

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice PhD Thesis, sv. 784

ISSN 1213-4198

thesis IS

Ing. Aleš Jaroš

**Nové frézovací nástroje
z rychlořezné oceli
pro hrubovací operace**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

Ing. Aleš Jaroš

**NOVÉ FRÉZOVACÍ NÁSTROJE
Z RYCHLOŘEZNÉ OCELI PRO HRUBOVACÍ OPERACE**

NEW MILLING HSS CUTTERS
FOR ROUGHING OPERATIONS

Zkrácená verze Ph.D. Thesis

Obor: Strojírenská technologie
Školitel: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Oponenti: prof. Ing. Alexander Janáč, CSc.
doc. Ing. Josef Chladil, CSc.
Datum obhajoby: 24. června 2015

Klíčová slova:

Rychlořezná ocel, frézování, PVD povlakování, rapid prototyping, technologie vytavitelného modelu, silové zatížení, opotřebení břitu.

Keywords:

High-speed steel, milling, PVD coating, rapid prototyping, lost wax technology, force loading, tool wear.

Místo uložení práce:

Areálová knihovna Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně
Technická 2896/2, 616 69 Brno

© Aleš Jaroš, 2015

ISBN 978-80-214-5229-9

ISSN 1213-4198

Obsah

1 ÚVOD.....	5
2 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE	6
3 SILOVÉ ÚČINKY PŘI FRÉZOVÁNÍ	7
4 OPOTŘEBENÍ BŘITU ŘEZNÉHO NÁSTROJE	8
5 VÝROBA PROTOTYPU FRÉZOVACÍHO NÁSTROJE	9
5.1 Konstrukce nástroje.....	9
5.2 Výroba prototypu nástroje	11
6 OBROBITELNOST RŮZNORODÝCH MATERIÁLŮ.....	12
6.1 Analýza silového zatížení při frézování.....	13
6.2 Průběhy silového zatížení při sousledném a nesousledném frézování	14
7 DLOUHODOBÉ ŘEZNÉ ZKOUŠKY	18
7.1 Vyhodnocení silového zatížení při sousledném frézování.....	19
7.2 Opotřebení řezných nástrojů	21
7.3 Analýza řezných sil v průběhu opotřebení nástroje	22
7.4 Pevnostní analýza napjatosti a deformace nástroje.....	24
8 ZÁVĚRY	25
REFERENCE	28

1 ÚVOD

V dnešní době je kladen velmi velký důraz na produktivitu obrábění, která je přímo úměrná zvolenému řeznému materiálu. Existuje velké množství řezných materiálů, které jsou používány pro výrobu řezných nástrojů. Jsou to rychlořezné oceli (HSS, RO), slinuté karbidy (SK), řezná keramika, cermety, polykrystalický kubický nitrid boru a polykrystalický diamant [1].

Rychlořezné oceli (HSS) se používají pro výrobu řezných nástrojů, zejména pro výrobu frézovacích a vrtacích nástrojů. K výraznému rozvoji produkce nástrojů z HSS došlo po zavedení práškové metalurgie do výroby řezných nástrojů a technologie přesného lití. Technologie přesného lití se používá především pro tvarově složité nástroje, jejichž výroba třískovou technologií by byla značně pracná a nákladná, ale také pro výrobu nových prototypů frézovacích nástrojů [2].

Pro prodloužení trvanlivosti a zlepšení mechanických vlastností se na nástroje nanášejí povlaky. Pro povlakování nástrojů z rychlořezných ocelí se používá metoda fyzikální – tzv. Physical Vapour Deposition (PVD), která probíhá za teplot (500-600)°C, nedochází tedy k teplotnímu ovlivnění již dříve zušlechtněného nástroje [3]. Nejčastěji nanášenými PVD povlaky na nástroje pracující s přerušovaným řezem jsou povlaky (Al,Ti)N a (Ti,Al)N [4]. Trendem dnešní doby je přidávání dalších chemických prvků do již známých PVD povlaků, nejčastěji přidávanými prvky jsou chrom a křemík [5].

Povlakování nástrojů je velice důležitým, ale ne jediným parametrem, který může pozitivně ovlivnit trvanlivost nástroje a kvalitu obrobenej plochy. Mezi další důležité parametry patří vhodně zvolený obráběcí stroj, obráběný materiál, druh operace, geometrie nástroje, materiál nástroje, nastavené řezné podmínky a vhodně zvolená procesní kapalina [6].

Při obrábění, kdy dochází k velkému úběru materiálu, je velmi důležitým parametrem vhodně zvolená procesní kapalina, která nemá za úkol jen chladit nástroj v místě řezu, důležitý je také mazací a čistící účinek [7]. Nejvhodnějším způsobem přívodu procesní kapaliny do místa řezu je vnitřní chlazení, protože procesní kapalina je fokusovaná přímo do místa řezání a umožňuje tak zvýšení řezné rychlosti a dochází k výraznému zvýšení výkonu obrábění [8,9].

