

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 454

ISSN 1213-4198

thesis IS

Ing. Petra Cihlářová

**Zvyšování řezivosti
rychlořezných nástrojových ocelí
na bázi PVD povlakování
a použití moderních řezných kapalin**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Ing. Petra Cihlářová

**ZVYŠOVÁNÍ ŘEZIVOSTI RYCHLOŘEZNÝCH
NÁSTROJOVÝCH OCELÍ NA BÁZI PVD POVLAKOVÁNÍ
A POUŽITÍ MODERNÍCH ŘEZNÝCH KAPALIN**

**CUTTING PERFORMANCE OF HIGH SPEED STEELS WITH PVD
COATINGS AND USE OF MODERN CUTTING FLUIDS**

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Strojírenská technologie
Školitel: doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Oponenti: prof. Ing. Jan Suchánek, CSc.
doc. Ing. Ivan Baránek, CSc.
doc. Ing. Peter Šugár, CSc.
Datum obhajoby: 19. 9. 2007

Klíčová slova

HSS, PVD, vrtání, frézování, povlakování, procesní kapaliny

Key Words

HSS, PVD, drilling, milling, coating, cooling fluids

Místo uložení originálu disertační práce

Knihovna FSI VUT v Brně

OBSAH

ÚVOD.....	5
1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	6
1.1 Popis rychlořezných ocelí jako substrátového materiálu pro řezné nástroje	6
1.2 Povlakování HSS nástrojů metodami PVD	6
1.3 Moderní procesní kapaliny pro obrábění – rozbor, aplikace	7
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	9
3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ.....	10
3.1 Návrh metodiky hodnocení řezivosti vrtáků pomocí silové analýzy a měrné energie vrtání	10
3.2 Návrh metodiky hodnocení řezivosti fréz pomocí silové analýzy frézování.....	11
4 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE	14
4.1 Experimentální ověření metodiky hodnocení řezivosti vrtáků pomocí silové analýzy a měrné energie vrtání.....	15
4.1.1 Analýza HSS šroubovitých vrtáků od firmy Z	15
4.1.2 Analýza HSS šroubovitých vrtáků od firmy G.....	16
4.1.3 Analýza HSS povlakovaných šroubovitých vrtáků na hliníkové slitině.....	16
4.1.4 Analýza řezných kapalin na zušlechtnuté oceli a hliníkové slitině.....	17
4.2 Experimentální ověření metodiky hodnocení řezivosti fréz pomocí silové analýzy frézování	17
4.2.1 Analýza válcových čelních HSS fréz a HSS fréz pro drážky od firmy Z.....	17
4.2.2 Analýza fréz válcových čelních vrtací zkouškou	18
4.2.3 Analýza válcových čelních HSS fréz vyráběné práškovou metalurgií od firmy Z..	18
4.2.4 Analýza řezných kapalin na zušlechtnuté oceli a hliníkové slitině.....	19
ZÁVĚRY	20
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	23
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	25
AUTOROVO CV	27
ABSTRAKT	28
SEZNAM VLASTNÍCH PRACÍ VZTAHUJÍCÍCH SE K TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE	29

ÚVOD

V dnešní době existuje poměrně široký sortiment řezných materiálů, tj. nástrojových ocelí, rychlořezných ocelí, slinutých karbidů až po kubický nitrid boru a syntetický diamant, přesto rychlořezné oceli stále zaujímají důležité místo mezi materiály, které se používají na výrobu nástrojů nejen pro obrábění. Nástroje z rychlořezné oceli (HSS) se používají ve strojírenské praxi po dobu více než sto let. Relativně široký sortiment ocelí s dobře prostudovanými vlastnostmi umožňuje výběr vhodné oceli pro daný účel použití, kterým jsou zejména tvarové nástroje.(2, 3, 7)

Pokrok v technologii výroby oceli v posledním období umožnil zvýšení užitečných vlastností jednotlivých typů, protože se zvýšila čistota, homogenita a snížil se rozptyl vlastností. K dalšímu zlepšení užitečných vlastností a výkonnosti nástrojů přispívají nové technologie:

- výroby nástrojů – ESU, tj. elektrostruskově přetavená ocel se zdokonalenou technologií vlastního přetavovacího procesu (28), prášková metalurgie, atd.,
- tepelného zpracování - vakuové, kryogenní, chemicko-tepelné zpracování, atd.,
- povrchových úprav - tenké vrstvy: PVD technologie (fyzikální napařování), plazmová nitridace, atd.(14)

HSS patří mezi vysocelegované materiály, které se používají v mnoha aplikacích, kde se vyžaduje vysoká odolnost proti opotřebení.(26) V podstatě lze tyto materiály považovat za kompozitní. Sestávají z velkých karbidů primárních (o velikosti 1 μm až 10 μm), které jsou dispergovány v martenzitické matici obsahující mnohem jemnější disperzi malých karbidů sekundárních (o velikosti v průměru menších než 100 nm). Primární karbidy jsou tvořeny převážně karbidy typu MC, M₆C, které jsou tvrdší než tato matrice (1500 HV až 2800 HV) a zlepšují odolnost oceli proti abrazivnímu otěru, pokud tvoří velký podíl těchto materiálů.(5)

Zvyšování životnosti nástrojů je důležité, ale z ekonomického hlediska je prioritní zvyšovat produktivitu obrábění a snižovat náklady na chlazení včetně likvidace použitých řezných kapalin.(8) Je nepochybné, že HSS budou mít i nadále významné postavení při výrobě řezných, tvářecích a ostatních nástrojů ve strojírenství a dalších odvětvích průmyslu. Dnes představují asi podíl 30% ze všech nástrojových materiálů na trhu.(2, 3, 7)

1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

1.1 POPIS RYCHLOŘEZNÝCH OCELÍ JAKO SUBSTRÁTOVÉHO MATERIÁLU PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE

Dějiny vývoje člověka jsou úzce spjaty s materiály, které člověk hojně využíval (doba kamenná, doba bronzová, doba železná). Zvláštní místo v nich zauímají oceli, které patří historicky k posledním materiálům, ale z pohledu průmyslové revoluce, zvýšení produktivity práce i životní úrovně je jejich význam přímo strategický. Zvláštní místo v rámci této skupiny materiálů zauímají tzv. nástrojové oceli, které se používali pro obrábění prakticky všech technických materiálů včetně samotných ocelí. V minulosti vznikla celá řada badatelských prací pro zvýšení jejich výkonnosti, která byla konce 19. století velmi nízká. V roce 1868 R.F. Mushet navrhl ocel o složení 2% C, 7% W a 2,5% Mn, která se považuje za předchůdce HSS. V roce 1900 navrhli F. W. Taylor a M. White ocel o chemickém složení 1,85% C, 8% W, 7,8% Cr, 0,3% Mn, které bylo později upraveno na 0,7% C, 19% W, 5,5% Cr, 0,3% V. Ke zvýšení teplotní stálosti přispěl však objev J. A. Mathewse, který zvýšil přísadu vanadu na 1%. Ocel byla označena jako 18/4/1 nebo 18/1 a byla dlouho považována za základní typ HSS.(3, 7, 20) HSS patří do skupiny vysokolegovaných nástrojových ocelí. Mohou se dělit podle chemického složení, použití, technologie výroby a stavu povrchu řezného nástroje. Používají ve stavu litém, tvářeném nebo lisovaném z prášků za tepla (využívající technologie *Hot Isostatic Pressing – HIP*, *Anti-Segregation Process – ASP*, atd.).(6, 13, 17) Řezivost a mechanické vlastnosti získávají HSS kalením a popouštěním, ke zlepšení obrobitelnosti se žihají naměkko. HSS se kalí z teplot 1200 až 1280 °C. Popouští se na sekundární tvrdost při teplotě okolo 560 °C.(7, 25)

1.2 POVLA KOVÁNÍ HSS NÁSTROJŮ METODAMI PVD

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition = fyzikální napařování) byla původně vyvinuta pro povlakování nástrojů z HSS. Je charakteristická nízkými pracovními teplotami (podle některých údajů pod 600 °C, 350 °C nebo dokonce 180 °C). Vytváří tlaková zbytková napětí v povlaku, nemá nepříznivý vliv na vlastnosti podkladu a je schopna povlakovat i ostré hrany, na druhé straně vyžaduje mnohem důkladnější přípravu povrchu vzorku před povlakováním (odmašťování, čištění) a má směrový účinek (plochy, které jsou odvrácené od místa odpařování povlakového kovu, by bez neustálého pohybu vzorku zůstaly zcela bez povlaku). K dalším nevýhodám patří tenčí vrstva povlaku (kolem 5 μm) a menší možnosti výběru typu povlaku.(12)

Povlak je nejčastěji vytvářen:

- napařováním - přímé, reaktivní, aktivované reaktivní, s asistencí iontového paprsku,
- napařováním - doutnavý výboj (stejnoseměrná nebo RF dioda, trioda, magnetron), iontový paprsek (jediný, dvojitý),

- iontovou implantací - doutnavý výboj (stejnoseměrná nebo RF dioda, trioda, výboj v duté katodě, naprašování), iontový paprsek (přímý iontový paprsek, iontový paprsek, skupinový iontový paprsek).(10-12, 18)

Základní vlastnosti PVD povlaků jsou:

- povrchová vrstva nanesená metodou PVD má obvykle tloušťku 3 μm až 5 μm ,
- povlak způsobuje vysoké tlakové napětí v povrchové vrstvě, což je velice výhodné zvláště při obrábění s přerušovaným řezem,
- velmi malé tahové napětí se nachází v horní podkladové vrstvě,
- možnost povlakovat složité tvary,
- nanášení PVD minimálně ovlivňuje podkladový materiál díky svému vzniku při relativně nízkých teplotách,
- povlak je schopen tvořit ostré břitové hrany,
- je možné povlakovat i nástroje pájené,
- nízký koeficient tření a zvýšená odolnost proti opotřebení (tvrdost povlaku je důležitá pro schopnost odolávat vnikání částic do povrchu).

