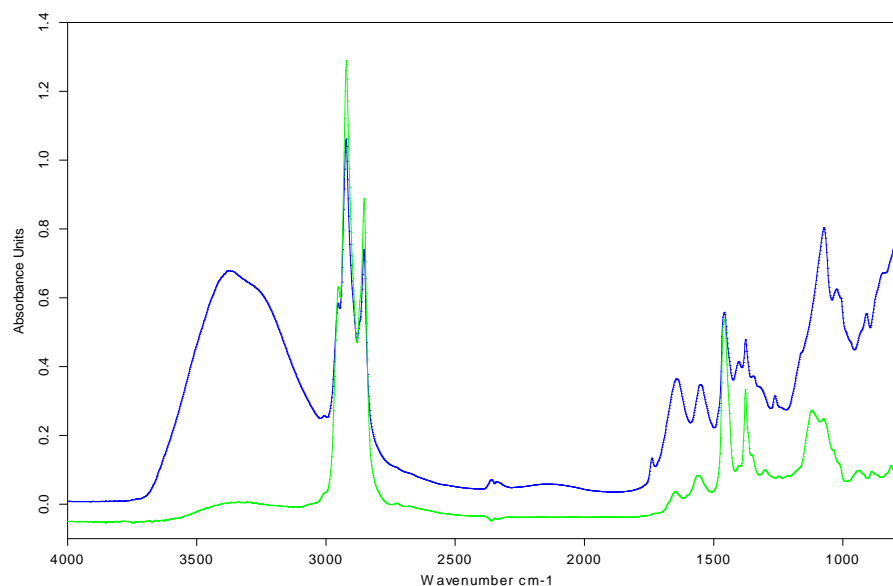
Infračervená spektrometrie je metoda vhodná především pro identifikaci a strukturní charakterizaci zejména organických sloučenin. Je založena na měření absorpce infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaným materiálem. Spektrometry s Fourierovou transformací umožňují rychlou a citlivou analýzu důležitých skupin organických sloučenin. Vlastní analýzy byly prováděny na FTIR spektrometru Vector 22 (Bruker) ve spektrálním rozsahu $600\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$, s rozlišením 4 cm^{-1} a s počtem scanů 32 technikou ATR, která využívá principu násobného úplného odrazu záření na fázovém rozhraní měřeného vzorku a měřicího krystalu z materiálu o vysokém indexu lomu (ZnSe).

Vzorky:

1. kapalina od 2. výrobce (2.K)
 - koncentrovaná (2.K konc.)
 - 11% vodný roztok (2.K 11%)
 - vyřazená

2. kapalina od 1. výrobce (1.K)
 - koncentrovaná (1.K konc.)
 - 15% vodný roztok (1.K 15%)
 - vyřazená

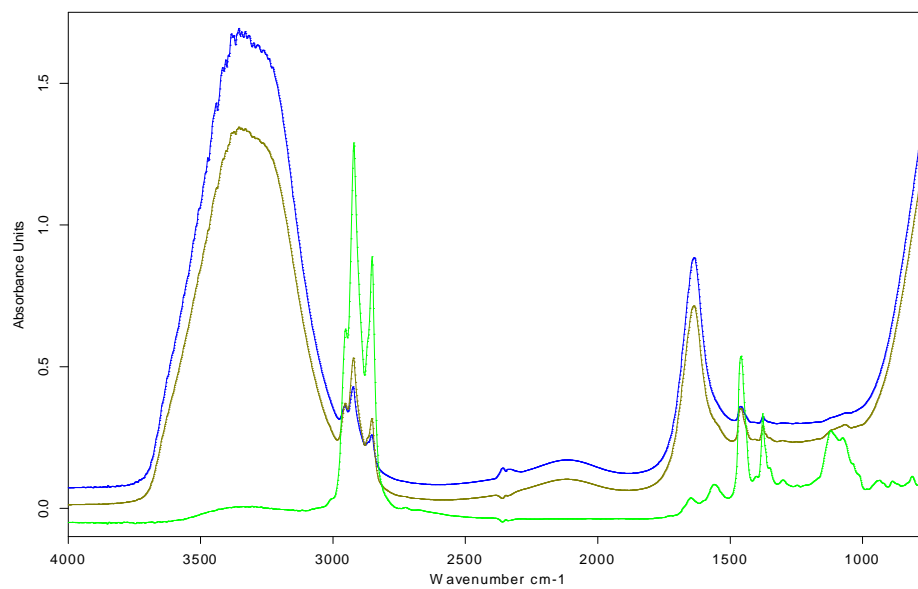
Graf. 8.1 2.K konc. (modrá), 1.K konc. (zelená)



Kapalina od 2. výrobce obsahuje vodu i jako koncentrát (na rozdíl od kapaliny 1. výrobce konc., která vodu obsahuje jen ve stopovém množství); obsah vody indikuje široký pík v oblasti kolem 3400 cm^{-1} . Vyšší obsah přísad (píky v oblasti $1800\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ se shodují vlnočtem, ale liší se výškou).