Frézy s přímými zuby jsou náchylné k rázům, které vznikají při najetí nástroje do záběru. Z tohoto důvodu, je převážná většina čelních válcových stopkových fréz konstruována se zuby ve šroubovici (nástroje mají různý úhel stoupání šroubovice). Konvenční nástroje s pozitivní geometrií jsou náchylné na osové tahové namáhání, které způsobuje, že nástroje jsou vytahovány z řezu, dochází ke chvění a podřezání povrchu. Nástroje s negativní geometrií jsou náchylné na osové tlakové namáhání. Z těchto důvodů je patrné, že je složité nalézt optimální geometrii řezného nástroje.

2 CÍLE DIZERTAČNÍ PRÁCE

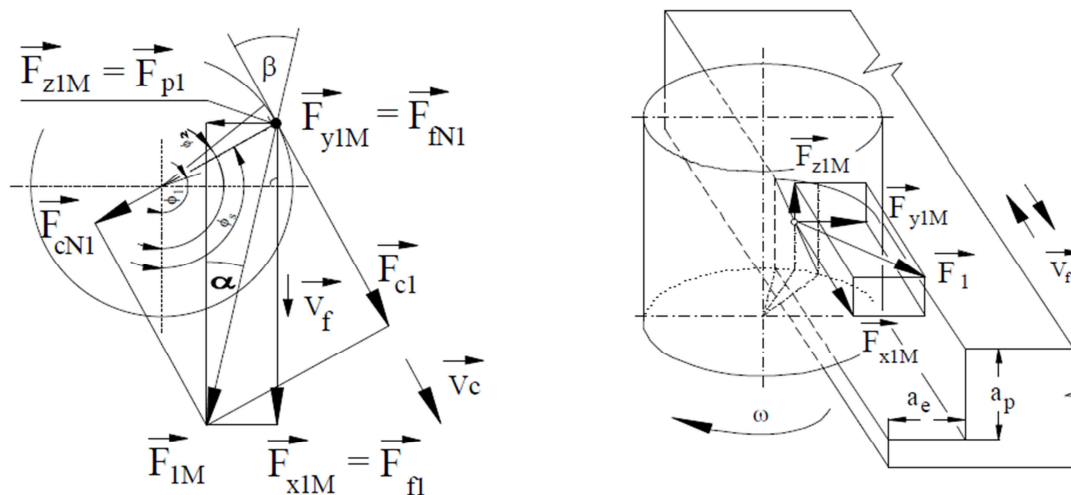
Cílem disertační práce byl návrh, konstrukce a výroba frézovacího nástroje pro velký úběr materiálu. Nový nástroj byl konstruován jako tříbřitá válcová čelní stopková fréza, vyrobená z rychlořezné oceli, opatřená tzv. kompenzačními břity. Úkolem kompenzačních břitů je snížit, v ideálním případě potlačit, tahovou napjatost v patě zubu. Hodnocenými parametry bylo silové zatížení a hřbetní opotřebení nástroje. Z dat získaných při řezných zkouškách byla provedena statická analýza napjatosti a deformace nástroje.

Stanoveného cíle bylo dosaženo na základě těchto kroků:

- analýza současného stavu poznání, teoretické východiska,
- průzkum trhu výrobců nástrojů z HSS ocelí,
- porovnání designu a geometrie stávajících stopkových fréz,
- porovnání nanášených PVD vrstev,
- návrh výroby nového řezného nástroje,
- konstrukce 3D modelu nového frézovacího nástroje v programu Autodesk Inventor,
- 3D tisk prototypu nástroje metodou Fused Deposition Modelling (FDM),
- výroba silikonové formy,
- výroba voskových modelů nástroje,
- výroba skořepinové formy,
- odlití prototypu nástrojů pomocí technologie přesného lití,
- přebroušení funkčních ploch prototypu nástroje,
- tepelné zpracování (kalení a popouštění),
- depozice PVD povlaků,
- volba vhodného obráběcího stroje,
- volba vhodného obráběného materiálu,
- výběr katalogových nástrojů pro porovnání hodnocených parametrů,
- vyhodnocení silového zatížení při frézování,
- vyhodnocení opotřebení břitů nástroje,
- vyhodnocení pevnostní analýzy.

3 SILOVÉ ÚČINKY PŘI FRÉZOVÁNÍ

Při specifikaci řezných sil při frézování (obr. 1) se vychází ze silových poměrů na jednom břitu, který se nachází v poloze určené úhlem φ_i . Pro válcové frézování nástrojem s přímými zuby se celková síla F působící na břit rozkládá na složky F_c a F_{cN} , respektive na složky F_f a F_{fN} [8,9].



