ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Monitorování opotřebení a destrukce obráběcích nástrojú

Praha 2015 Aleksandra Zhukova

Vysoká škola: ČVUT v Praze Fakulta: strojní

Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro Aleksandru Zhukovou

obor Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Název: Monitorování opotřebení a destrukce obráběcích nástrojů

Název anglicky: Monitoring of cutting tools wear and destruction

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky - význam monitorování obráběcích nástrojů.
2. Formy opotřebení obráběcích nástrojů.
3. Způsoby monitorování opotřebení a destrukce obráběcích nástrojů.
4. Zhodnocení.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jan Mádl, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 30. 4. 2015

Termín odevzdání bakalářské práce: 19. 6. 2015

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 24. 4. 2015

Diplomant

Vedoucí ústavu

Děkan

V Praze dne 27. 3. 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne Podpis autora

Poděkování

Zde bych ráda poděkovala vedoucímu práce prof. Ing. Janu Mádlovi, CSc. za odborné vedení, trpělivost a poskytnutí cenných rad a připomínek k mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat panu Ing. Tomáši Korandě a panu Ing. Milanu Starému z firmy Continental Automotive Czech Republic s.r.o. za množství rad a informaci.

Na závěr děkuji své rodině za podporu a pomoc během celého studia.

Anotace:

Bakalářská práce stručně shrnuje formy opotřebení obráběcích nástrojů a je zaměřena na rozbor metod monitorování opotřebení a destrukce obráběcích nástrojů, jejich aplikování do výroby a vyhodnocení. Obsahuje také ukázky moderního monitorovacího systému v podniku, jeho seřizování, následného zavedení do výroby a vyhodnocení.

Abstract:

Bachelor thesis summarizes forms of cutting tools wear and is focused on the analysis of methods for monitoring of cutting tools wear and destruction, applying them to the production and evaluation. It also contains examples of modern monitoring system in the enterprise, its adjustment, consequent introduction into the production and evaluation.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ 7
1. ÚVOD 8
2. TEORETICKÁ ČÁST 9
2.1. FORMY OPOTŘEBENÍ OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ 9
2.1.1. Klasifikace typů opotřebení obráběcích nástrojů 10
2.1.2. Základní mechanismy opotřebení 13
2.2. MONITOROVÁNÍ OPOTŘEBENÍ OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ 15
2.2.1. Podstata monitorovacího procesu 15
2.2.2. Metody monitorování 16
2.2.3. Přímé metody 16
2.2.4. Neprímé metody 19
2.2.5. Význam monitorovacich systémů v optimalizaci obráběcího procesu 22
3. MONITOROVÁNÍ OPOTŘEBENÍ OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ V PODNIKU CONTINETAL AUTOMOTIVE CZECH REPUBLIC, s.r.o. 28
3.1. POPIS SPOLEČNOSTI 28
3.2. MONITOROVACÍ SYSTÉMY SPOLEČNOSTI 29
3.2.1. Systém WATTPILOTE 29
3.2.2. Tool management system GUHRING 33
4. ZÁVĚR 35
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ 36
SEZNAM OBRÁZKŮ 37

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

a_p	hloubka řezu v mm.
C_E	cena elektrické energie v Kč⁄hod.
C_s	cena stroje v Kč
$ČFS_{EFPL}$	časový fond stroje v hod⁄rok a směnu
f	posuv v mm/ot.
k_c	koeficient směnnosti
k_r	koeficient řezání
k_{vs}	koeficient časového využití stroje
k_{us}	koeficient oprav a údržby stroje
M_o	mzda operátora v Kč
M_s	mzda seřizovače v Kč
N	výrobní náklady na uvažovaný operační úsek v Kč
N_{hs}	hodinové náklady na provoz stroje v Kč⁄min.
N_n	náklady na nástroje vztažené na operační úsek v Kč
N_{nt}	náklady na provoz nástroje vztažené na jednu trvanlivost břitu
N_s	náklady na strojní práci na operační úsek v Kč
N_{sm}	náklady na strojní práci v Kč⁄min.
N_{vn}	náklady na výměnu,resp.znovuseřízení opotřebeného nástroje
N_{vnm}	náklady na výměnu nástroje v Kč⁄min.
O_s	odpis stroje v Kč⁄hod.
RNS_{PL}	režijní náklady střediska planované v %
SM	směnnost
T	trvanlivost nástroje v min.
t_{As}	strojní čas v min.
t_{Av}	čas jednotkový vedlejší
t_{vn}	čas potřebný na výměnu nástroje
z_v	počet výměn nástroje
$Ž_s$	životnost stroje v rocích

1. ÚVOD

Během procesu obrábění nástroj působí na obráběný materiál, vzniká tříska a jde o formováni nového povrchu. Přitom je nástroj velice namáhán, jelikož pracuje za vysokých tlaků a teplot a vytvářejí se čisté kovové povrchy, které za těchto podmínek mají sklon k chemickým reakcím nebo difuzním procesům. Ve výsledku to vede ke složitému zatěžování břitu nástroje, ztratě jeho původního tvaru a následnému snížení schopnosti řezání. Nevčasným zjištěním kritického opotřebení obráběcího nástroje může dojít ke zhoršení kvality výrobků, většímu počtu zmetků až do havarie samotného stroje nebo jeho uzlů. Různé formy opotřebení budou popsany v teoretické části práce.

Analýza rozvoje světového strojírenství nám údavá, že jeho význačnou schopnosti je intenzivní proces zvýšení výkonnosti, spolehlivosti a životnosti provozu strojů a nástrojů. Proto se v současné době častěji zavádějí v podnicích monitorovací systémy. Úkol na vytvoření monitorovacích systémů, zejména automatizovaných, které by zajišťovali nám požadovanou kvalitu, vysokou výkonnost a minimální náklady na obrábění, zvlášť v podmínkách pružné automatizované výroby, byl a dosud je prioritním problémem v technologie obráběni. Množství výhod, které dostane výrobce po aplikování takových systémů do výroby, a i metody popisující různé způsoby monitorování a jejich rozbor je hlavním cílem mé bakalářské práce.

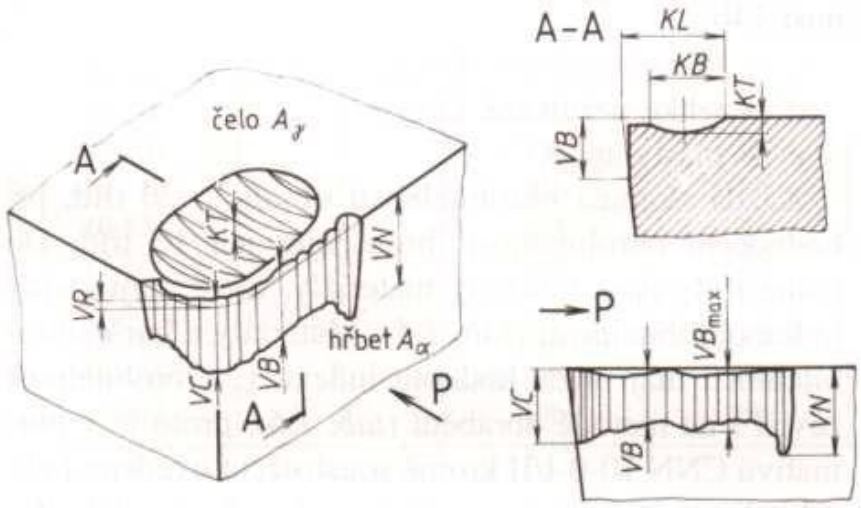
Jako další cíl jsem si vytyčila ukázku monitorovacích systémů v podniku Continental Automotive Czech Republic s.r.o.. Podstata daných systémů, jejich zavedení a seřizování, moderní přístup s ohledem na stále se zvyšující požadavky a konkurence jsou uvedeny ve třetí kapitole.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. FORMY OPOTŘEBENÍ OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ

Všechny břity řezných nástrojů podlehají při obrábění určitému opotřebení, kterému jsou vystaveny až do okamžiku dosažení konce doby trvanlivosti. [1]

Mechanickými a tepelnými vlivy se mění tvar pracovních ploch břitu. Rozlišujeme náhlé (plastická deformace, křehký lom) a postupné opotřebení. Velikost opotřebení hodnotíme šířkou opotřebení VB nebo hloubkou žlábku KT, máme i další značení (obr. 2.1)



Obr. 2.1 Formy opotřebení a jejich značení [2]

VB - opotřebení hřbetu průměrné

VC - opotřebení hřbetu v oblasti špičky

VN - opotřebení hřbetu vrubové

Vbmax - opotřebení hřbetu maximální

KT - hloubka žlábku opotřebení čela

KB - šířka žlábku opotřebení čela

KL - poloha středu žlábku opotřebení čela

VR - radiální opotřebení špičky

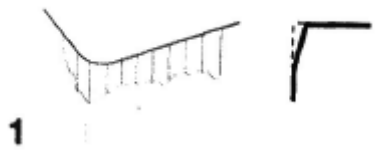
Pomoci odborně literatury, měřením a pozorováním opotřebení dostaneme jejich optimální hodnoty, které jsou potom používany pro včasnou výměnu nastroje a také i pro proces optimalizace obrábění. Použitím optimálních hodnot dosáhneme značných hospodářských důsledků, což v současné době podle požadavků zákazníků „lepší kvalita – za nižší cenu“ je jedním z rozhodujících faktorů.