Výhody použití povlakovaných nástrojů jsou v menší spotřebě chladicí kapaliny (v některých případech se chlazení nepoužívá vůbec), zlepšení řezných podmínek, zvýšené trvanlivosti ostří nástroje, řezivosti nástroje a přesnosti obrábění.(19)

Pomocí laboratorních metod lze poměrně spolehlivě určit optimální řezné podmínky a naopak, pro danou řeznou aplikaci nastavit optimální vlastnosti povlaků. Jedná se např. o měření chemického složení povlaku, tloušťky povlaku, adheze povlaku, tvrdosti (mikrotvrdosti) povlaku, otěru povlaku, drsnosti povlaku, kluzných vlastností povlaku, odolnosti vůči oxidaci, chemické a tepelné stability, mikrostrukturní analýza a fázové složení povlaku. Je nezbytné, aby firmy zabývající se přípravou a vývojem otěruvzdorných vrstev měřily a vyhodnocovaly vlastnosti povlaků. K takovým analýzám je zapotřebí dobře vybavená laboratoř a trvalá spolupráce s výzkumnými pracovišti, a to nejen tuzemskými.(27)

Při posuzování různých vlivů technologií výroby řezných i jiných nástrojů se často soustřeďuje pozornost pouze na nejznámější parametry (materiál a geometrie nástroje, metoda povlakování, typ povlaku a podmínky aplikací). Opomíjené zůstávají vlivy různých mezioperačních úprav nástrojů (výběr materiálu nástroje, vybroušení nástroje), případně vedlejší vlivy samotných technologií výroby nástrojů (povlakování nástrojů, úpravy nástrojů před povlakováním, čištění nástrojů v průběhu samotných PVD procesů).(1, 9)

1.3 MODERNÍ PROCESNÍ KAPALINY PRO OBRÁBĚNÍ – ROZBOR, APLIKACE

Vhodným řezným prostředím lze obvykle zvýšit hospodárný úběr o 50 % až 200 % v porovnání s prací za sucha, prodloužit trvanlivost a životnost řezných nástrojů, zvýšit kvalitu obrobenej plochy. Výběr procesní kapaliny a její

aplikace ovlivňuje mechanismus utváření třísky, produktivitu obrábění, náklady na obrábění. Správnou aplikací procesní kapaliny lze zvýšit řeznou rychlost, posuv i větší hloubku řezu. Účinnost kapaliny se však projevuje v lepší drsnosti obrobeného povrchu, rozměrové přesnosti, poklesu celkově spotřebované elektrické energie, snížení hlučnosti obrábění, spotřebě řezných nástrojů a fyzickém opotřebením obráběcích strojů. Řezné prostředí vytváří nejčastěji kapaliny, procesní pasty, olejová mlha nebo plyn. Základní funkce procesních kapalin:

- chladicí (odvod tepla z místa řezu, stabilizaci nízkých teplot řezání),
- mazací (ovlivňuje třecí poměry na rozhraní nástroj-obrobený materiál-tříska, velikost stykových ploch),
- čistící (např. výplach třísek u hlubokého vrtání),
- má vliv na potlačení tvorby nárůstků na nástroji,
- ochrana obrobků před korozi,
- snížení vibrací stroje.

Způsob přívodu procesní kapaliny do zóny řezání významně ovlivňuje parametry řezného procesu, zejména trvanlivost břitů nástroje a jakost obrobené plochy. Rozlišujeme několik způsobů přívodu procesní kapaliny do místa řezu, tj. standardní chlazení, tlakové chlazení, vnitřní chlazení.(4, 6, 12, 15, 16, 21, 22)

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Obecným cílem disertační práce je kvantifikace přínosů různých druhů velmi tvrdých povlaků, aplikovaných na rychlořezných ocelích (šroubovitých vrtácích, stopkových frézách) s ohledem na vybrané procesní kapaliny. Jako základní testovací kritérium bylo zvoleno měření silového (momentového) zatížení řezných nástrojů ve formě časových řad. Dále byly sledovány odvozené specifické veličiny, které popisují časový rozvoj opotřebení bez potřeby přerušování experimentů. Experimentální zkoušky a jejich analýza byla dále doplněna studiem morfologie opotřebení s pomocí makroskopických fotografií a analýz obrazů v digitálním tvaru, dále světelné a elektronové mikroskopie i dalších materiálových analýz.

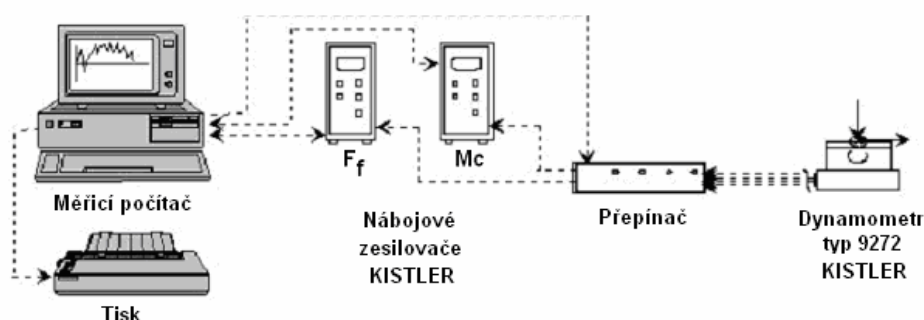
Tato práce je zaměřena převážně na dosažení těchto dílčích cílů:

- teoretického rozboru současného stavu nástrojů, vyráběných z rychlořezných ocelí,
- analýzu možností zvyšování řezivosti nástrojů soudobými metodami povlakování velmi tvrdými a tribologickými vrstvami na bázi PVD metod,
- rozbor možností aplikace procesních kapalin s kvantifikací účinků na řezivost nástrojů,
- studium možností nepřímého měření časového rozvoje opotřebení nástrojů s využitím měření silového namáhání obrobku (nástroje), analýzu průvodních jevů obrábění - měrných veličin řezání, studium mechanismů a morfologie opotřebení nástrojů (včetně statistické analýzy vybraných veličin).

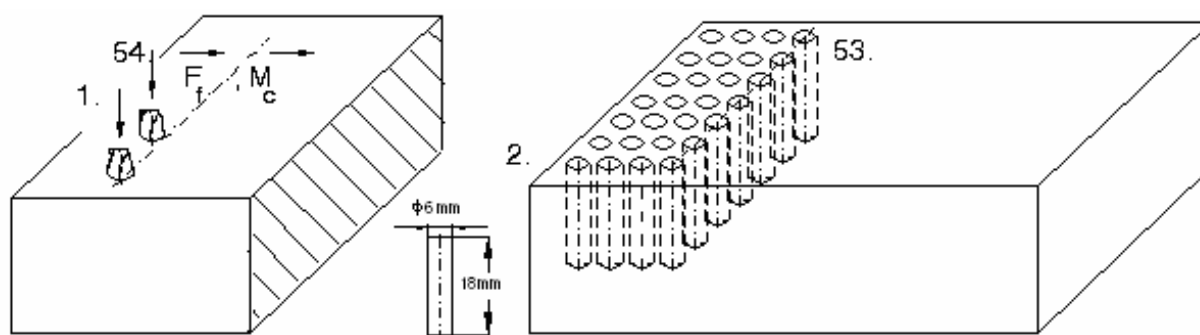
3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

3.1 NÁVRH METODIKY HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI VRTÁKŮ POMOCÍ SILOVÉ ANALÝZY A MĚRNÉ ENERGIE VRTÁNÍ