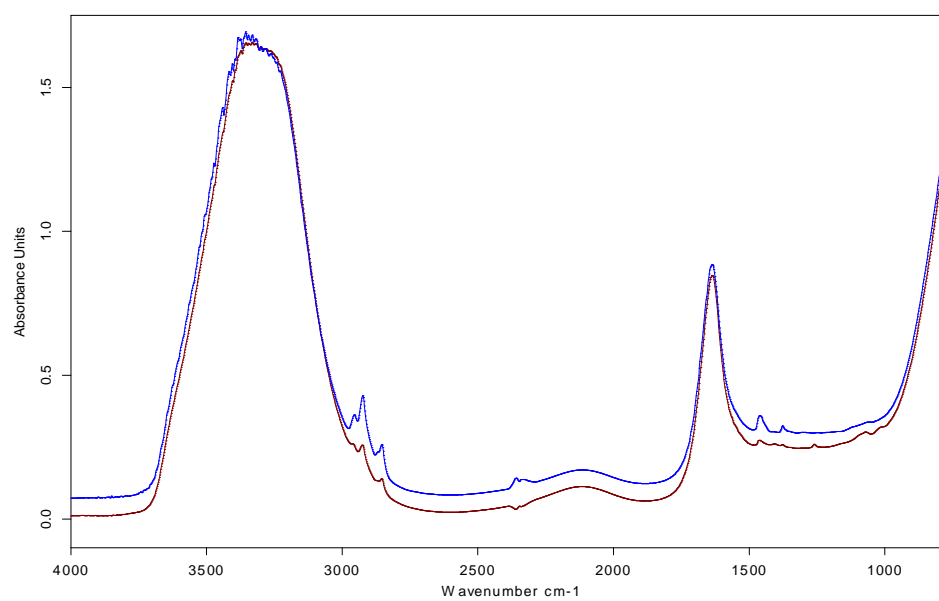
Pozn: dvojitý pík v oblasti 2300 cm^{-1} (v tomto i v dalších spektrech) odpovídá oxidu uhličitému CO_2 obsaženému ve vzduchu v komoře spektrometru.

Graf. 8.2 1.K konc. (zelená) 15 % (modrá), opotřebená (hnědá)



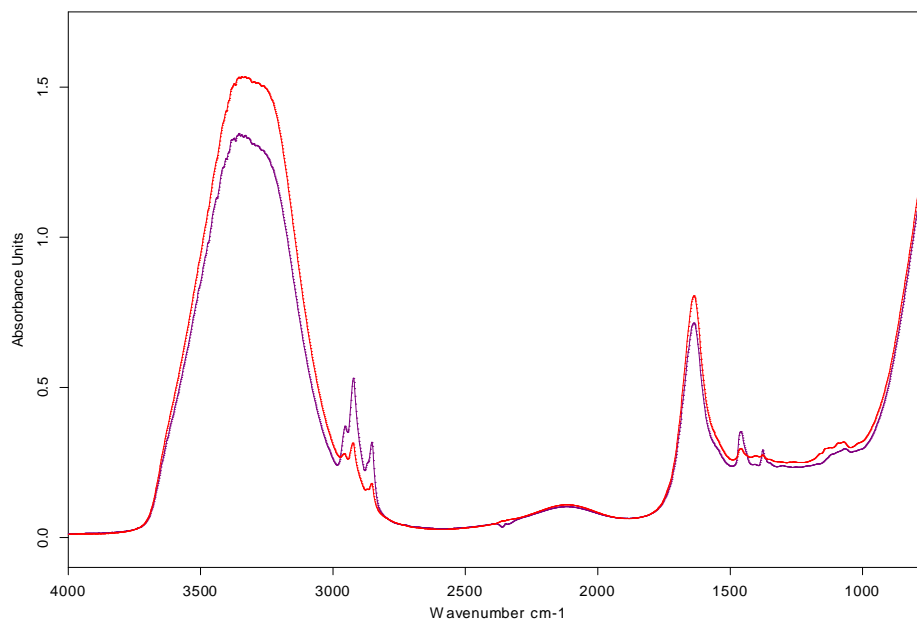
Opotřebení řezné kapaliny se neprojevuje změnou chemického složení, identifikovatelnou metodou FTIR spektrometrie.

Graf. 8.3 2.K 11 % (hnědá), 1.K 15 % modrá



Oba vzorky vykazují prakticky totožné kvalitativní chemické složení s nepatrným rozdílem v koncentracích (vyplývajícím z rozdílného dávkování koncentráту – 2.K 11 %, 1.K 15 %).

Graf. 8.4 2.K vyřazená (červená), 1.K vyřazená (fialová)



Oba vzorky vyřazených kapalin vykazují stejně jako v předchozím případě prakticky totožné kvalitativní chemické složení s nepatrným rozdílem v koncentracích (vyplývajícím z rozdílného dávkování koncentráту – 2.K 11 %, 1.K 15 %).