2.1.1. KLASIFIKACE TYPŮ OPOTŘEBENÍ OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ

Klasifikace typů opotřebení břitu nástroje byla provedena za účelem vytvoření báze pro posouzení operací obrábění a tím i možnosti ovlivnění produktivity. [1]

- **Opotřebení hřbetu břitu** (obr. 2.2)

Nejčastější a preferovaný způsob opotřebení, jelikož umožňuje dosažení předvídatelné a stabilní životnosti nástroje. Opotřebení hřbetu vzniká v důsledku abraze a způsobují ho tvrdé částice v materiálu obrobku. Příliš velké opotřebení hřbetu břitu má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstající tření, které vzniká změnou geometrie břitu. [1, 4]



Obr. 2.2 Opotřebení hřbetu břitu [1]

- **Opotřebení ve tvaru žlábku na čele břitu** (obr. 2.3)

Je způsoben difúzním a abrazivním mechanismy opotřebení. Žlábek vzniká částečně úběrem řezného nástrojového materiálu, vyvolaným brousícím pochodem, který způsobují tvrdé částice obsažené v materiálu obrobku, ale hlavně difúzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, to znamená, v kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitu. Nadměrné opotřebení ve tvaru žlábku zeslabuje břit a může vést až k jeho lomu. [1, 4]

Obr. 2.3 Opotřebení ve tvaru žlábku na čele břitu [1]

- **Plastická deformace břitu** (obr. 2.4)

Hlavní přičinou vzniku je tepelné přetižení a řezné tlaky na břitu. Typická deformace (vyboulení) břitu ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu, změny v

odchodu třísek a může velmi rychle dosáhnout kritického stádia. Zhoršuje se odvod třísky a snižuje se kvalita obrobeneho povrchu. [1]

Obr. 2.4 Plastická deformace břitu [1]

- **Opotřebení ve tvaru vrubu na hlavním a vedlejším hřbetě břitu** (obr 2.5)

Opotřebení ve tvaru vrubu na hlavním hřbetě břitu patří k typickým adhezním opotřebením, může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Toto opotřebení se omezuje přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblasti obrábění. Opotřebení ve tvaru vrubu na vedlejším hřbetě břitu má mechanické příčiny; jejich původci jsou tvrdé částice materiálu obrobku. [1]

Obr. 2.5 Opotřebení ve tvaru vrubu [1]

- **Hřebenovité trhliny na ostří** (obr. 2.6)

Je formou únavového opotřebení, které vzniká tepelnými šoky. Zvláště změna teplot při frézování často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhliny se tvoří kolmo na ostří; přitom se mohou částice řezného nástrojového materiálu mezi jednotlivými trhlinami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu. Změnou tloušťky třísky se při obrábění změní rovněž teploty. [1]

Obr. 2.6 Hřebenovité trhliny na ostří [1]

- **Únavový lom** (obr. 2.7)

Je typickým následkem mimořádně velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zařízení, kdy působení jednotlivých druhů zatížení není samo o sobě dost velké, aby mělo za následek lom. [1]

Obr. 2.7 Únavový lom [1]

- **Vydrolování ostří** (obr. 2.8)

Je formou opotřebení, při níž se břit namísto stejnoměrného opotřebovávání vydroluje. Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že drobné částečky řezného nástrojového materiálu se začnou oddělovat z povrchu břitu. Přerušované řezy jsou nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení. Odlupování materiálu a trhliny jsou příznaky, které upozorňují na možnost lomu břitu. [1]

Obr. 2.8 Vydrolování ostří [1]

- **Lom břitu nástroje** (obr. 2.9)

Je osudným koncem každého břitu. Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za všech okolností zabránit. Lom břitu nástroje je nutné v každém případě považovat za ukončení trvanlivosti. Změny geometrie, oslabení břitu, nárůst teplot a sil mohou vést ke značným škodám. Křehký lom může být způsoben různými faktory; často je zvolený materiál břitu málo houževnatý, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění. [1]

Obr. 2.9 Lom břitu nástroje [1]

- **Tvorba nárůstku** (obr. 2.10)

Je v převážné většině případů fenoménem, vztahujícím se k teplotám a řezným rychlostem. Může však být způsobena i odlupováním vrstev v místě břitu, nebo jinými formami opotřebení. Mimo změny geometrie břitu působí tato forma opotřebení negativně ještě proto, že se mohou částice materiálu břitu odlomit společně s navařeným nárůstkem, který je tvořen částicemi materiálu obrobku. Zhoršená jakost obrobeného povrchu je často prvním negativním důsledkem pokračující tvorby nárůstku; nadměrná tvorba nárůstku může v nejhorším případě vést dokonce i k lomu břitové destičky. [1]

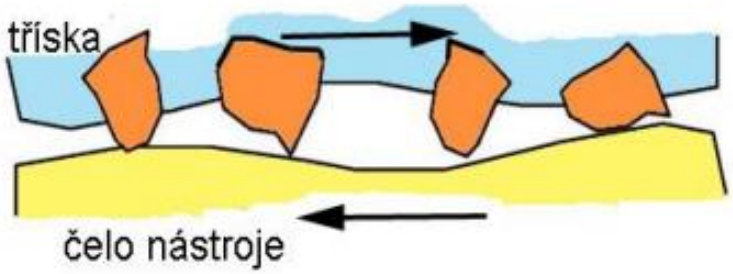
Obr. 2.10 Tvoření nárůstku [1]

2.1.2. ZÁKLADNÍ MECHANISMY OPOTŘEBENÍ

Opotřebení zatím můžeme rozdělit podle zatěžujících faktorů:

- **Abrazivní opotřebení**

hlavně vzniká působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Je podobné procesu broušení, tvrdé částice se dostavají mezi povrchem obrobku a nástroje. (Obr. 2.11)



Obr. 2.11 Abrazivní opotřebení [3]

- **Difúzní opotřebení**

je procesem migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, z niž vyplyvá vytvařeni nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje.

- **Oxidační opotřebení**

je následkem vysokých teplot a okolního vzduchu. V místě kontaktu, kde končí šířka třísky má vzduch přístup do řezného procesu, pak vznikají působením oxidace žlábky. [1]

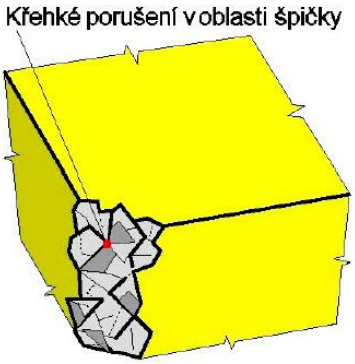
- **Adhezní opotřebení**

Vyskytuje se hlavně při nizkých teplotách obrábění na čele břitu nástroje. To vede k vytváření nárůstku mezi třískou a břitem. Jedna se přitom o dynamický průběh s narůstajícím počtem vrstev, které jsou z třísky navařovany a vytvrzovanya stavají se tak součásti břitu. [1] (obr. 2.12)

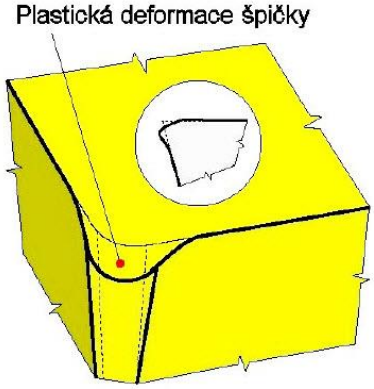
Obr. 2.12 Adhezní opotřebení [3]

- **Lom**

má často termomechanické přičiny. Kolisání teplot a zatížení řeznými silami mohou vest k vydrolování a lomu řezného nástroje. Přičiny mohou být na jedné straně v příliš velké tvrdosti nebo pevnosti materiálu obrobku a ve vysokých posuvech, nebo na druhé straně v příliš tvrdém řezném nástrojové materiálu (obr. 2.13). [3] Vopačném připadě příliš měkkého materiálu za vysokých teplot může dojít ke plastické deformace (obr. 2.14).



Obr. 2.13 Křehký lom [3]



Obr. 2.14 Plastická deformace [3]

Uvedene typy opotřebení jsou nejdůležitější. Pochopení zakladních mechanismů opotřebení s vazbou na typy opotřebení přivede k nejlepši volbě nástrojových materiálů, podmínek obrábění a řezných podmínek. Jakmile bude zavedena kontrola, příp. monitorování opotřebení, tím dosahne výrobce zvyšenou produktivitu, bude schopen optimalizovat proces obrábění a tím dojde i ke snížení výrobních nákladů.

2.2. MONITOROVÁNÍ OPOTŘEBENÍ OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ

2.2.1. PODSTATA MONITOROVACÍHO PROCESU

Monitorování (angl. monitoring – konrtola, pozorování) obecně znamená proces sledování stavu objektu, který má stanovit a předvídat okamžik přechodu v mezní stav. V našem případě monitorováním je kontrola stavu nástroje během obrábění nebo po jeho ukončení, jimž zjištujeme velikost opotřebení nástroje. Monitorovací systémy upozorňují obsluhu na stav nástroje a tím se zabraní nežadoucím výsledkům, které se vyskytují v rozměrové nepřesnosti obrobku.