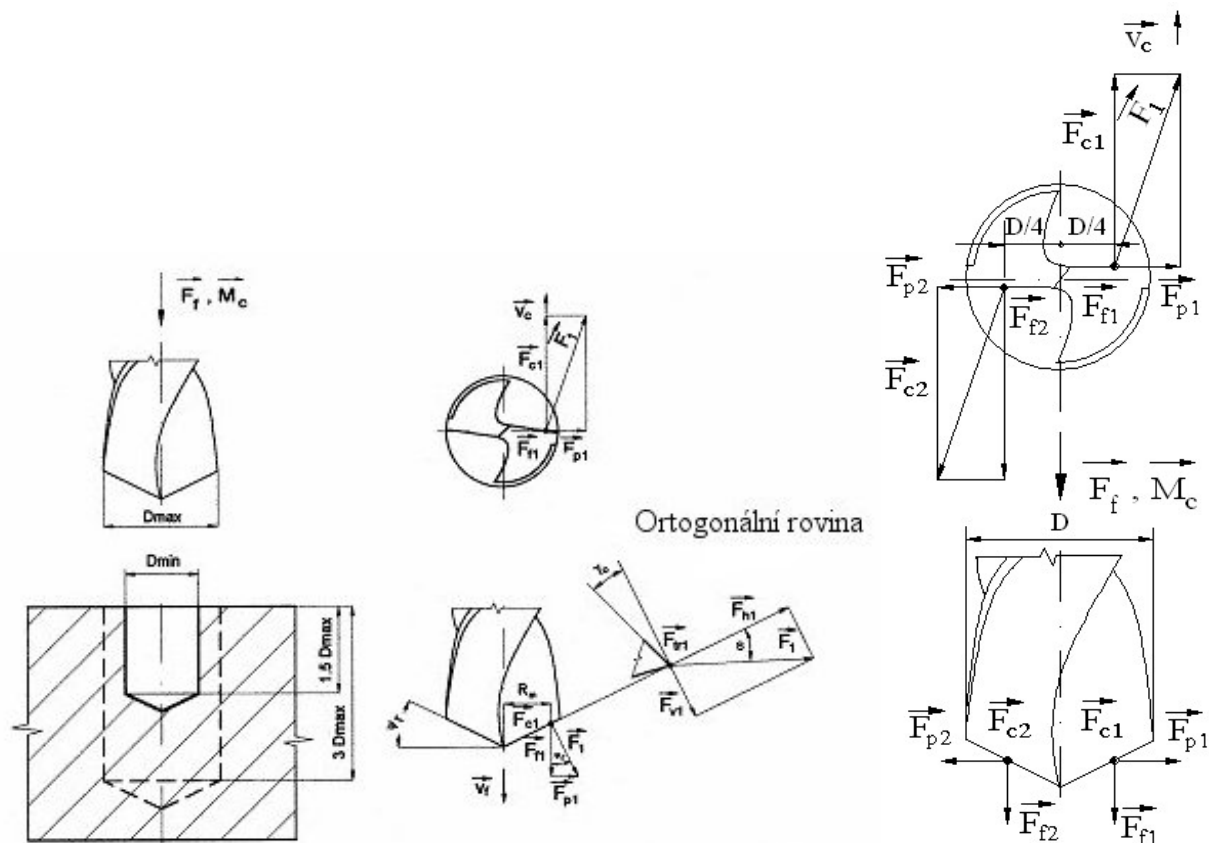
Pro kvantifikaci řezné, pasivní a posuvové síly byl použit piezoelektrický křemíkový dynamometr KISTLER 9272 vybavený nábojovými zesilovači KISTLER 9011A, plně řízenými PC, obr. 3.1. Vzorkovací frekvence byla přibližně 50 Hz, na zesilovačích byla nastavena dlouhá časová vybíjecí konstanta a dolnoproputný filtr na hladině 30 Hz. Základní měření bylo soustředěno na snímání síly posuvu F_f a krouticího momentu M_c , obr. 3.3. Vlastní testování proběhlo na dvou testovaných částech materiálů, upnutých do strojních svěráků. Přičemž jeden je napojen na dynamometr Kistler a druhý je používán pro dávkové obrábění 53 děr bez měření, obr. 3.2. Tímto uspořádáním lze eliminovat vliv heterogenity materiálu, neboť prakticky všechny měřené díry pro celou sérii vrtáků leží v těsné blízkosti jednoho kusu. K matematickému zpracování naměřených dat bylo použito vlastních programů Visual Basic verze 6.0, Statgraphics verze 5, Excel 2000 a dalších.



Obr. 3.1 Schéma měření pomocí piezoelektrické soustavy KISTLER



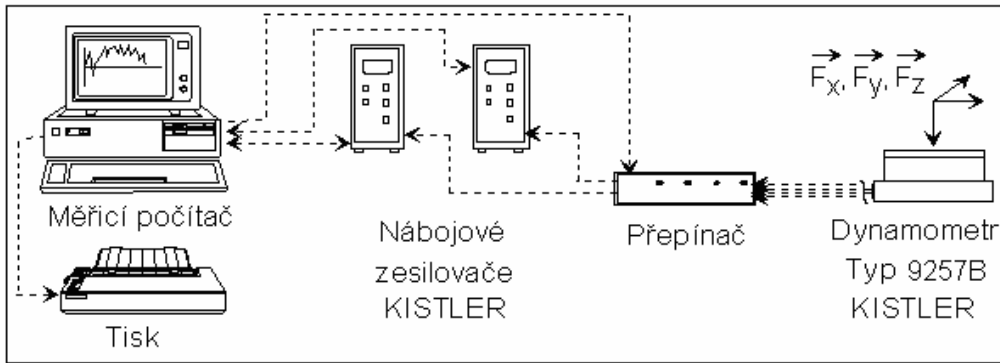
Obr. 3.2 Schéma měření na obráběném materiálu



Obr. 3.3 Analýza silového působení při vrtání a vyvrtání (24)

3.2 NÁVRH METODIKY HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI FRÉZ POMOCÍ SILOVÉ ANALÝZY FRÉZOVÁNÍ

Pro kvantifikaci řezné, pasivní a posuvové síly byl použit piezoelektrický křemíkový dynamometr KISTLER 9257B vybavený nábojovými zesilovači KISTLER 9011A, plně řízenými PC, obr. 3.4. Vzorkovací frekvence byla přibližně 50 Hz, na zesilovačích byla nastavena dlouhá časová vybijecí konstanta a dolnoproustný filtr na hladině 30 Hz. Základní měření bylo soustředěno na snímání složek, působících ve směru os stroje x a y - F_{xm} a F_{ym} , ze kterých byla počítána celková síla F_1 , působící na frézu (osová složka F_{zm} byla zanedbána, neboť byla poměrně nízká – menší než 5% celkové síly), obr. 3.5. K tomuto účelu bylo použito několik numerických programů, třídících a integrujících data k dalšímu statistickému zpracování. K matematickému zpracování naměřených dat bylo použito vlastních programů Visual Basic verze 6.0, Statgraphics verze 5, Excel 2000 a dalších.



Obr. 3.4 Schéma měření pomocí piezoelektrické soustavy KISTLER

Snímané okamžité hodnoty ortogonálních silových složek měřicí soustavy KISTLER v datovém souboru lze označit jako F_{xMi} , F_{yMi} , F_{zMi} , kde $i = \{1, \dots, n\}$, přičemž výslednice těchto silových složek má v daném okamžiku stejnou velikost pro souřadný systém zvoleného měřicího zařízení i souřadný systém podle technologické konvence ČSN ISO 3002:

$$F_{1i} = \sqrt{F_{xMi}^2 + F_{yMi}^2 + F_{zMi}^2} = \sqrt{F_{c1i}^2 + F_{f1i}^2 + F_{p1i}^2} \quad (3.1)$$

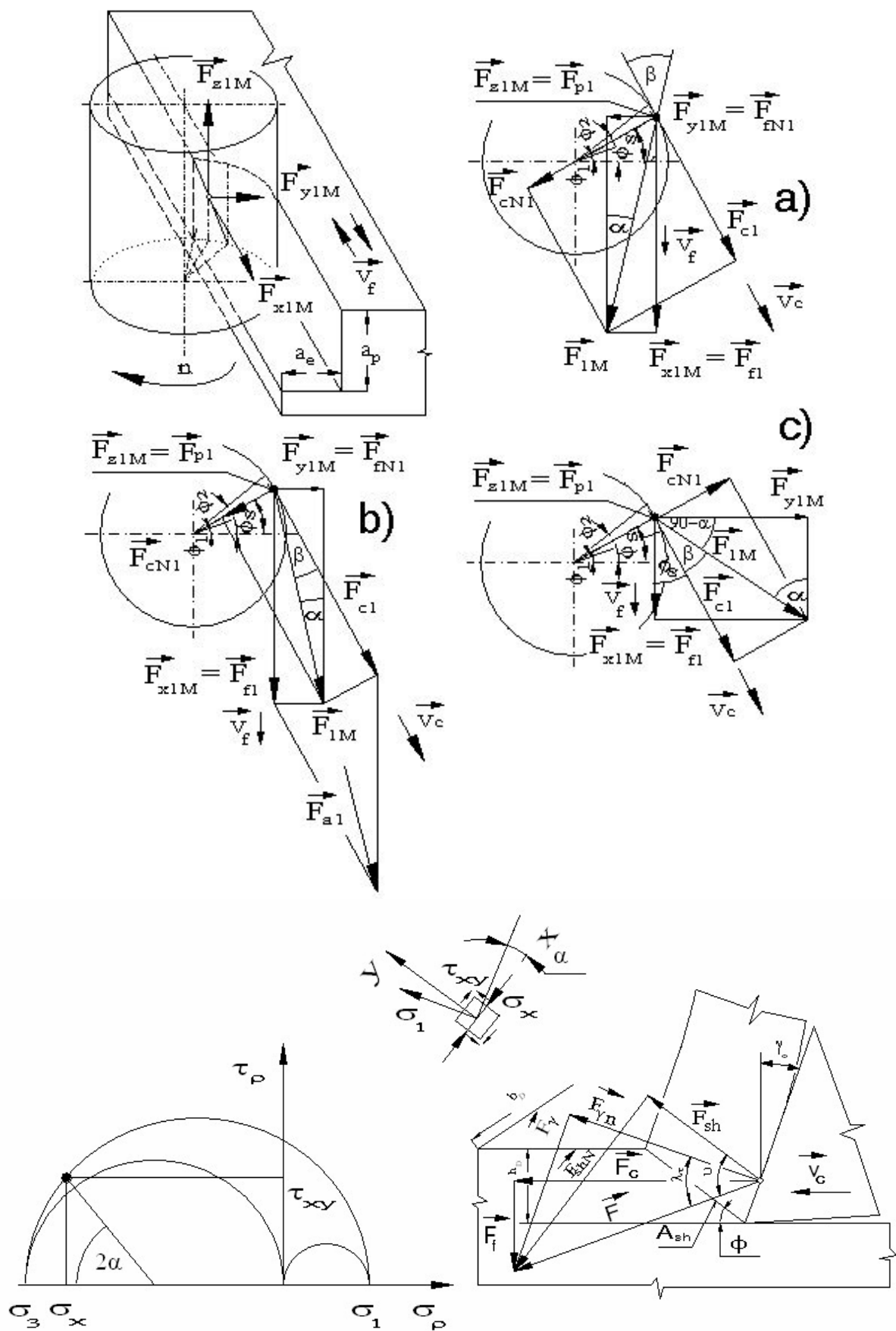
Vzhledem k tomu, že je velmi obtížné synchronizovat čas měření se skutečným úhlem natočení frézy při reálném frézování, bylo dohodnuto vyhodnocovat měření pro maximální hodnotu síly na jednom zubu v záběru F_1 , odpovídající maximálnímu průřezu třísky. Celkový soubor s N daty v každé složce byl proto po oddělení počáteční a koncové části měření rozdělen na j dílčích intervalů, zahrnujících v každém intervalu a každé složce p hodnot a pro tyto dílčí intervaly byla hledána lokální maxima celkové síly podle vztahu:

$$F_{1j} = \max \left\{ \sqrt{F_{x1Mi}^2 + F_{y1Mi}^2 + F_{z1Mi}^2} \right\} | i \in \langle 1; p \rangle, j \in \langle 1; N/p \rangle \quad (3.2)$$

a pro tyto vybrané hodnoty v jednotlivých intervalech pak byl stanoven aritmetický průměr

$$\bar{F}_{1j} = \frac{p}{N} \sum_{j=1}^{N/p} F_{1j} \quad (3.3)$$

i další obvyklé statistické parametry. Hodnota p byla stanovena tak, aby vytvořená křivka z vybraných hodnot tvořila obalovou křivku ke všem naměřeným hodnotám a tudíž odpovídala i měřením sil v okamžiku dosažení maximálního průřezu třísek.



Obr. 3.5 Silový rozklad při sousledném frézování v průběhu opotřebení frézy
(Pozn.: a) na počátku frézování je fréza v důsledku pozitivních úhlů čela vtahována do řezu,
c) na konci frézování, kdy je zcela opotřebovaná, se od obrobeneho povrchu výrazně odtláčuje) (23)

4 HLAVNÍ VÝSLEDKY PRÁCE

Obráběcí stroj

K experimentálním zkouškám byla použita konzolová vertikální frézka FV 25 CNC, s řídicím systémem Heidenhain 315 TNC, výrobce O.S.O., spol. s r.o., Olomouc.

Řezný nástroj

Pro experimentální zkoušky (vrtání i frézování) byly použity nástroje výrobců jejichž jména jsou z konkurenčních důvodů záměrně neuvedena. Testované nástroje byly u daných výrobců proměřeny a výrobce zaručuje, že nástroje odpovídají normám DIN. Výběr nástrojů pro testování byl proveden výrobcem a odpovídá výběru jednoho ze sta vyrobených kusů ve výrobě. Testované nástroje byly HSS šroubovitě vrtáky, nepovlakované a povlakované PVD metodou s různými povlaky (např. TiN, TiCN, TiAlN, TiAlN(multivrstvy), TiN+MoS₂, PLC) a frézy válcové čelní a frézy pro drážky, nepovlakované a povlakované PVD metodou s různými povlaky (např. TiCN, AlTiN).

Materiály rezných nástrojů byly běžné HSS, HSS Co5, HSSCo8 a HSSE-PM.

Obráběný materiál

Obráběným materiálem pro hodnocení řezivosti vrtáků byly různé oceli a slitiny:

- zušlechtěná nízkolegovaná Cr-Mn konstrukční ocel ČSN 41 5241.6 ($R_m=900$ MPa),
- ušlechtilá uhlíková ocel ČSN 41 2050.1,
- hliníková slitina EN AC-Al Si9Cu3(Fe),
- nízkolegovaná konstrukční Cr-Mn ocel ČSN 41 5260.1.

Obráběným materiálem pro hodnocení řezivosti fréz byly různé oceli a slitiny:

- zušlechtěná nízkolegovaná Cr-Mn konstrukční ocel ČSN 41 5241.9 ($R_m=1100$ MPa),
- konstrukční ocel ČSN 41 1600, tvářená za studena (polotovar ČSN 42 6510), ($R_m=600$ MPa),
- nízkolegovaná konstrukční Cr-Mn ocel ČSN 41 5260.1 ($R_m=1020$ MPa),
- hliníková slitina EN AC-Al Si9Cu3(Fe).

Řezné podmínky

Řezné podmínky byly stanoveny podle předběžných zkušeností.

Procesní kapalina

Pro experimentální zkoušky byly použity:
polosyntetická emulze CIMSTAR 560-5% firmy CIMCOOL Europe B.V.
s intenzitou chlazení 3,5 l/min až 4,0 l/min nebo

- procesní kapalina firmy CIMCOOL EUROPE označená CIMPERIAL HD 812 - 5% s průtokem 10 l/min.

Skutečná koncentrace testovaných kapalin byla kontrolována měřením pomocí ručního refraktometru.

Pro analýzu řezných kapalin byly použita syntetická procesní kapalina a procesní kapaliny na bázi minerálních olejů směšovatelné s vodou. Produkty neobsahovaly štěpné nitrátové produkty, bór, dietanolamin, formaldehyd, těžké kovy, sekundární aminy, dietanolamin, arzén, silikon, dioxin, NDELA, polychlorované bifenyly (PCB, PCT), TCDD, chlorované EP přísady, aktivní chlór a jiné halogeny. Přesné označení procesních kapalin jsou záměrně neuvedena z konkurenčních důvodů.

Upnutí řezných nástrojů

Pro upnutí šroubových vrtáků bylo použito tříčelist'ové sklíčidlo ČSN 24 1320, hydraulický upínač Röhms SK 6x40 a kleštinový upínač Pilana MCT ČSN 22 0432 (DIN 1835-B).

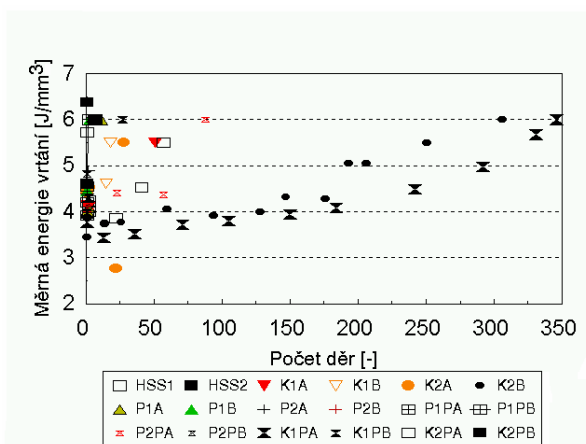
Pro upnutí fréz bylo použito upínací pouzdro 40x20-63 ČSN 22 0432 (DIN 1835-B) a hydraulický upínací trn Röhms SK 10x40.

Během všech experimentů nebylo pozorováno povolání upnutí nástrojů.

4.1 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ METODIKY HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI VRTÁKŮ POMOCÍ SILOVÉ ANALÝZY A MĚRNÉ ENERGIE VRTÁNÍ

4.1.1 Analýza HSS šroubových vrtáků od firmy Z

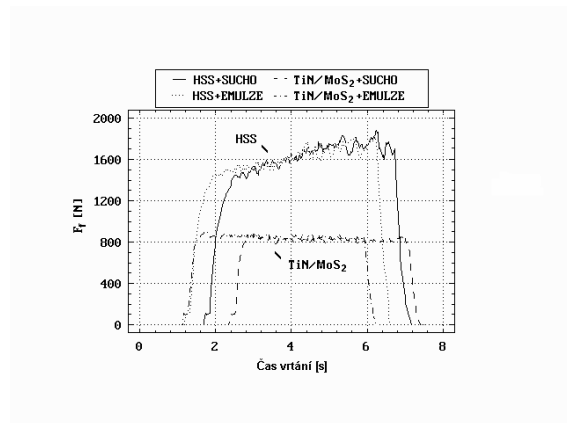
V průběhu prvních řezných zkoušek testované HSS šroubovitě vrtáky nevykazovaly dlouhou trvanlivost, obr. 4.1. Z provedených experimentů nebylo zřejmé, zda měrná energie vrtání byla vhodně zvolena pro analýzu řezivosti šroubových vrtáků, proto byly provedeny další zkoušky.



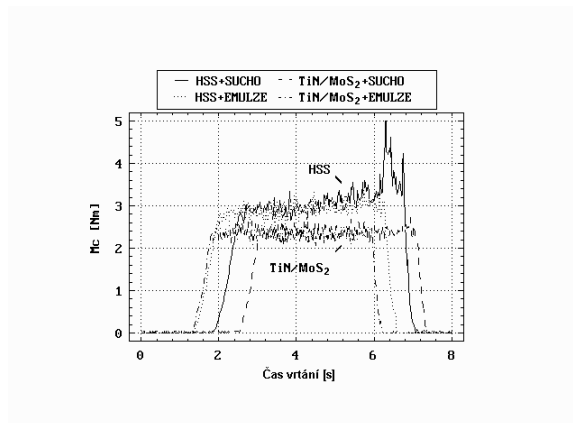
Obr. 4.1 Souhrnný přehled výsledků testování vrtáků z prvních řezných zkoušek

4.1.2 Analýza HSS šroubových vrtáků od firmy G

Všechny testované povlaky prokázaly příznivý vliv na vrtání a vyšší účinek na snížení zátěže šroubovitěho vrtáku než chladicí emulze. Pro dané podmínky vrtání bylo dosaženo nejvyššího přínosu u povlaku TiN+MoS₂, obr. 4.2. a obr. 4.3.