8.1 Vyhodnocení kapalin

Opatřebení řezné kapaliny se neprojevuje změnami chemického složení, projevujícími se v infračerveném spektru (změny v obsahu baktericidních přísad, přítomnost mikroorganismů ani změny pH, k nimž při praktické aplikaci dochází, nelze tímto způsobem detekovat).

Hlavní příčinou znehodnocení kapaliny jsou v tomto případě kovové třísky vznikající v průběhu obráběcího procesu.

Závěr

Hliník a jeho slitiny se v konstrukci silničních vozidel používají čím dál tím častěji a v hojně míře. Důvodem toho jsou jeho vlastnosti, důležitými faktory jsou jeho hmotnost a korozní odolnost. Z těchto důvodů se jeho použití zvětšuje. Slitiny hliníku se čím dál tím více používají k výrobě hlav a bloků motorů. Důvodem je právě snížení hmotnosti vozidla, zvýšení výkonu a zlepšení jízdních vlastností.

V souladu se zaměřením práce jsem se dále zabýval obrobiteľností hliníkových materiálů. Podle vzorů existujících metod obrobiteľnosti materiálů se prováděla metoda, která se aplikovala na hlavu motoru z hliníkových slitin. V souladu s předmětem práce byly provedeny základní materiálové rozborů, vizuální zkoušky, měření mikrotvrđosti HV, mikroskopické hodnocení a rozbor kapalin. Celou aplikaci metody doprovázely řezné chemikálie. Při vizuálním hodnocení byly zjištěny rozdíly na vzorkách při pohledu na opracovaný povrch. Možné příčiny mohou být ve vrtném nástroji i kvalitou řezných chemikálií. Podle vizuálního hodnocení měl vzorek opracovaný řeznou kapalinou od 2. výrobce menší stopy po vrtném nástroji. Pro další hodnocení se vybraly dva vzorky. Jeden byl opracován řeznou kapalinou od 1. výrobce a druhý kapalinou od 2. výrobce. Metodou měření mikrotvrđosti nebyly zjištěny žádné výrazné odchylky. Mikrotvrđost byla měřena na povrchu vybraných vzorků z hlavy motoru. Každý vzorek byl opracován rozdílnou řeznou kapalinou. Toto měření proběhlo na každém vzorku jednou v příčném a třikrát v podélném směru. Mikroskopické hodnocení se provádělo na vybroušené braně i na povrchu vzorku. Zde byly zjištěny rozdíly v opracování povrchu vrtným nástrojem. Z mikroskopického hodnocení vycházejí lepší výsledky ve prospěch vzorku opracovaném řeznou a chladicí kapalinou od 2. výrobce. Rozbor kapaliny se prováděl pomocí metody infračervené spektrometrie. Opatřebení řezné kapaliny se neprojevuje změnami chemického složení, projevujícími se v infračerveném spektru (změny v obsahu baktericidních přísad, přítomnost mikroorganismů ani změny pH, k nimž při praktické aplikaci dochází, nelze tímto způsobem detekovat). Hlavní příčinou znehodnocení kapaliny jsou v tomto případě kovové třísky vznikající v průběhu obráběcího procesu.

Z provedených rozborů lze posoudit vypovídající schopnost jednotlivých parametrů. Získané výsledky tedy slouží pro celkové posouzení metodiky hodnocení obrobiteľnosti daného výrobku.

Seznam použité literatury

- [1] Příkryl, Z., Musílková, R. *Teorie obrábění*. 3. opravené vydání. Praha: SNTL, 1982.
- [2] Mádl, J., Schubert, V. *Experimentální metody a optimalizace v teorii obrábění*. Praha: ČVUT, 1985.
- [3] Bilík, O. *Obrábění II: 1. díl*. 2. vydání. Ostrava: VŠB-TU, 1999. 138 stran. ISBN 80-7078-962-X.
- [4] Štekláč, D. *Technológia výroby valivých ložísk: návody na cvičenia*. Bratislava: ALFA, 1987.
- [5] Štekláč, D. *Návrh skúšky obrábatelnosti brúsením*. Ostrava: VŠB – TU, 7. – 9.9. 2005. ISBN 80-248-0895-1.
- [6] Ošřábal, B. *Broušení slitiny EI 698 VD*. [s.l]: [s.n], 1985. str. 305-308.
- [7] Jašík, M. *Diagramy brúsenia pri brúsení bainitickej ložiskovej ocele 100CR6*. [s.l]: DP SjíF, 2006.
- [8] Cejnarová, A. *Jak správně zvolit chlazení pro obráběcí stroj*, MM Průmyslové spektrum.[s.l]: [s.n.], 2005. roč. 9, č. 5, s. 60 - 61. ISSN 1212-2572.
- [9] Hiroshi, Yamagata. *The science and technology of materials in automotive engines*. Cambridge: CRC press, 2005. 318 stran. IBSN 13: 978-1-85573-742-6.
- [10] Michna, Š., Lukáč I., Očenášek V., Schneider H., Drápala J., Kořený R., Miškufová A., et al. *Aluminium materials and technologies from A to Z*. Přerov: Adin, s. r. o., 2007. 632 stran. ISBN 978-80-89244-18-8.