Monitorování je způsobem zvýšení spolehlivosti, již chápeme jako vlastnost objektu uchovávat během času v určených mezích svých parametrů, které charakterizují schopnost splňovat požadované funkce za určitých podmínek provozu, technické údržby, uschování a dopravy. Problémem spolehlivosti obráběcího nástroje je možnost pozdního zjištění poruchy, což má různé následky, od vzniku vady do havarie nástroje. Proto při vytvoření výrobních systému, v současné době jsou to většinou vysokoautomatizované systémy, je nutné používat speciální monitorovací zařízení, umožňujících automatickou kontrolu stavu nástrojů a procesů probíhajících ve stroje při obrábění. Pomoci takové kontroly můžeme:

- zvýšit spolehlivost procesu obrábění
- změnšit spotřebu obráběcího nástroje
- zlepšit kvalitu obráběného povrchu a tím zmenšit počet zmetků
- zabezpečit uzly a části strojů od havarie a předčasné ztráty přesnosti obrábění

2.2.2. METODY MONITOROVÁNÍ

Rozdělení metod monitorování obráběcích nástrojů dostaneme z úrovně řešení procesu monitorování:

- Systémy kontrolující stav nástroje před/po procesu obrábění
- Nepretržitá kontrola nástroje během obráběcího procesu a hodnocení opotřebení, cílem je korekce polohy nástroje a hodnocení schopnosti provozu.

Takovým řešením byly metody zařazeny do PŘÍMÝCH (optické, radioaktivní atd.) a NEPŘÍMÝCH (AE, řezné sily, vibrace atd.).

2.2.3. PŘÍMÉ METODY

Tyto metody jsou težce aplikovatelne v důsledku toho, že opotřebené plochy jsou nedostupné pro měřící přístroje, měření se provádí mimo pracovní prostor stroje, je nutně obrábění přerušit, což ovlivňuje charakter otupení v dalších etapech experimentu. Kromě toho se ve většině připadů nástroj snímá z nožového držáku a to přínaší změny podmínek obrábění pří dalším upnutí a ustavení. Přímé metody značně prodlužují mezioperační časy a tím mají za důsledek vyšší výrobní náklady, což je jejich hlavní nevýhodou.

- **Metoda váhová (hmotnostní)**

Při váhové metodě jako míru opotřebení zde bereme úbytek hmotnosti řezného břitu. Tuto metodu nelze použít přímo během procesu obrábění na obráběcím stroji, ale je poměrně přesná a váhový rozdíl určuje míru opotřebení. Nevýhodou je pokud se při obrábění tvoří nárůstek. Potom zůstává část břitu ulpěná na destičce a znemožňuje přesné určení hmotnostního úbytku na nástroji. Lze ji použít téměř výhradně u nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami se zřetelem na malé úbytky hmoty při otupování nástroje. [5]

$$\Delta M = M_1 - M_2 \tag{2.1}$$

$\Delta M - \text{úbytek hmoty}\ [g]$

$M_1 - \text{hmotnost destičky před otupením}\ [g]$

$M_2 - \text{hmotnost destičky po otupení}\ [g]$

- **Metoda radioaktivních izotopů**

Je nejcitlivější a nejpřesnější metoda určování váhového úbytku destičky (až 10^{-3} mg). [6] Tato metoda je založena na použití radioaktivních sond. Radioaktivním článkem je materiál nástroje, který se ozáří proudem neutronů v reaktoru. Během procesu řezání větší část radioaktivních částic nástroje odejde třískou, menší část zůstane na obrobené a neobrobené ploše místa řezu a minimální část odletí do ovzduší. Pro měření jsou potřebné dva vzorky třísek: tříska odebrána aktivním nástrojem a tříska odebrána z obrobené a neobrobené plochy neaktivním nástrojem. Oba vzorky třísek se vloží do měřicího bloku, který se skládá ze zkumavek a 10 Geiger-Müllerových nebo scintilačních počítačů. Na základě aktivity třísek $I_{tř}$ (počet impulzů za minutu) je možné stanovit množství nástrojového materiálu, který ulpěl na třísce, ploše řezu a obrobené ploše. Pro stanovení tíhového úbytku nástroje je nutné znát specifickou aktivitu i_n v impulsech za minutu stanovenou stejným způsobem jako aktivita třísek. [6]

$$i_n = \frac{I_n}{M_n} \tag{2.2}$$

$i_n - specifická\ aktivita\ nástroje$

$I_n - aktivita\ nástroje$

$M_n - zkoumané\ množství\ nástrojového\ materiálu$

Hmotnost opotřebeného materiálu se potom stanoví podle

$$m_{mat} = \frac{I_{tř}}{i_n} \tag{2.3}$$

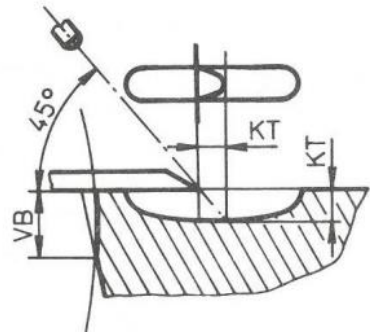
$m_{mat} - hmotnost\ opotřebovaného\ materiálu$

$I_{tř} - aktivita\ třísek$

Tato metoda sebou nese riziko zdravotního ohrožení a při práci a manipulaci je nutné dbát přísných bezpečnostních opatření a používat rukavic, manipulátorů a olověných zástěr a desek.

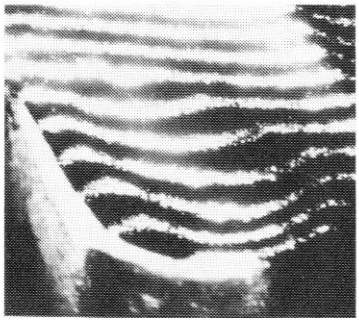
- **Optická (stínová) metoda**

Používá se k měření hloubky žlábku. Umístíme-li ostrou hranu na čelo a osvětlíme ji paprskem světla pod úhlem 45°, pak vzdálenost tečny ke stínu je rovna hloubce žlábku KT. [7] (obr. 2.15)



Obr. 2.15 Schéma měření stínovou metodou [7]

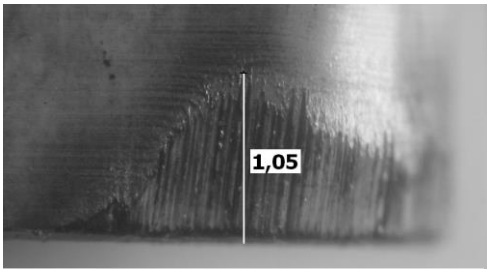
Vytvářením stínu je možné měřit také opotřebení na čele nástroje. Charakteristická mřížka, která je vytvořena na čele nástroje a je snímaná pomoci kamery, se zdeformuje v souvislosti s vytvářením kráteru na čele nástroje. (obr. 2.16)



Obr. 2.16 Světelný obraz opotřebení [8]

- **Mikrometrická metoda**

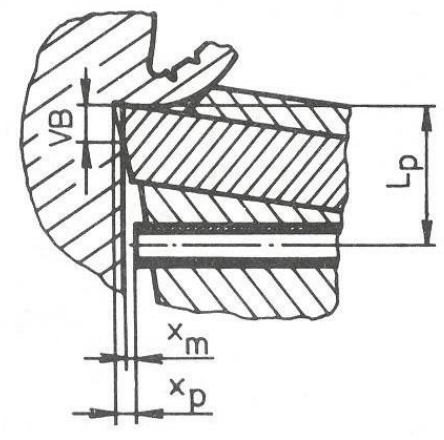
Měření pomoci mikrometrické metody probíhá na dílenských mikroskopech s křížovým stolem. Velikost opotřebení se určuje přímým měřením lineárních rozměrů. V současné době je možné provádět takové měření on-line pomoci softwarů, pro dané zvětšení se zkalibruje optika a odečtou se rozměry opotřebení. (obr. 2.17) Lze také využit i 3D souřadnicové stroje, z nichž dostaneme trojrozměrný obraz, který potom umožní vytvořit charakteristickou mapu a z ni odečíst hodnoty.



Obr. 2.17 Měření opotřebení na hřbetě

- **Pneumatická metoda**

Je založena na závislosti odporu proudu vzduchu z uplynutí vzdálenosti mezi tryskou a sledovaným povrchem. (obr. 2.18) Jako měřicí zařízení je používane pneumatické čidlo. S rostoucím opotřebením nástroje se snižuje vzdálenost mezi tryskou a povrchem řezu a to vede ke změně odporu proudu vzduchu. Měřením tohoto odporu lze vyhodnotit trojrozměrné opotřebení nástroje.



Obr. 2.18 Princip měření pneumatickou metodou [7]

$x_p - vzdalenost\ trysky\ od\ obrobku$

$x_m - vzdalenost\ od\ nástroje\ do\ trysky$

$L_p - vzdalenost\ osy\ trysky\ od\ špičky\ nástroje$

$VB - velikost\ opotřebení$

2.2.4. NEPRÍMÉ METODY

Vzhledem k těžké aplikovatelnosti přímých metod byly provedené řady studii zaměřených na vytvoření systémů, které byly by schopny odečítat parametry opotřebení během řezání. Pořad se vyvíjí modernější zařízení, využívající novější technologie. Nicméně, žádný z nich nezaručuje stoprocentní detekce selhání signálu, protože jsou nevyhnutelne různá rušení.

- **Optické metody**

Jedná z optických metod je založená na *odrazu světla*, charakteristika kterého závisí na stavu opotřebení nástroje. S ohledem na vývoj optických vláken, umožňujících vyšší přesnost zjištených hodnot, je taková metoda velice slibná. Nevýhodou však je citlivost na různé nečistoty, vyskytujících za provozních podmínek (prach, atd).