Obr. 4.2 Časový průběh posuvové síly HSS vrtáku nepovlakovaného a s povlakem TiN+MoS₂; bez chlazení a s chlazením

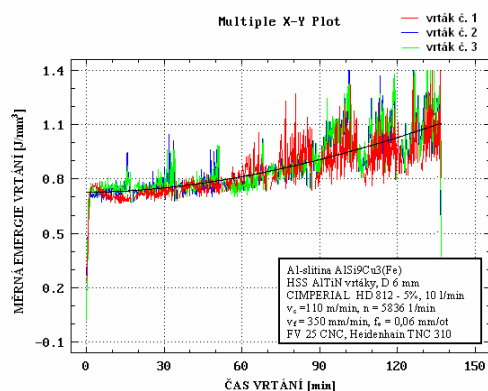


Obr. 4.3 Časový průběh krouticího momentu HSS vrtáku nepovlakovaného a s povlakem TiN+MoS₂; bez chlazení a s chlazením

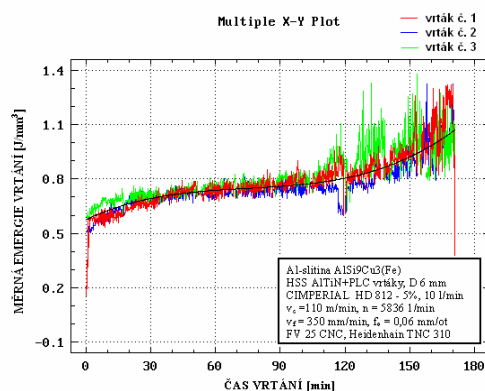
4.1.3 Analýza HSS povlakovaných šroubových vrtáků na hliníkové slitině

Analýza HSS povlakovaných šroubových vrtáků na hliníkové slitině

Následující zkoušky šroubových vrtáků prokázali, že lze řezivost pomocí měrné energie vrtání (e_c) porovnávat, obr. 4.4. Veličiny, které ji ovlivňují jsou posuvová síla F_f , krouticí moment M_c , posuv f a průměr nástroje d .



a



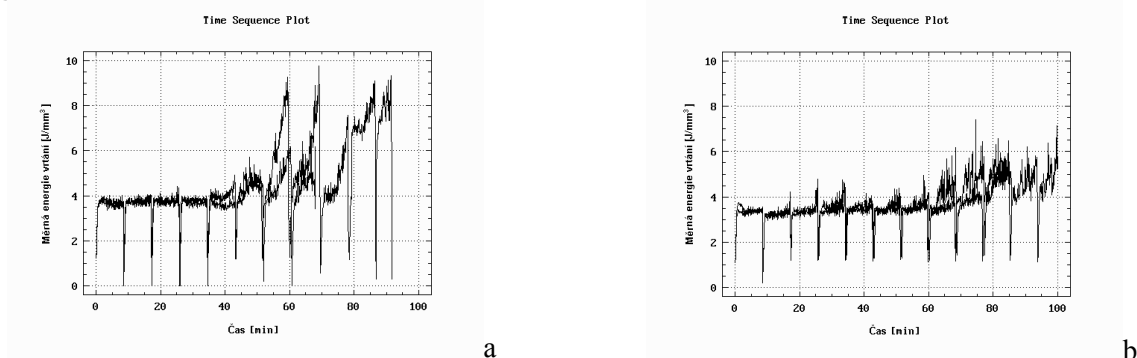
b

Obr. 4.4 Časové řady průběhu měrné energie vrtání pro nástroje s regresními křivkami a) s povlakem AlTiN, b) s povlakem AlTiN+PLC

$$e_c \cong \left(\frac{8 \cdot M_c}{f} + 0,0012732 \cdot F_f \right) \cdot \frac{1}{d^2} \quad (4.1)$$

4.1.4 Analýza řezných kapalin na zušlechtěné oceli a hliníkové slitině

U provedených analýz řezných kapalin na zušlechtěné oceli (ČSN 41 5260.1) a hliníkové slitině (EN AC-A1 Si9Cu3(Fe)) bylo taktéž ověřeno použití měrné energie vrtání, obr. 4.5.

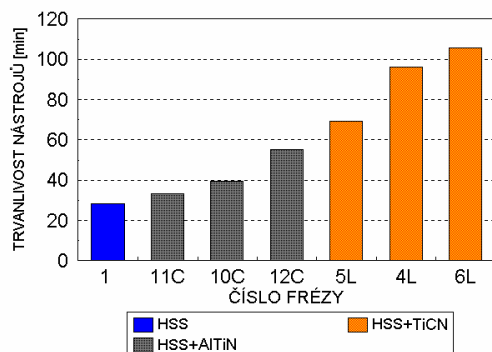


Obr. 4.5 Průběh závislosti měrné energie vrtání na čase při použití chladicí kapaliny C
a) HSS, b) HSS+AlTiN

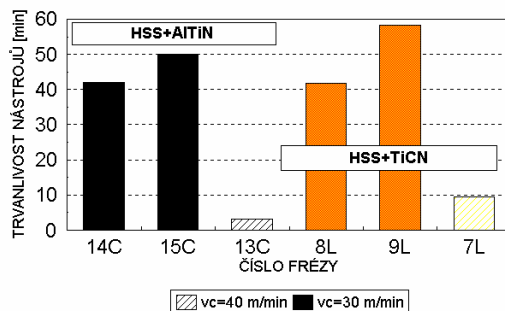
4.2 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ METODIKY HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI FRÉZ POMOCÍ SILOVÉ ANALÝZY FRÉZOVÁNÍ

4.2.1 Analýza válcových čelních HSS fréz a HSS fréz pro drážky od firmy Z

Z průběhu experimentálních zkoušek vyplynula doporučená řezná rychlost pro nepovlakované frézy 30 m/min a dosažené trvanlivosti viz obr. 4.6 a obr. 4.7.



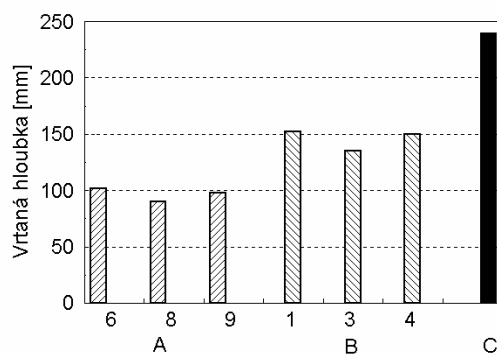
Obr. 4.6 Grafické znázornění dosažených hodnot trvanlivostí pro jednotlivé řezné nástroje



Obr. 4.7 Grafické znázornění dosažených hodnot trvanlivostí pro jednotlivé řezné nástroje

4.2.2 Analýza fréz válcových čelních vrtací zkouškou

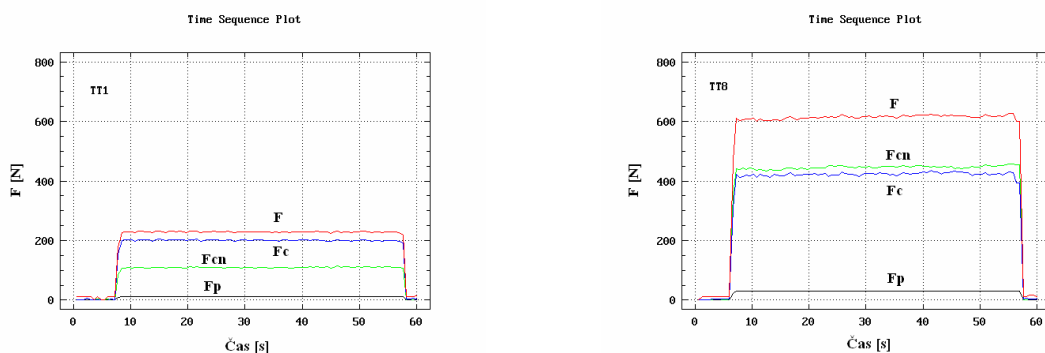
U fréz se symetrickým výbrusem čela byl pozorován vznik nárůstků ve středové oblasti frézy, který měl za následek vznik neobrobeného kulovitého vrchlíku. Frézy s tvarovým výbrusem čela lépe odváděly třísky a nedocházelo k jejich středovému adheznímu zanášení. Za optimální geometrii čelního výbrusu lze považovat frézy s asymetrickým výbrusem, u které byla dosažena největší odfrézovaná hloubka, tj. 240 děr, obr. 4.8.