Do optických metod zahrnujeme i *měření pomoci kamery*. Nástroj najede do polohy před objektivem, který pomoci osvětlení a vhodného zvětšení předá obraz na kameru. Pak dostaneme digitální obrázek, ze kterého software odečte potřebné hodnoty. [8]

- **Měření pomoci síly řezání a krouticího momentu**

Je jednou z nejvýznamnějších metod měření stavu obráběcího nástroje. Využívá toho, že s rostoucí velikosti opotřebení roste i řezný odpor. Se změnou opotřebení se změní řezná síla, což vede ke změně krouticího momentu. Proto kontrola momentu slouží jako parametr, kterým můžeme vyhodnotit opotřebení nebo celistivost nástroje. Řidicím parametrem je elektrický proud v obvodu a v pohonu hnaciho motoru, který je přímo uměrný ke krouticímu momentu.

Měření řezné síly se provádí pomoci dynamometru, který zachycuje 3 složky, a při rostoucém opotřebení bude identifikován extremní nárůst jedné ze složek. Metoda měřící dynamickou složku řezné síly je zaměřena na spektrální analýzu síly. Hledá se určitá závislost mezi opotřebením nástroje a rozmístěním piků nebo amplitud dynamické složky síly řezání. [9]

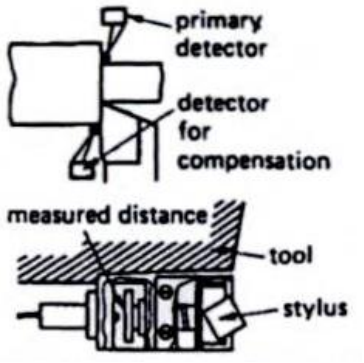
- **Měření pomoci teploty řezání**

Způsob nepřímého měření parametrů opotřebení nástrojů kontinuálním nebo periodickým měřením teploty v procesu řezání. Je založen na vztahu mezi teplotou a parametry opotřebení obráběcího nástroje pro danou kombinaci materiálu obrobku a nástroje. Kriteriem opotřebení je intenzita tepla v oblasti řezu. Je spolehlivou metodou pro automatické monitorování za podmínek menšího počtu obsluhy. Měří se průtok tepla v nástroji, který je definován teplotním rozdílem ve dvou bodech tělesa nástroje v blízkosti řezných hran. Na to se používají speciální zařízení.

- **Měření mezery mezi obrobkem a nástrojem**

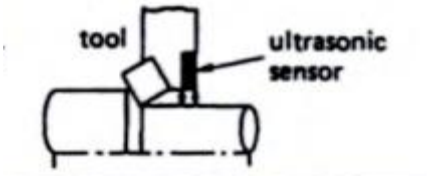
Tato metoda je založena na měření vzdálenosti mezi obrobkem a bodem na nástroje. Můžeme to měřit 3 různými způsoby: elektrickým, ultrazvukovým a optickým.

Elektricky: snimač, který se nachází na hlavním detektoru, je v kontaktu s povrchem obrobku při otáčení hned po jeho obrábění nástrojem. Se zvětšující se velikosti opotřebení snímač se posune k ose nástroje a tak vytvoří elektrický výstupní signál poměrný ploše nástroje. Kompenzační detektor, který je v blízkosti břitu nástroje, je určen pro odstraňování chyb způsobených teplotou řezání nebo řeznými sílami (obr. 2.18).



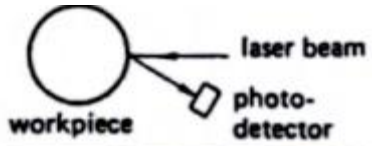
Obr. 2.19 Schéma měření mezery mezi obrobkem a nástroje elektrickým způsobem [14]

Ultrazvukový: využívá čas, za který ultrazvukové impulsy jdoucí po sobě se narazí do obrobku a odrazí od jeho plochy. Snížení času znamená růst opotřebení nástroje.



Obr. 2.20 Schéma ultrazvukového měření mezery [14]

Optický: optický mikrometr namontovaný na nožovou hlavu se skládá z He-Ne laseru, čočky a fotodetektoru. Bod laseru se nachází 0,4 mm. pod břitem nástroje. Bod je opticky zvětšen a zachycuje uhel 110°, jeho obraz dopadá na fotodetektor. Měření je tedy založeno na pohybu obrazu na fotodetektoru, což znamená změnu opotřebení nástroje.[14]



Obr. 2.21 Měření mezery pomoci laserového paprsku [14]

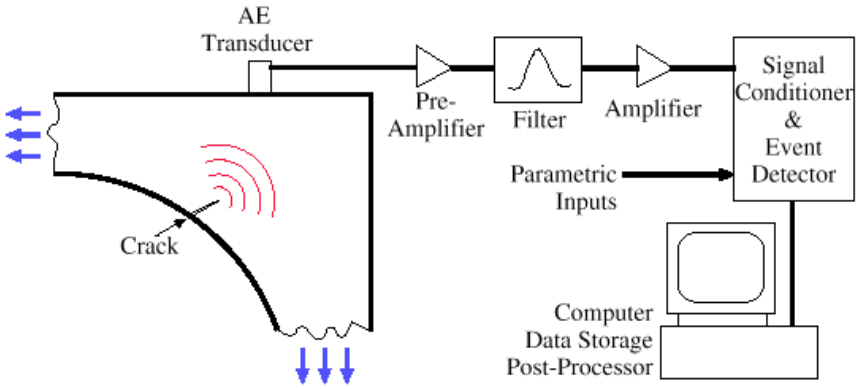
- **Měření pomoci vibrace**

Je jedním z nejpoužívanějších způsobu měření opotřebení nástroje. Mají ale velkou nevýhodu v tom, že během procesu obrábění vznikají „cizí“ vibraci. Princip je velice jednoduchý: pokud se obrábění provádí opotřebeným nástrojem, to vede k vyšším namáháním v nástroje a tím je vyvolána vibrace. Problémem je změřit potřebnou vibrace a vyhnout rušivým účinkům. Frekvenční rozsah vibraci vznikajících při běžných obráběcích operacích obvykle je v rozmezí 0-10 kHz. Frekvenční rozsah citlivý na opotřebení zcela závisí na druhu obrábění a musí být pro každý stanoven experimentálně. Existují dva základních druhy frekvence: přírodní frekvence

nástrojového držáku a jeho součásti a frekvence vznikající tvářením třísky. Měřit vibrace můžeme pomoci akcelerátorů, kyvadla a využitím kolísání otáček vřetene. [6]

- **Měření akustické emise**

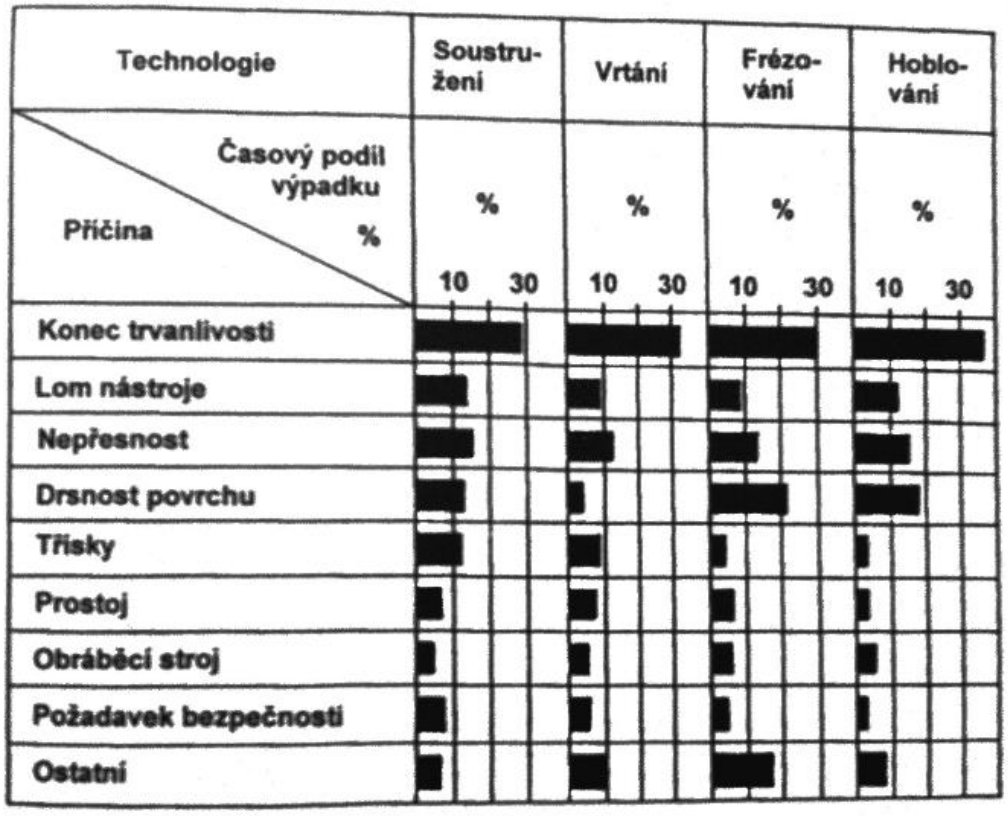
Akustická emise je zvukovou vlnou, která je způsobena náhlým uvolněním energie a prochází materiálem. Výhodou teto metody je frekvenční rozsah, on je vyšší vibrace stroje a ostatních rušivých vibraci. AE je vyvolána změnami při procesu obrábění: vznik třísky, povrchové tření prasknutí nástroje a další (obr 2.20). Rozlišujeme druhy AE signálů: kontinuální (signály od ostrého a opotřebovaného nástroj) a impulsní (od třísek a od zlomení nástroje). AE signály jsou snímány senzory a potom upraveny a zpracovány. Tím získáme charakteristiku impulsů, frekvence, amplitudu a další hodnoty potřebné pro sledování stavu nástroje. Je jednou z nejperspektivnějších metod, neustále se zkoumá a zlepšuje.



Obr. 2.22 Schéma měření signálu AE

2.2.5. VÝZNAM MONITOROVACICH SYSTÉMŮ V OPTIMALIZACI OBRÁBĚCÍHO PROCESU

Sledování velikosti opotřebení umožňuje prodloužit životnost nástroje, která se skládá z jeho trvanlivosti. Trvanlivosti řezného nástroje je doba v minutách, po kterou je nástroj schopen pracovat od naostření do otupení a je jednou z důležitých veličin pro posouzení hospodárnosti procesu obrábění. Opotřebení nástroje (konec trvanlivosti) a lom nástroje společně představují rozhodující faktory výpadků procesu procesu řezání.[11] Je to vidět z obrázku 2.20:



Obr. 2.23 Technické přičiny nevyužití pracovního času [11]

Monitorováním zbavíme nevyužití pracovního času. Obsluha nevyřazuje nástroj po určitému času, který je daný teoretický i když opotřebení nemá kritickou míru pro výměnu a nástroj může pracovat dále. Nedochází ke kritickému opotřebení ani k destrukci nástroje, proto počet obrobku obrobených příliš opotřebovaným nástrojem a tedy počet zmetků se výrazně zmenší. Takové výhody se velice značně projeví z hospodářského hlediska a to je jeden z rozhodujících faktoru pro každého podnikatele. Je zřejmé, že zavedení, seřizování a laděni monitorovacích systémů je finančně náročné, avšak, můžeme to chápat jako investice do budoucnosti. S časem se to vyplatí a přejde do výnosů.

Porovnání výroby bez monitorování a s monitorováním je dobře uvedeno v následujícím příkladě.

Při obrábění (soustružení) SK P20, ocel 12050.1

$a_p = 5\ mm.,\ f = 0{,}3\ mm/ot.,\ v_c = 180\ m/min$

byly postupně zjištěny následující trvanlivosti:

20, 18, 8, 12, 24, 15, 10, 17, 21, 22, 24, 31, 16, 20, 17, 11 min.

Pomoci daných hodnot a naměřených trvanlivosti spočítáme konstantu úměrnosti C_V.

- **Bez monitorování**

Z komplexního Taylorova vztahu $v_c = \frac{C_V}{a_p^{x_v} * f^{y_v} * T^{\frac{1}{m}}}$ (2.4)

najdeme C_V, za trvanlivost dosadíme nejhorší z naměřených, za empirické konstanty x_v, y_v, m dosadíme 0,15; 0,35; 3 :

$$C_V = V_c * a_p^{x_v} * f^{y_v} * T^{\frac{1}{m}} = 180 * 5^{0,15} * 0,3^{0,35} * 8^{\frac{1}{3}} = 300,7$$

- **S monitorováním**

Stejným způsobem určíme konstantu úměrnosti C_V, za trvanlivost ale dosadíme střední hodnotu z naměřených $T = 17,9\ min.$:

$$C_V = V_c * a_p^{x_v} * f^{y_v} * T^{\frac{1}{m}} = 180 * 5^{0,15} * 0,3^{0,35} * 17,9^{\frac{1}{3}} = 393,3$$

Obrábíme součást na NC soustruhu, jedná se o velký podnik. Součást obsahuje 10 analogických operačních úseků (předpoklad, že doba obrábění je u všech přibližně stejná). Jsou známé další hodnoty:

$t_{Av} = 20\ sec. - čas\ jednotkový\ vedlejší$

$M_o = 150\ Kč/hod - mzda\ operátora$

$RNS = 600\% - režijní\ náklady\ střediska$

$k_c = 1,15 - koeficient\ směnnosti$

$k_r = 0,95 - koeficient\ řezání$

$N_{nt} = 25\ Kč - náklady\ na\ provoz\ nástroje\ vztažené\ na\ jednu\ trvanlivost\ břitu$

$C_s = 6\ 000\ 000\ Kč - cena\ stroje$

$k_{us} = 1,4 - koeficient\ oprav\ a\ údržby\ stroje$

$Ž_s = 8\ let - životnost\ stroje$

$k_{vs} = 0,75 - koeficient\ časového\ využití\ stroje$

$SM = 1 - směnnost$

$t_{vn} = 2\ min - čas\ potřebný\ na\ výměnu\ nástroje$

$C_E = 30\ Kč/hod - cena\ elektrické\ energie$

$ČFS = 2000\ hod/rok - časový\ fond\ stroje$

$\emptyset D = 200\ mm. - průměr\ součásti$

$L = 100\ mm. - délka\ strojního\ chodu$

$a_p = 4\ mm. - hloubka\ řezu$

$f\ =\ 0{,}1\ mm/ot. - posuv$

Pro další vypočty využijeme kritérium optimálnosti z hlediska výrobních nákladů. Výrobní náklady lze formulovat ve tvaru:

$$N = N_s + N_n + N_{vn} = t_{As} * N_{sm} + N_{nt} * z_v + N_{vnm} * t_{vn} * z_v, \tag{2.5}$$

kde $N - výrobní\ náklady\ na\ uvažovaný\ operační\ úsek\ v\ Kč$

$N_s - náklady\ na\ strojní\ práci\ na\ operační\ úsek\ v\ Kč$

$N_n - náklady\ na\ nástroje\ vztažené\ na\ operační\ úsek\ v\ Kč$

$N_{vn} - náklady\ na\ výměnu, resp. znovuseřízení\ opotřebeného\ nástroje$

$nebo\ výměnné\ břítové\ destičky\ vztažené\ na\ operační\ úsek\ v\ Kč$

$t_{As} - strojní\ čas\ v\ min.$

$N_{sm} - náklady\ na\ strojní\ práci\ v\ Kč/min.$

$z_v - počet\ výměn\ nástroje$

$N_{vnm} - náklady\ na\ výměnu\ nástroje\ v\ Kč/min.$

$t_{vn} - čas\ na\ výměnu\ nástroje\ v\ min.$ [11]

Náklady na strojní práci minutové N_{sm} spočítáme ze vzorku 2.6

$$N_{sm} = \left[k_c * \frac{M_o}{60} * \left(1 + \frac{RNS_{PL}}{100}\right) + \frac{N_{hs}}{60}\right] \tag{2.6}$$

kde $N_{hs} - hodinové\ náklady\ na\ provoz\ stroje\ v\ Kč/min$

$M_o - mzda\ operátora$

$RNS_{PL} - režijní\ náklady\ střediska\ planované\ v\ \%$

$k_c - přirážka\ směnového\ času$ [11]

Hodinové náklady na provoz stroje lze vyjadřit

$$N_{hs} = O_s * k_{us} + C_E \tag{2.7}$$

$$O_s = \frac{C_s}{Ž_s * ČFS_{EFPL} * SM * k_{vs}} \tag{2.8}$$

kde $O_s - odpis\ stroje\ v\ Kč/hod$

$C_s - cena\ stroje$

$C_E - cena\ elektrické\ energie\ v\ Kč/hod$

$Ž_s - životnost\ stroje\ v\ rocích$

$ČFS_{EFPL} - časový\ fond\ stroje\ v\ hod./rok\ a\ směnu$

$SM - směnnost$

$k_{us} - koeficient\ oprav\ a\ údržby\ stroje$

$k_{vs} - koeficient\ časového\ využití\ stroje$ [11]

$$O_s = \frac{C_s}{Ž_s * CFS_{EFPL} * SM * k_{vs}} = \frac{6\,000\,000}{8 * 1 * 2000 * 0{,}75} = 500\,Kč/hod.$$

$$N_{hs} = O_s * k_{us} + C_E = 500 * 1{,}4 + 30 = 730\,Kč/hod.$$

$$N_{sm} = \left[k_c * \frac{M_o}{60} * \left(1 + \frac{RNS_{PL}}{100}\right) + \frac{N_{hs}}{60}\right] = \left[1{,}15 * \frac{150}{60} * \left(1 + \frac{600}{100}\right) + \frac{730}{60}\right] = 32{,}3\,Kč/min.$$

Dále spočítáme náklady na výměnu nástroje minutové N_{vnm}:

$$N_{vnm} = \left[k_c * \frac{M_s}{60} * \left(1 + \frac{RNS_{PL}}{100}\right) + \frac{O_s}{60}\right]$$

kde $M_s - mzda\ seřizovače\ v\ Kč$

$$N_{vnm} = \left[k_c * \frac{M_s}{60} * \left(1 + \frac{RNS_{PL}}{100}\right) + \frac{O_s}{60}\right] = \left[1{,}15 * \frac{150}{60} * \left(1 + \frac{600}{100}\right) + \frac{500}{60}\right] = 28{,}5\,Kč/min.$$