Obr. 4.8 Dosažené hloubky odvrtání jednotlivými frézami

4.2.3 Analýza válcových čelních HSS fréz vyráběné práškovou metalurgií od firmy Z

Z rozboru tabulek a grafů vyplynulo, že ačkoliv frézy vykazovaly na začátku obrábění určitý rozptyl v naměřených středních hodnotách silového zatížení F_c (i F_1), pak na konci frézování (při vyčerpání řezivosti frézy) byly dosaženy tyto hodnoty zatížení fréz prakticky bez rozdílu (spolehlivost 95%), obr. 4.9. Dosažené hodnoty trvanlivostí, podle provedených experimentů, prokázaly více než 100% rozdíl mezi sledovanými druhy nástrojů.



a

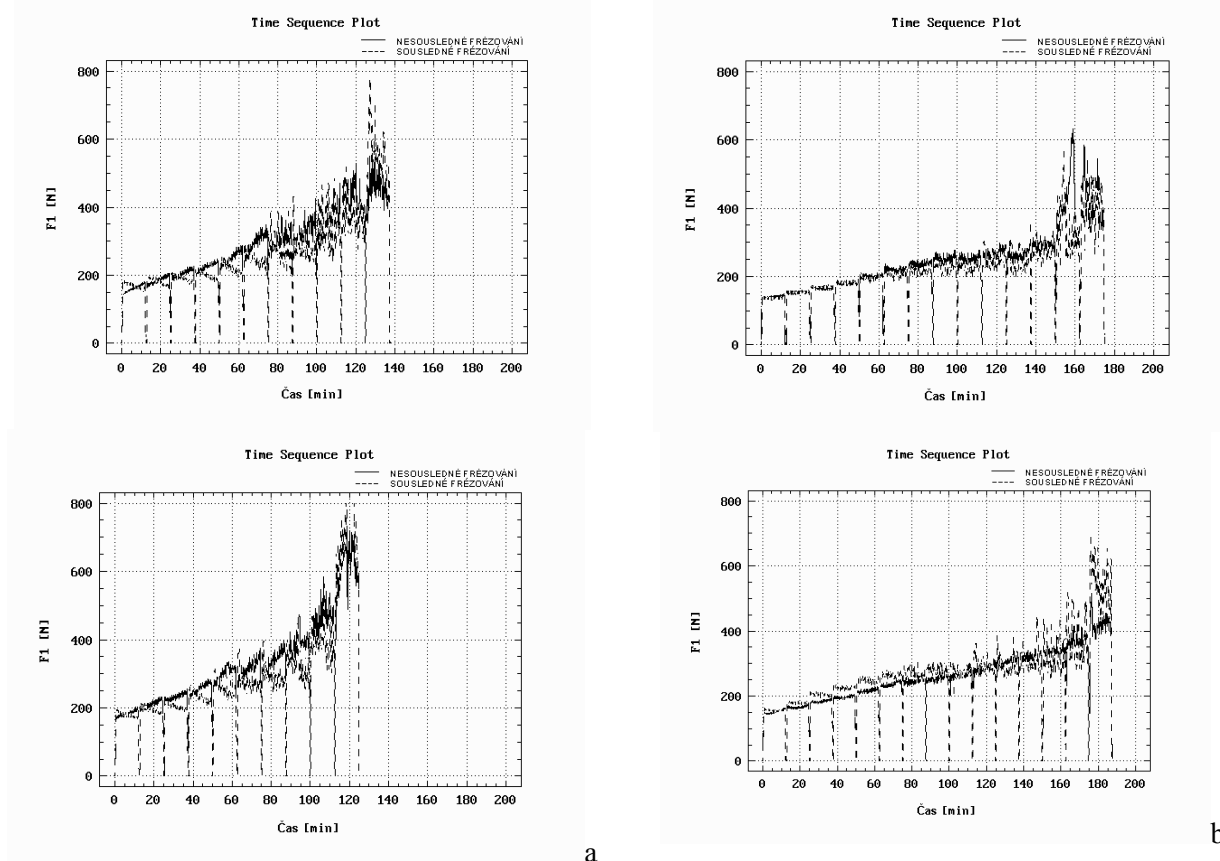
b

Obr. 4.9 Průběh silových složek pro nástroj T
a) na začátku frézování, b) na konci frézování

4.2.4 Analýza řezných kapalin na zušlechtěné oceli a hliníkové slitině

U provedených analýz procesních kapalin na zušlechtěné oceli při použití HSS nepovlakovaných fréz nelze jednoznačně říci, která má nejvyšší přínos. U povlakovaných fréz byl dosažen použitím kapaliny C vyšší přínos procesní kapaliny, obr. 4.10. Bylo dosaženo vyvrtání 169 a 182 děr.

Z průběhů závislosti celkové řezné síly na čase při sousledném a nesousledném frézování nelze jednoznačně říci, která z testovaných kapalin (B, D) má nejvyšší přínos pro frézování hliníkové slitiny při daných řezných podmínkách, ani po 125 minutách nebylo dosaženo výrazného opotřebení vrtáků.



Obr. 4.10 Průběh závislosti celkové řezné síly na čase při sousledném a nesousledném frézování při použití chladicí kapaliny C
a) HSS, b) HSS+AlTiN

ZÁVĚRY

Z posouzení dostupných literárních pramenů a výsledků dosažených v této práci, zaměřených na zvyšování řezivosti rychlořezných nástrojových ocelí na bázi PVD povlakování a použití moderních řezných kapalin, vyplývají tyto celkové závěry:

I. Perspektiva rychlořezných ocelí jako nástrojového materiálu pro obrábění

- Tento materiál zůstává i nadále perspektivním, v praxi obvykle používaným, zejména pro tvarové nástroje a obrábění na strojích s nižším rozsahem dosažitelných řezných rychlostí a posuvů.
- Současný vývoj tohoto řezného materiálu probíhá intenzivněji v oblasti přípravy polotovarů, kde se zejména rozvíjí aplikace práškové metalurgie.
- Podíl HSS na celkovém trhu s řeznými materiály se bude postupně snižovat ve prospěch zejména karbidových nástrojů, ale zcela nahrazen výhledově asi nebude.

II. Aplikace PVD povlaků za účelem zvyšování řezivosti HSS nástrojů

- Tyto technologie mají patrně v této oblasti nejvyšší důležitost, neboť i tato práce prokazuje jejich vysokou efektivitu v technologii obrábění.
- V dílčí zkoumané technologii **vrtání** bylo shledáno, že:
 - vyhodnocování měrné energie vrtání je velmi užitečnou fyzikální proměnnou, odrážející časový průběh rozvoje opotřebení vrtáků,
 - povlaky TiN, TiCN, TiAlN, TiN+MoS₂ prokázaly příznivý vliv na vrtání a vyšší účinek na snížení zátěže šroubovitého vrtáku než chladicí emulze pro vrtání ušlechtilé uhlíkové oceli ČSN 41 2050.1,
 - za kritické hodnoty měrné energie vrtání pro obrábění ČSN 41 5260.1 (a další řezné podmínky) lze považovat hodnotu 4,0 J/mm³,
 - PVD povlaky AlTiN+PLC se vyznačovaly klidným vrtáním (rozptyl činil méně než 10 % průměrné hodnoty ve srovnání s pásmem 40 % až 60 % pro nepovlakovaný HSS vrták), vhodným utvářením třísky, výbornou řezivostí při záběhu nástrojů, sníženým chvěním a dostatečně dlouhou trvanlivostí i pro relativně vysoké řezné podmínky,
 - u HSS s povlakem AlTiN+PLC při intenzitě úběru materiálu 10 cm³/min bylo dosaženo objemu odebraného materiálu přibližně 1200 cm³, což ve srovnání s nepovlakovanými HSS nástroji (575 cm³) činí více než 100 %,
 - náklady na duplexní povlakování vrtáků nepřesáhly 60 % ceny vrtáků s nárůstem trvanlivosti o 60 % až 100 %, a proto je způsob duplexního povlakování vrtáků technologicky-ekonomicky výhodný a lze ho doporučit pro průmyslové použití.
- V dílčí zkoumané technologii **frézování** bylo shledáno, že:
 - řezná rychlost pro nepovlakované válcové čelní HSS frézy pro obrábění materiálů typu ČSN 41 5241.9 (a další řezné podmínky) nemůže být vyšší než 30 m/min,

- povlakování válcových čelních HSS fréz s povlaky TiCN a AlTiN umožnilo zvýšení řezné rychlosti na 40 m/min při zachování ostatních řezných podmínek, ke snížení řezných sil průměrně o 30 % až 40 % a řezných výkonů průměrně o 50 % ve srovnání s nepovlakovanými nástroji,
- experimentálními zkouškami byla ověřena a doporučena řezná rychlost 30 m/min pro HSS frézy pro drážky s povlaky TiCN a AlTiN, při které se dosáhlo trvanlivosti 40 až 60 minut; další zvýšení řezné rychlosti však vedlo ke kmitání nástroje,
- řezná rychlost 40 m/min pro HSS frézy pro drážky s povlaky TiCN a AlTiN byla provázena rychlým opotřebením nástrojů a na základě průběhu sledovaných veličin ji pro testovaný způsob obrábění, typ nástroje i povlaků nelze doporučit,
- za optimální geometrii čelního výbrusu lze považovat asymetrický výbrus břitů na čele (jeden břit přes osu), u které byla dosažena největší odfrézovaná hloubka, tj. 240 děl,
- při aplikaci PVD povlaku na bázi AlTiN bylo za daných řezných podmínek dosaženo trvanlivosti fréz přibližně 30 minut, což představuje podle dřívějších měření téměř trojnásobné prodloužení trvanlivosti vůči stavu nástroje nepovlakovaného a výrazné prodloužení oproti frézám povlakovaným od jiných výrobců,
- frézy vyráběné práškovou technologií představují menší rozptyl výsledků, stabilnější frézování a za přibližně stejných podmínek obrábění prodloužení trvanlivosti o 30 % až 50 %, v pásmu sil přibližně 420 N až 450 N.