Pomoci určených N_{sm}, N_{vnm} a daných N_{nt} najdeme optimální trvanlivost T_{optN}:

$$T_{optN} = \frac{(N_{nt} + t_{vn} * N_{vnm})}{N_{sm}} * k_r * (m - 1) \tag{2.9}$$

$$T_{optN} = \frac{(25 + 2 * 28{,}5)}{32{,}3} * 0{,}95 * (3 - 1) = 4{,}8\,min.$$

V tuto dobu máme napočítané pro oba případy konstanty úměrnosti C_V a optimální trvanlivost T_{optN}. Jejich dosažením do komplexního Taylorova vztahu (2.4) spočítáme řezné rychlosti:

$$v_{c\ bez\ monitorování} = \frac{300{,}7}{4^{0{,}15} * 0{,}1^{0{,}35} * 4{,}8^{\frac{1}{3}}} = 324\,m/min.$$

$$v_{c\ s\ monitorováním} = \frac{393{,}3}{4^{0{,}15} * 0{,}1^{0{,}35} * 4{,}8^{\frac{1}{3}}} = 424\,m/min.$$

Pro vzorek 2.5 potřebujeme dopočitat t_{As} a z_v pro oba případy:

$$n = \frac{1000 * v_c}{\pi * D} \tag{2.10}$$

$$t_{As} = \frac{L}{n*f} \tag{2.11}$$

$$z_v = \frac{t_{As}}{T} * k_r \tag{2.12}$$

$$n_{bez\ monitorování} = \frac{1000 * v_c}{\pi * D} = \frac{1000 * 324}{\pi * 200} = 515{,}6\ ot.$$

$$n_{s\ monitorováním} = \frac{1000 * v_c}{\pi * D} = \frac{1000 * 424}{\pi * 200} = 674{,}8\ ot.$$

$$t_{As\ bez\ monitorování} = \frac{L}{n * f} = \frac{100}{515{,}6 * 0{,}1} = 1{,}94\ s.$$

$$t_{As\ s\ monitorováním} = \frac{L}{n * f} = \frac{100}{674{,}8 * 0{,}1} = 1{,}5\ s.$$

$$z_{v\ bez\ monitorování} = \frac{t_{As}}{T} * k_r = \frac{1{,}94}{4{,}8} * 0{,}95 = 0{,}39$$

$$z_{v\ s\ monitorováním} = \frac{t_{As}}{T} * k_r = \frac{1{,}5}{4{,}8} * 0{,}95 = 0{,}3$$

Dosažením všech potřebných a spočitaných hodnot do vzorku 2.5 určíme náklady na jeden operační úsek:

$$N_{bez\ monitorování} = t_{As} * N_{sm} + N_{nt} * z_v + N_{vnm} * t_{vn} * z_v =$$
$$= 1{,}94 * 32{,}3 + 25 * 0{,}39 + 28{,}5 * 2 * 0{,}39 = 93{,}5\ Kč/úsek$$

$$N_{s\ monitorováním} = t_{As} * N_{sm} + N_{nt} * z_v + N_{vnm} * t_{vn} * z_v =$$
$$= 1{,}5 * 32{,}3 + 25 * 0{,}3 + 28{,}5 * 2 * 0{,}3 = 73\ Kč/úsek$$

Celkové výrobní náklady pro všeshny 10 operačních úseků dopočítáme podle:

$$N_c = \sum N_i + t_{Av} * N_{vm} \tag{2.13}$$

$$N_{c\ bez\ monitorování} = 10 * 93{,}5 + 0{,}33 * 28{,}5 = 944{,}4\ Kč/kus$$

$$N_{c\ s\ monitorováním} = 10 * 73 + 0{,}33 * 28{,}5 = 739{,}4\ Kč/kus$$

Tím príkladem při zadaných hodnotách (viz. str.) jsem propočítala veškeré výrobní náklady pro soustružení jedné současti, ve vysledku vyšli celkové náklady:

$$N_{c\ bez\ monitorování} = 944{,}4\ Kč/kus$$

$$N_{c\ s\ monitorováním} = 739{,}4\ Kč/kus$$

a je z toho vidět, že obrábění s monitorováním ušetří na výrobu jedné součásti 205 Kč. Proto se dá řící, že z ekonomického hlediska kontrola stavu nástroje hraje značnou role. Výrobní náklady

tvoří kolem 40% od ceny výrobku (obr.2.21). Jakmile výrobce dosáhne snížení ceny a zároveň budou zachovány technologické požadavky, tím bude schopen získat více zákazníků.

Obr. 2.24 Rozdělení nákladů při výrobě [11]

3. MONITOROVÁNÍ OPOTŘEBENÍ OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ V PODNIKU CONTINETAL AUTOMOTIVE CZECH REPUBLIC, s.r.o.

3.1. POPIS SPOLEČNOSTI

Společnost Continental v České Republice působí ve Adršpachu, Brandýse nad Labem, Frenštátě pod Radhoštěm, Jičíně, Otrokovicích, Trutnově a od dubna 2014 zřídila také výzkumné a vývojové centrum s celosvětovou působností v Ostravě. [12] Já jsem v rámci své bakalářské práci navštívila závod Continental Automotive Czech Republic, s.r.o. v Trutnově. V tomto závodě se vyrábějí rotační ventily pro recirkulaci výfukových plynů, moduly pro recirkulaci výfukových plynů, aktuátory pro obecné použití, výroba cylindrů a také řady vysokotlakých dieselových a benzínových čerpadel (obr. 3.1).

Obr. 3.1 Výrobky společnosti Continental Automotive Czech Republic, s.r.o. [12]

Zákazníky jsou známé automobilové značky jako BMW, Ford, Opel, Renault, Volkswagen a řada dalších.

3.2. MONITOROVACÍ SYSTÉMY SPOLEČNOSTI

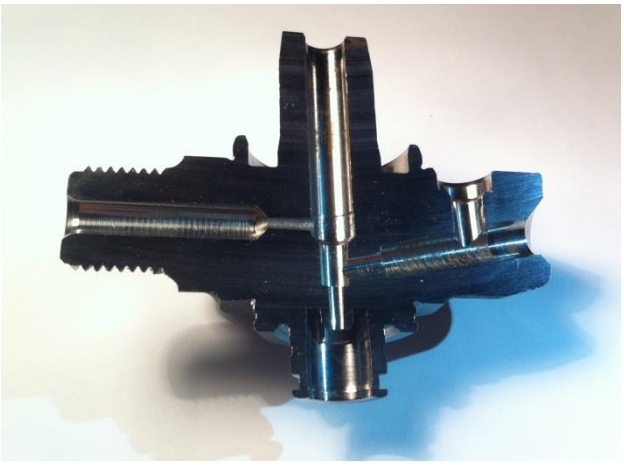
Continental Automotive Czech Republic, s.r.o. je závodem, kde jsou nejnovější výrobní a technologické zařízení a je zavedená automatizovaná výroba. A jejich dalším krokem ve stálém zlepšování bylo zavedení monitorovacích systémů. Zatím kontrola opotřebení nástroje probíhá jenom na jednom stroje, v plánech ale je rozšíření i na ostatní.

3.2.1. SYSTÉM WATTPILOTE

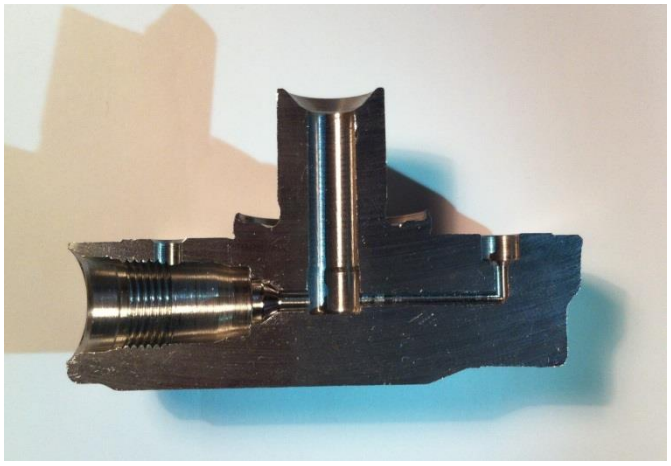
V tomto roce pro dvouvřetenový obráběcí centrum Chiron DZ-15K WM na obrábění dieselových čerpadel (obr. 3.2) byl nainstalovan system WattPilote Compact Typ WP-DP-S016.

Obr. 3.2 Část dieselového čerpadla

Při obrábění takového složitého díla je kladen velký důraz na přesnost obrobených ploch. Při řezu součásti je vidět, jak kvalitně se musejí obrábět otvory, kanálky a další prvky (obr. 3.3 a,b)



a)

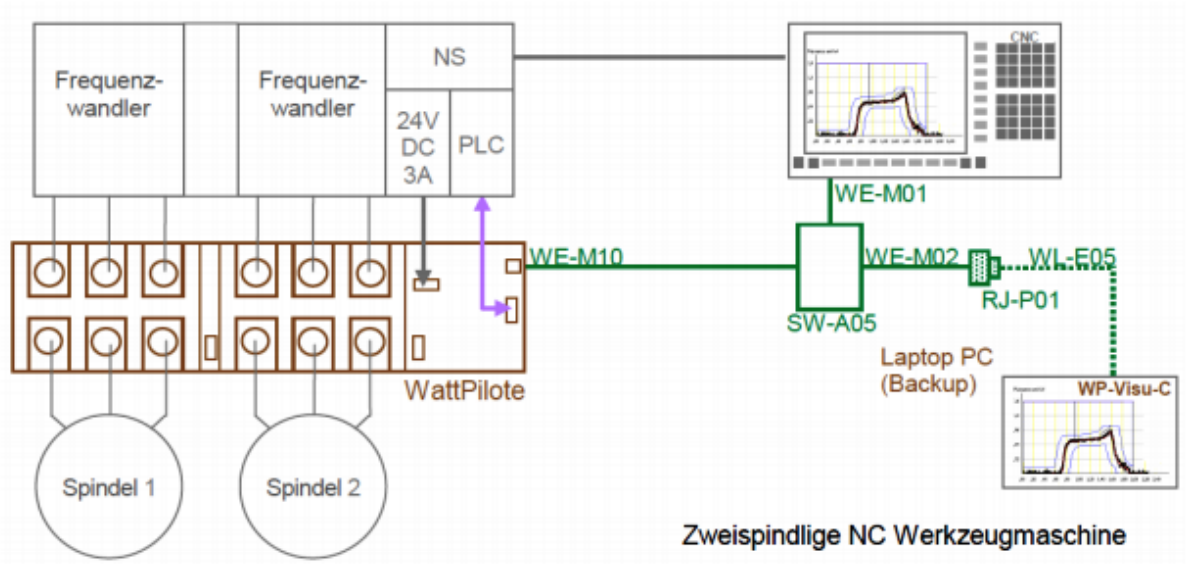


b)

Obr. 3.3 Pohled ve řezu

Proto se obráběcí nástroj musí pořad kontrolovat, v jaké míře je opotřeben. Na jeho stavu závisí geometrická a rozměrová přesnost obrobených ploch (např. kanálek na pohledu *b)* má průměr cca 1,3mm.). Vysoké nároky na výrobu teto součásti přivedli k zavedení monitorovacího systému.

Výrobcem systému WattPilote je francouzská společnost Digital Way, její činnost je zaměřena na návrh, výrobu a montáž monitorovacích systému pro obrábění kovů. Watt Pilote Dual je systémem speciálně vyvinutým pro dvouvřetenové stroje. Princip systému je založen na měření proudového zatížení vřeten během obrábění. Nalepený na vřeteno čípek měří jeho proudové zatížení, předává proudové signály na frekvenční měniče. Pak signály jdou do PLC (programmable logic controller), v nimž se zpracovávají a jdou dále do PC (popř. Laptop). Ve výsledku dostaneme grafy zatížení obou vřeten (obr.3.4).

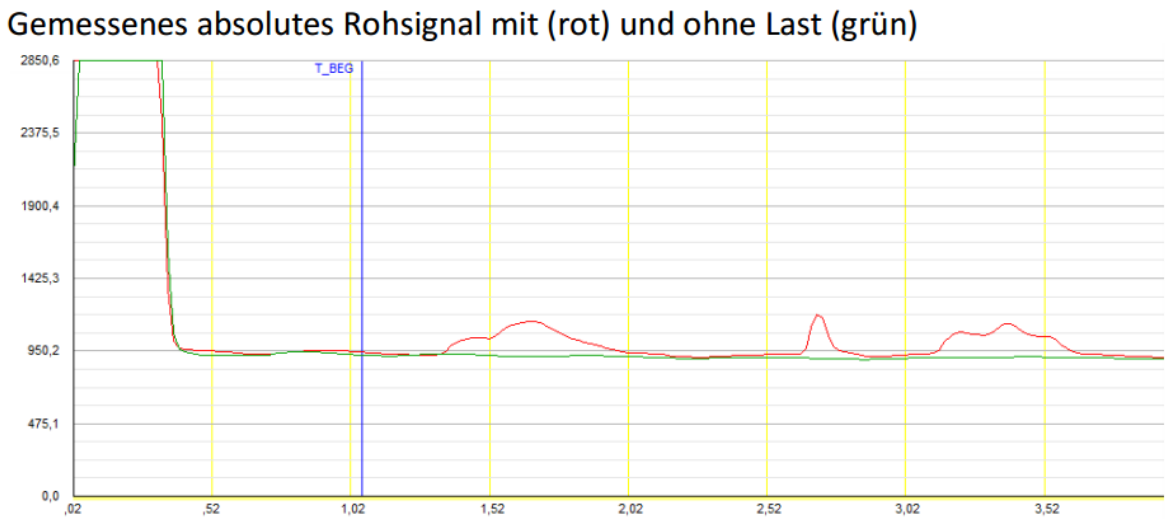


Obr. 3.4 Schéma zapojení WattPilote Dual 2x16kW

Ladění takového systému je časově náročně. Pro každý nástroj a pro každou operace se měří kritické hodnoty proudového zatížení, při kterých dojde k destrukci nástroje. Oni jsou potom omezujícími parametry při obrábění, tedy víme jaké hodnoty budou ukazovat překročení velikosti opotřebení a při jakém zatížení bychom měli nástroj vyměnit. Nastavení a seřizování systému WattPilote v Continental Automotive Czech Republic trvalo téměř 1 měsíc a pracovalo nad tím skoro celé vývojové středisko. Jinak už po měsíci od zavedení systému se projevili výhody jak z technologického hlediska, tak i z ekonomického.

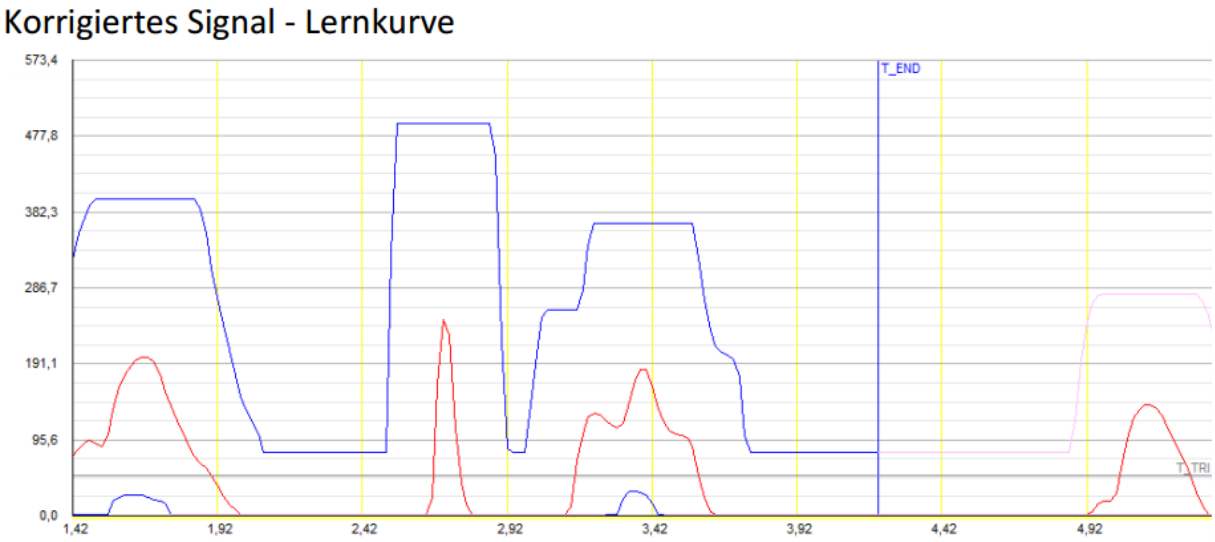
Od společnosti jsem dostala podklady, které byli vypracovány při návrhu a ladění systému. Představují sebou soubor grafů, nalezených během všech možných operací obráběcího centra. Za prvé, měřil se absolutní nezpracovaný signál s zatížením a bez zatížení (obr. 3.5). Jako ukázku používám měření během frézování.

T3 – Fräser 8mm



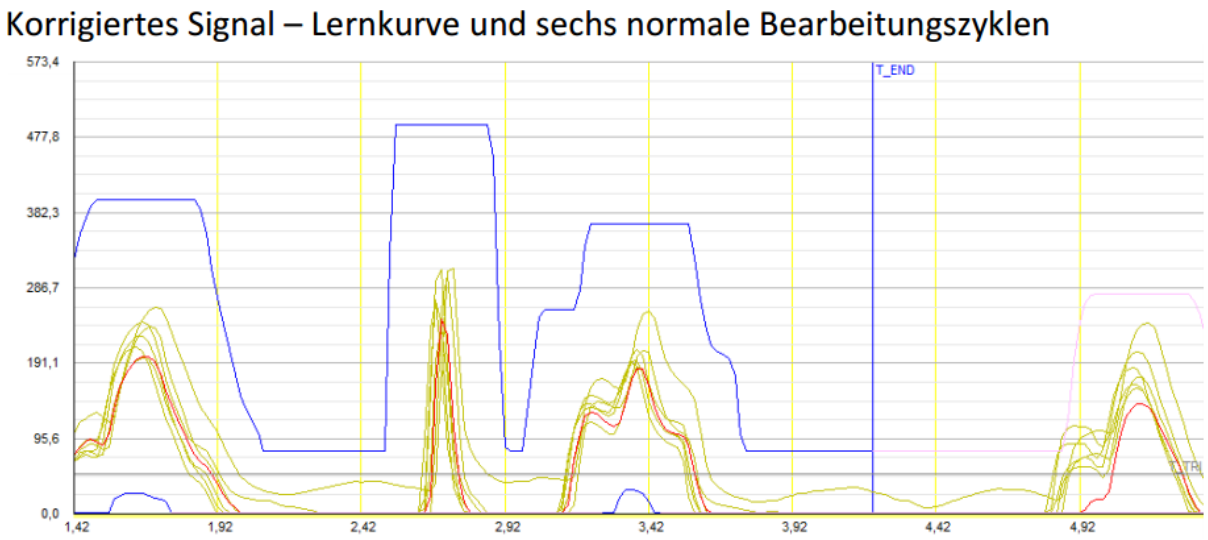
Obr. 3.5 Graf nezpracovaného signálu

Červená křivka byla zjištěna při zatížení, zelená - bez zatížení. Skok na začátku grafu je způsoben spouštěním vřetena a není uvažován. Dále byla naměřena tzv. Lernkurve – křivka, která vznikla podle profilu křivky s zatížením a jejíž překročení znamená výměnu nástroje. Signál byl zkorigován pro lepší zobrazení na grafu. Lernkurve je označená modrou barvou (obr. 3.6).