III. Aplikace procesních kapalin za účelem zvyšování řezivosti HSS nástrojů

- Aplikace řezných kapalin při obrábění bude i nadále významná, zejména pro obrábění děl osovými nástroji, případně materiálů, které mají tendenci k tvorbě nárůstků.
- V dílčí zkoumané technologii **vrtání** bylo shledáno, že:
 - vrtání za sucha ušlechtilé uhlíkové oceli ČSN 41 2050.1 HSS šroubovitými vrtáky DIN 338 R-N průměru 6,0 mm bylo provázeno zhoršeným odvodem třísky, nárůstem posuvové síly a krouticího momentu pro vrtání,
 - nejvyšší přínos procesní kapaliny u HSS nepovlakovaných i povlakovaných vrtáků s povlakem AlTiN na zušlechtěné oceli byl dosažen použitím kapaliny C (koncentrát na bázi minerálních olejů s obsahem 0,3% aktivní síry). Síra obsažená v kapalině C měla při zkouškách mazací účinek a šroubovitě vrtáky byly z 80% pokryty mazacím filmem na hřbetní ploše,
 - nelze jednoznačně říci, která z testovaných kapalin (B, D) má nejvyšší přínos pro vrtání hliníkové slitiny při použití HSS fréz s povlakem AlTiN+PLC při daných řezných podmínkách, protože ani po 1750 děrách nebylo dosaženo výrazného opotřebením vrtáků.
- V dílčí zkoumané technologii frézování bylo shledáno, že:

- z provedených analýz procesních kapalin na zušlechtné oceli při použití HSS nepovlakovaných fréz nelze jednoznačně říci, která má nejvyšší přínos, protože bylo dosaženo 130 minut celkové trvanlivosti nástroje při použití kapalin všech testovaných kapalin (A, B, C, D),
- vyšší přínos procesní kapaliny na zušlechtné oceli při použití HSS fréz s povlakem AlTiN byl dosažen použitím kapaliny C,
- nelze jednoznačně říci, která z testovaných kapalin (B, D) má nejvyšší přínos pro frézování hliníkové slitiny při použití HSS fréz s povlakem AlTiN+PLC při daných řezných podmínkách, protože ani po 125 minutách nebylo dosaženo výrazného opotřebení vrtáků.

Výsledky práce byly aplikovány v praxi (zejména se jednalo o 6 českých podniků a firem, které se zabývají výrobou řezných nástrojů, PVD povlakováním a procesními kapalinami). U některých vývojových druhů PVD povlaků nebyla doporučena jejich sériová aplikace a naopak některé aplikace přispěly k upevnění firmy na trhu. Dílčí výsledky byly prezentovány na národních a mezinárodních konferencích nebo speciálně orientovaných setkání pracovníků vědy, výzkumu a uživatelů z praxe, přičemž nejlepší dosažené výsledky byly předváděny v experimentálních laboratořích ÚST. Dílčí výsledky a zvolená metodika byly využity ve výuce na FSI v předmětech Experimentální metody, Teorie obrábění a Programování CNC strojů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. BUNSHAH, R. F. *Handbook of hard coatings*. N. York: Noyes Publications/William Andrew Publishing, 2001. 550 s. ISBN 0-8155-1437-7.
2. CIHLÁŘOVÁ, P., PÍŠKA, M. Řezivost HSS fréz vyráběných metodou práškové metalurgie. In *Frézování III*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor obrábění, 2003. s. 159-170. ISBN 80-214-2436-2.
3. DAVIS, J. R. *Tool Materials. ASM Specialty Handbook: Prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee*. 1st. ed. Ohio: ASM International, 1995. 501 s. ISBN 0-87170-545-1.
4. DOBEŠ, P., KAČMÁR M. Současné trendy v oblasti kapalin pro obrábění. In *Frézování IV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor obrábění, 2007. s. 197-201. ISBN 80-214-32-39-X.
5. DUNLOP, GL, WANG, R. Development of microstructure during heat treatment of high speed steels. In *Proc First Int HSS Conf Leoben*, 1990. Weiz: Klampfer GmbH, 1990. s. 33-40.
6. FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
7. FREMUNT, P., KREJČÍK, J., PODRÁBSKÝ, T. *Nástrojové oceli: odborná kniha*. 1. vyd. Brno: Dům techniky, 1994. 230 s.
8. HOLUBÁŘ, P., CSELLE, T. Výkonnost nástrojů s moderními PVD povlaky. In *MM Průmyslové spektrum*. prosinec 2004, č. 12. Praha: SEND Předplatné s.r.o., 2004. s. 86-87. ISSN 1212-2572.
9. HOLUBÁŘ, P., ŠÍMA, M., ZINDULKA, O. Technologie úprav nástrojů před a po povlakování. In *MM Průmyslové spektrum*. září 2005, č. 9. Praha: SEND Předplatné s.r.o., 2005. s. 70-72. ISSN 1212-2572.
10. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. [online]. [cit. 2007-06-04]. Dostupné na Word Wide Web: <<http://www.ust.fme.vutbr.cz>>.
11. HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vyd. Brno: CCB, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
12. HUMÁR, A. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část*. [online]. [cit. 2007-06-04]. Dostupné na Word Wide Web: <<http://www.ust.fme.vutbr.cz>>.
13. JONES, M.I., McCOLL, I.R., GRANDT, D.M. Effect of Substrate Preparation and Deposition Conditions on the Preferred Orientation of TiN Coatings Deposited by RF Reactive Sputtering. In *Surface and Coatings Technology*. 2000, Vol. 132, s. 143-151.
14. KESL, M. Rychlořezné oceli stále aktuální. In *MM Průmyslové spektrum*. duben 2007, č. 4. Praha: SEND Předplatné s.r.o., 2007. s. 34-36. ISSN 1212-2572.

15. KLOCKE, F. at al. Testing and Design of Tool Coatings with Properties Adapted to the Use of Biodegradable Cutting Fluids. In *Annals of the CIRP*. Vol. 50/1/2001. s. 57-60.
16. KLOCKE, F. EISENBLÄTTER, G. Dry Cutting. In *Annals of the CIRP*. Vol. 46/2/1997. s. 519-526.
17. 49 KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
18. KRÍŽ, A. *Nové trendy vývoje tenkých vrstev vytvořených PVD a CVD technologií v aplikaci na řezné nástroje*. [online]. [cit. 2007-06-01]. Dostupné na Word Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/Nove_trendy.pdf>.
19. KRÍŽ, A. Hodnocení vlastností tenkých vrstev nitridu kovu. In *Vrstvy a povlaky 2003: Zborník prednášok*. Trenčín: DIGITAL GRAPHIC Trenčín, 2003. s. 93-98. ISBN 80-968337-1-5.
20. KRÍŽ, A. *Tepelné zpracování nástrojových ocelí*. [online]. [cit. 2007-07-11]. Dostupné na Word Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/download/tepeln%E9%20zprac_RO.pdf>.
21. KRÍŽ, P. Moderní trendy ve vývoji obráběcích kapalin. In *MM Průmyslové spektrum*. květen 2005, č. 5. Praha: SEND Předplatné s.r.o., 2005. s. 64-65. ISSN 1212-2572.
22. PÍŠKA, M. Quantitative Assessment of PVD Coatings and Cooling Fluids on the Drilling Performance and Wear of HSS Drills when Machining of Hardened Steel. In *Intertribo 2002*. Stará Lesná-Tatranská Lomnica, 14.-17.11.2002, Slovensko. s. 59-64. ISBN 80-233-0476-3.
23. PÍŠKA, M. Testování řezivosti čelních a drážkovacích HSS fréz z produkce ZPS-FN, a.s., Zlín. In *Frézování III*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor obrábění, 2003. s. 103-124. ISBN 80-214-2436-2.
24. PÍŠKA, M., KOOLHAAS, T. Testing of cooling fluids when drilling with HSS. In *Frézování III*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor obrábění, 2003. s. 125-136. ISBN 80-214-2436-2.
25. PTÁČEK, L. at al. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
26. SHAIKH, Q. A. at al. Wear and microstructural studies of alloy sintered steels. In *Materials science and technology*. vol. 7, no. 8. 1991. s. 728-738. ISSN 0267-0836.
27. ŠÍMA, M., ZINDULKA, O. Měření vlastností povlaků na nástrojích. In *MM Průmyslové spektrum*. červen 2004, č. 6. Praha: SEND Předplatné s.r.o., 2004. s. 30-31. ISSN 1212-2572.
28. ThyssenKrupp Ferrosta. *Ocel nástrojová*. [online]. [cit. 2007-06-01]. Dostupné na Word Wide Web: <http://thyssenkrupp-ferrosta.cz/ocel_nastrojova.php>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka, symbol	Jednotka	Popis
HSS	-	(High speed steel) rychlořezná ocel
PM	-	(Powder Metallurgy) prášková metalurgie
PVD	-	(Physical Vapour Deposition) fyzikální napařování
F	N	celková síla vyvolaná řeznou částí
F_1	N	celková síla vyvolaná řeznou částí jednoho břitu
F_c	N	řezná síla
F_{c1}	N	řezná síla působící na jeden břit
F_{cN1}	N	kolmá řezná síla působící na jeden břit
F_f	N	posuvová síla
F_{f1}	N	posuvová síla působící na jeden břit
F_{h1}	N	horizontální síla působící na jeden břit v ortogonální rovině
F_p	N	pasivní síla
F_{p1}	N	pasivní síla působící na jeden břit
F_{sh}	N	tangenciální síla v rovině stříhu
F_{shN}	N	normálová síla v rovině stříhu
F_{v1}	N	vertikální síla působící ortogonální rovině na jeden břit
F_{x1M}	N	síla působící v ose x stroje a snímače a na 1 břit
F_{xm}	N	celková měřená síla působící v ose x stroje a snímače
F_{y1M}	N	síla působící v ose y stroje a snímače a na 1 břit
F_{ym}	N	celková měřená síla působící v ose y stroje a snímače
F_{z1M}	N	síla působící v ose z stroje a snímače a na 1 břit
F_{zm}	N	celková měřená síla působící v ose z stroje a snímače
F_γ	N	tangenciální síla na čele nástroje
$F_{\gamma N}$	N	normálová síla na čele nástroje
M_c	Nm	kroucí moment
R_s	mm	poloměr (těžiště působících sil)
a_e	mm	radiální šířka záběru
a_p	mm	axiální šířka záběru (hloubka řezu)
d	mm	průměr
e_c	J/mm^3	měrná energie vrtání
f	mm	posuv
f_z	mm	posuv na zub
v_c	m/min	řezná rychlost
σ_x	MPa	normálové napětí
τ_{xy}	MPa	smykové napětí v daných rovinách