Obr. 3.6 Zkorigovaný signál

Potom nasledovali cykly obrábění, na grafu všechny změřené křivky byly zkorigovány a naloženy na sobě pro lepší představu (obr. 3.7).



Obr. 3.7 Zkorigované křivky při 6 normálních cyklech obrábění

Takovým měřením byly vyzkoušeny křivky pro všechny operaci obráběcího centra Chiron DZ-15K WM. Výrobce zaručuje vysokou kvalitu signálu a jeho reprodukovatelnosti díky detekci proudu i přes zkraty, vysoké taktovací frekvence a citlivosti 0,01%.

3.2.2. TOOL MANAGEMENT SYSTEM GUHRING

Tool Management System je názvem pro systém, který je určen pro rovnoměrné organizování nástrojů v podniku a který poskytuje o nich informace. V podstatě není to pravě monitoringem opotřebení obráběcích nástroje, ale jeho pomoci poskytujeme různá data o nástrojích. Je to informace o tom, v jakém projektu byl nástroj požadován, na jakém stroje byl využit, po jaké době byl opotřebován na svou kritickou hodnotu a nebo praskl. Zpracováním dat dostaneme statistiku provozu nástrojů. Potom jsme schopni analyzovat a navrhovat lepší užití nástroje. TMS společnosti GUHRING představuje sebou skříně s digitálním ovládáním pomoci počítače, do kterých jsou umístěny nástroje. Pokud dělník potřebuje nějaký nástroj, přijde do takové skříně, zadá do systému svoje jméno a heslo, vybere si potřebný nástroj a vyjede mu boxík s požadovaným nástrojem (obr. 3.8). Jakmile bude muset kvůli něčemu nástroj vyměnit, zase dojde ke skřini a pod svým jménem provede výměnu. Přitom zadá, na jakém stroje a proč mu ten nástroj vypadl.

Obr. 3.8 Tool Management System GUHRING [13]

Společnost Continental Automotive Czech Republic spolupracuje s firmou GUHRING. V rámcích spoluprace poskytují data o přičinách zničení nástroje, které firma GUHRING zároveň vyrábí, a tím příště dostanou upravené nástroje. Tool Management System rozdělí data na logistiku Transactoin Data a do dokumentace Master Data. Zatímco logistika se zabývá plánováním poptávky, zásoby a umístění nástrojů, z dokumentace dostaneme důležitou informace používanou k optimalizaci obráběcího procesu.

4. ZÁVĚR

Monitorování opotřebení a destrukce obráběcích nástrojů je důležitou části výroby. Pomoci kontroly stavu nástroje výrobce zajistí nižší počet zmetkové produkce, zvýší spolehlivost obráběcího procesu, bude schopen jeho optimalizovat a dostane pozitivní změny v hospodárnosti výroby. Společně s rozvojem technologie obrábění neustále se vyvíjí i technologie monitorovacích systémů. Konkurenci na trhu se pořad zvyšují požadavky na kvalitu a cenu výrobků, a pro získání zákazníků by měli výrobce vždy zlepšovat celou svou výrobu.

Zavedení monitorovacích systémů je individuálním procesem pro každou firmu. Aby byli dosaženy očekávané výsledky, musejí se propočítat veškeré parametry, za kterých by ten systém fungoval správně a spolehlivě. Seřízení monitorovacích zařízení by mělo být provedeno zkušenými pracovníky. Jak bylo uvedeno v teoretické části teto práce, existují v podstatě různé metody měření opotřebení. Pracovník musí uvažovat, jak by bylo lepší měření zajistit, kde se to bude provádět, za jakých podmínek a kdo bude měřit. Takový finančně a časově náročný proces po určité době přinese více výhod pro výrobce.

V rámci své práce jsem navštívila podnik, který disponuje nejnovějšími technologiemi obrábění. Jeho zákazníky je většina automobilových značek koncernu General Motors. Oni se velice snaží uspokojit jejich potřeby, splnit požadavky, prokázat svou schopnost rychle reagovat na změny. To jsou příčiny, proč byl před časem zaveden takový systém jako WattPilote. Každý operační úsek je prvkem velkého mechanismu, který by se neměl zastavovat. Já si myslím, že monitorování opotřebení nástrojů bude se jen rozšiřovat, a pak stane neoddělitelnou částí obráběcího procesu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ

1. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. čes. vyd. Praha: Sandvik Coromant, 1997, 1 sv. 857s. ISBN 91-972299-4-6

2. KŘÍŽ, R., VÁVRA, P. *Strojírenská příručka* 7.svazek. 1.vyd. Praha : Scientia, 1996. 212s. ISBN 80-7183-024-0.

3. HUMÁR, Anton. *Výrobní technologie II* [online]. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002, 84 s.

4. SANDVIK COROMANT. *Opotřebení břitu* [online]. [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/wear_on_cutting_edges/pages/default.aspx

5. ČEP, Robert, Josef BRYCHTA, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II - 1. díl* [online]. [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77

6. PŘIKRYL, Z. - MUSILÍKOVÁ, R.: *Teorie obrábění*, SNTL Praha, 1982

7. BILÍK, O.: *Obrábění II*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1994. ISBN 80-7078-228-5

8. GIUSTI, F. - SANTOCHI , M. – TANTUSSI, G.*: On line sensing of flank and crater wear of cutting tools*, CIRP, 1/1987, pp. 41

9. GRIGORJEV S. N. *Diagnostika avtomatizirovanogo proizvodstva*. – M.: Mašinostrojenije. 2011. – 600s.

10. ŽIŽKA, J.: *Použití akustické emise ke sledování stavu řezného nástroje*. Liberec : TU Liberec, 2003. 106. s ISBN 80-7083-687-1

11. MÁDL, Jan a Ivo KVASNIČKA. *Optimalizace obráběcího procesu*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1998, 168 s.

12. *Continental Corporation: Výrobky firmy* [online]. [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: http://www.continental-corporation.com/

13. *GUHRING: Výrobky firmy* [online]. [cit. 2015-06-15]. Dostupné z: http://www.guhring.com/Documents/Catalog/Vending/TMVending.pdf

14. CHO, Hyung Suck. *Opto-mechatronic systems handbook: techniques and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2003, 1 v. ISBN 0849311624.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Formy opotřebení a jejich značení 9

Obrázek 2.2 Opotřebení hřbetu břitu 10

Obrázek 2.3 Opotřebení ve tvaru žlábku na čele břitu 10

Obrázek 2.4 Plastická deformace břitu 11

Obrázek 2.5 Opotřebení ve tvaru vrubu 11

Obrázek 2.6 Hřebenovité trhliny na ostří 11

Obrázek 2.7 Únavový lom 12

Obrázek 2.8 Vydrolování ostří 12

Obrázek 2.9 Lom břitu nástroje 12

Obrázek 2.10 Tvoření nárůstku 13

Obrázek 2.11 Abrazivní opotřebení 13

Obrázek 2.12 Adhezní opotřebení 14

Obrázek 2.13 Křehký lom 14

Obrázek 2.14 Plastická deformace 15

Obrázek 2.15 Schéma měření stínovou metodou 18

Obrázek 2.16 Světelný obraz opotřebení 18

Obrázek 2.17 Měření opotřebení na hřbetě 18

Obrázek 2.18 Princip měření pneumatickou metodou 19

Obrázek 2.19 Schéma měření mezery mezi obrobkem a nástroje elektrickým způsobem 21

Obrázek 2.20 Schéma ultrazvukového měření mezery 21

Obrázek 2.21 Měření mezery pomoci laserového paprsku 21

Obrázek 2.22 Schéma měření signálu AE 22

Obrázek 2.23 Technické přičiny nevyužití pracovního času 23

Obrázek 2.24 Rozdělení nákladů při výrobě 28

Obrázek 3.1 Výrobky společnosti Continental Automotive Czech Republic, s.r.o. 29

Obrázek 3.2 Část dieselového čerpadla 29

Obrázek 3.3 Pohled ve řezu 30

Obrázek 3.4 Schéma zapojení WattPilote Dual 2x16kW *31*

Obrázek 3.5 Graf nezpracovaného signálu *32*

Obrázek 3.6 Zkorigovaný signál *32*

Obrázek 3.7 Zkorigované křivky při 6 normálních cyklech obrábění *33*

Obrázek 3.8 Tool Management System GUHRING *34*