ω	°	úhel mezi vertikální a horizontální složkou řezné síly působící na jeden břit
ϕ	-	úhel roviny stříhu
ϕ_s	-	úhel v zadní rovině, odpovídající poloze těžiště plochy nominálního průřezu třísky
ϕ_1	-	počáteční úhel tvorby třísky
ϕ_2	-	koncový úhel tvorby třísky (s maximální tloušťkou třísky)
λ_t	-	třecí úhel

AUTOROVO CV

Osobní údaje:

Jméno a příjmení: Ing. Petra Cihlářová
Datum narození: 16. srpen 1978
Místo narození: Jeseník

Vzdělání:

od 2002 VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Doktorský studijní program Strojírenská technologie, obor Strojírenská technologie
1999 - 2002 VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, Magisterský studijní program Ekonomika a management, obor Řízení a ekonomika podniku
1996 - 1999 VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Bakalářský studijní program Strojírenství, obor Strojírenská technologie

Odborná praxe:

od 2005 asistent, Ústav strojírenská technologie, Odbor technologie obrábění, FSI VUT v Brně
2003 - 2005 technický pracovník, Ústav strojírenská technologie, Odbor technologie obrábění, FSI VUT v Brně

Pedagogická práce:

Obrábění na CNC strojích
Výrobní technologie II
Technologie výroby II
Technologie I
Experimentální metody
Diplomový seminář
Diplomový projekt

Znalosti:

práce na PC
jazyka anglického a německého
řídícího systému Sinumerik 810D, 840D
programy Apollo VUT, SAP
řidičský průkaz skupiny B (06.01.2006 školení odborné způsobilosti řidičů)

Školení, kurzy:

anglický jazyk s počítačovou podporou I, II pro středně pokročilé (VUT)
školení obsluhy termovizního systému Flir 2000 (FSI VUT v Brně)
školení Apollo VUT – vedení rozvrhů a průběhu studia v elektronické formě
školení SAP – vedení ekonomické agendy

ABSTRAKT

Práce se zabývá studiem zvyšování řezivosti nástrojů vyráběných z rychlořezných ocelí, zejména v oblasti aplikací velmi tvrdých a tribologických vrstev na bázi PVD, včetně rozboru technologických vlastností povlaků, metod hodnocení jejich vlastností, atd. Dále obsahuje rozdělení moderních procesních kapalin, popis jejich fyzikálních a chemických účinků na obrábění. Teoretická část se dále zabývá rozбором metodiky stávajících experimentálních zkoušek pro hodnocení opotřebení nástrojů i kritikou jejich některých nedostatků. Disertační práce obsahuje návrh metodiky hodnocení řezivosti nástrojů pomocí silové analýzy a měrných veličin obrábění, jejich experimentální ověření a kvantifikaci těchto veličin na vybrušovaných šroubovitých vrtácích a čelních stopkových frézách. Tyto veličiny jsou pak ověřovány na rozsáhlém počtu experimentálních zkoušek, obsahující moderní řezné nástroje našich i zahraničních výrobců. Výsledky byly dále doplněny analýzami opotřebení nástrojů ze světelné a elektronové mikroskopie. Vybrané zkoušky jsou statisticky zpracovány.

Abstract

The thesis deals with HSS cutting tool performance and its improvement by means of hard/tribological coating application. An analysis of the state of art is included, followed by process cooling fluid grades, description of physical and chemical properties and their general effects on machining. The theory is focused on a critical analysis of testing methods devoted to wear of cutting tools at the present time. A new principle of testing has been tested based on a force loading measurement and specific cutting variables derived. An experimental verification and quantification for ground twist drills and end mill cutters has been done. These variables are verified on a large number of experimental tests, including home and foreign modern cutting tools. The results are accomplished with analyses of cutting tool wear by means of light and electron microscopy. Some selected results are statistically processed.

SEZNAM VLASTNÍCH PRACÍ VZTAHUJÍCÍCH SE K TÉMATU DISERTAČNÍ PRÁCE

1. CIHLÁŘOVÁ, P. Řezivost drážkovacích stopkových fréz vyráběných práškovou metalurgií s povlakem ALTiN. In *Sborník přednášek mezinárodní vědecké konference při příležitosti 55 let založení Fakulty strojní – sekce 7, strojírenská technologie – obrábění*. Ostrava: VŠB – Technická Univerzita Ostrava, 2005. s. 9. ISBN 80-248-0895-1.
2. CIHLÁŘOVÁ, P., PÍŠKA, M. On the drilling of cast Al-Si alloy with coated HSS drills and effective cooling. In *Co-Mat-Tech 2004*. Trnava: STU Bratislava, 2004. s. 1-8. ISBN 80-227-2117-4.
3. CIHLÁŘOVÁ, P., PÍŠKA, M. Řezivost HSS fréz vyráběných metodou práškové metalurgie. In *Frézování III*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor obrábění, 2003. s. 159-170. ISBN 80-214-2436-2.
4. CIHLÁŘOVÁ, P., PÍŠKA, M., POLZER, A. The effect of external and internal cooling on drilling process. In *IX. mezinárodné sympóziu INTERTRIBO 2006*. Vysoké Tatry – Stará Lesná: KONGRES management s.r.o., 2006. s. 64 – 67. ISBN 80-969365-7-3.
5. CIHLÁŘOVÁ, P., POLZER, A. Cutting performance of ball coated cemented carbide cutters. In *HONEYWELL EMI 2005*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Fakulta informačních technologií a Fakulta strojního inženýrství, 2006. s. 153 – 157. ISBN 80-214-2942-9.
6. CIHLÁŘOVÁ, P., POLZER, A., JULIŠ, M. Vrtání siluminu HSS vrtáky s duplexními PVD povlaky. In *FSI Junior Konference 2005*. Brno: FSI VUT v Brně, 2006. ISBN 978-80-214-3365-6.
7. CIHLÁŘOVÁ, P., POLZER, A., VAŠÍK, P. Komplexní analýza řezivostních vlastností moderních HSS fréz. In *FSI Junior Konference 2004*. Brno: FSI VUT v Brně, 2005. ISBN 80-214-2934-8.
8. CIHLÁŘOVÁ, P., VAŠÍK, P. Technologie výroby složitých tvarových nástrojů s využitím diferenciálního počtu. In *FSI Junior Konference 2006*. Brno: FSI VUT v Brně, 2007. ISBN 978-80-214-3364-9.
9. KOČMAN, K., HUMÁR, A., SIEGEL, M., ČERMÁK, J., POLZER, A., CIHLÁŘOVÁ, P. *MŠMT 262100003. Rozvoj progresivních vysoce přesných strojírenských technologií. Obrábění progresivních konstrukčních keramik*. Výzkumná zpráva. Brno: Ústav strojírenské technologie FSI VUT v Brně, 2004. 49 s.
10. PÍŠKA, M., CIHLÁŘOVÁ, P. Duplexní a triplexní povlaky pro HSS. In *Frézování IV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor obrábění, 2007. s. 49 - 59. ISBN 80-214-3239-X.

11. PÍŠKA, M., CIHLÁŘOVÁ, P. Fixace Ki drátů v kortikální kosti pomocí závitových spojů. In *VII. ostravské traumatologické dny*. Rožnov pod Radhoštěm: Česká společnost pro úrazovou chirurgii. 2004. p. 54. Příloha časopisu *Úrazová chirurgie* 11, č. 4. ISSN 1211-7080.
12. PÍŠKA, M., CIHLÁŘOVÁ, P. *Moderní metody testování řezných nástrojů pro průmyslovou praxi*. Zlín: ZPS-FN, a.s., 11.9.2002.
13. PÍŠKA, M., CIHLÁŘOVÁ, P. *Testování řezivosti fréz z produkce ZPS-FN, a.s., Zlín na FSI VUT v Brně*. Rekreační středisko ZPS Valašské Klobouky - Jelenovská, 24.10-25.10.2002.
14. PÍŠKA, M., HUMÁR, A., POLZER, A., CIHLÁŘOVÁ, P. *Analýza řezivosti povlakovaných HSS fréz pomocí rozboru silového zatížení*. Výzkumný záměr MSM 262100003: Rozvoj progresivních vysoce přesných strojírenských technologií. Dílčí výzkumná zpráva. Brno: FSI VUT v Brně, 2002. 75 s.
15. PÍŠKA, M., HUMÁR, A., POLZER, A., CIHLÁŘOVÁ, P. *Drilling of Glass Fibre Reinforced Plastics*. In *Transfer 2003*. Trenčín: Trenčianska universita Alexandra Dubčeka v Trenčíně, 2003. s. 345-353. ISBN 80-8075-001-7.
16. POLZER, A., CIHLÁŘOVÁ, P., POSPÍŠILOVÁ, S. Stanovení měrných veličin technologie broušení a fázová analýza HSS k eliminaci křehkého porušování nástrojů. In *FSI Junior Konference 2006*. Brno: FSI VUT v Brně, 2006. ISBN 978-80-214-3365-6.
17. POLZER, A., CIHLÁŘOVÁ, P., VAŠÍK, P. Elektronová fázová a strukturní analýza celokarbidových nástrojů. In *FSI Junior Konference 2004*. Brno: FSI VUT v Brně, 2005. ISBN 80-214-2934-8.
18. VAŠÍK, P., PÍŠKA, M., CIHLÁŘOVÁ, P. Parametrický popis ploch pomocí systému MAPLE. In *Sborník z 15. semináře Moderní matematické metody v inženýrství*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2006. s. 211 - 215. ISBN 80-248-1224-X.