Obr. 1 Schéma zatížení řezného nástroje [8].

Řezná síla F_{ci} se vyjádří na základě měrné řezné síly k_{ci} a jmenovitého průřezu třísky A_{Di} [7]:

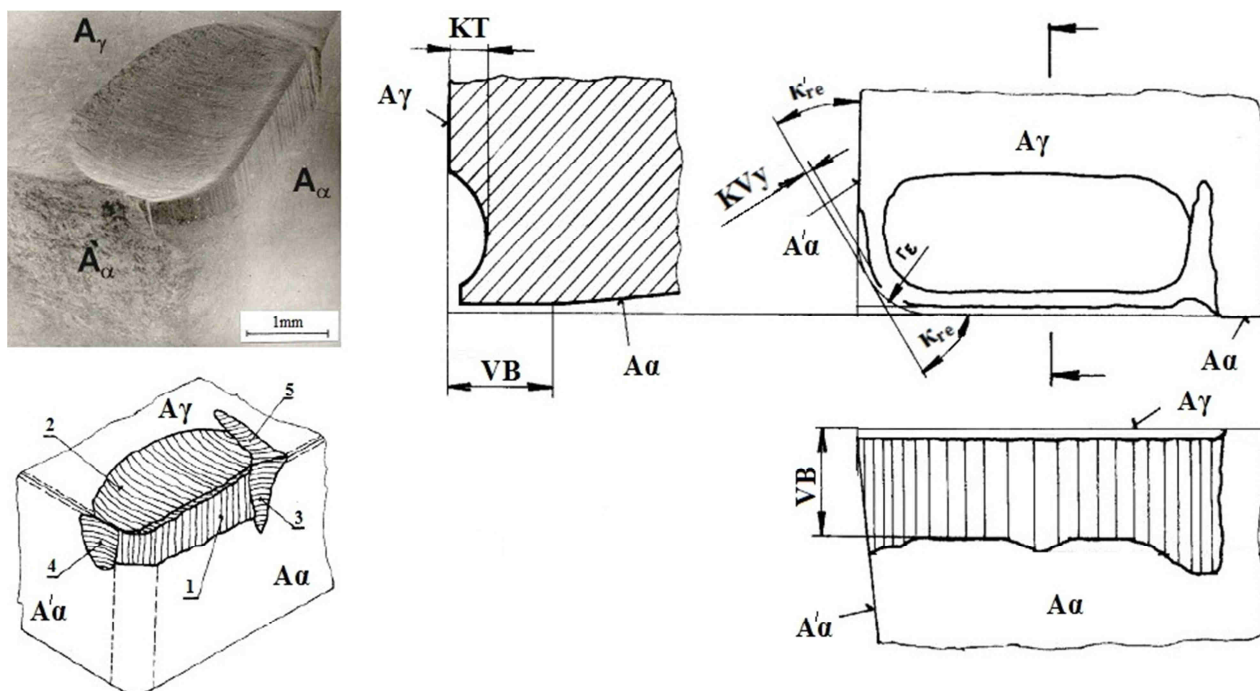
$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad (1)$$

V průběhu frézování se silové účinky mění v závislosti na stavu opotřebení nástroje. Nejčastěji je tato změna patrná u nástrojů s břity ve šroubovici, kdy na počátku obrábění je nástroj v důsledku pozitivních úhlů čela vtahován do řezu. Na konci frézování se od obrobeneho povrchu odtlačuje, důvodem je značné opotřebení řezného nástroje [8].

Měření řezných sil je možné realizovat pomocí dvou metod, **přímé a nepřímé metody**. Nepřímá metoda vychází z měření rozdílu příkonu a výkonu stroje za pomoci ampérmetru, kdy z odečtených hodnot je vypočtena hodnota celkové síly. Nevýhodou ovšem je, že není možné zjistit směr jejího působení. Přímá metoda je realizována piezoelektrickými dynamometry nebo pomocí tenzometrů. U této metody není měřena síla, kterou vyvolal proces řezání, ale reakční odezva obrobku, která je dále transformována na síly působící na nástroj [10]. Měření časových závislostí rozvoje sil při frézování pomocí piezoelektrických dynamometrů lze nepřímo kvantifikovat i průběh opotřebení. Tyto analýzy jsou časově i finančně náročné, ale na základě získaných výsledků je možné zhodnotit úspěšnost návrhu geometrie frézovacího nástroje, naneseného PVD povlaku nebo zvolené procesní kapaliny na řezný proces [8].

4 OPOTŘEBENÍ BŘITU ŘEZNÉHO NÁSTROJE

Opotřebení řezného nástroje vzniká při vzájemném kontaktu s obráběným materiálem. Celý proces opotřebení je velmi složitý děj, který závisí na několika faktorech (druh obráběného a řezného materiálu, druh operace, řezné prostředí, geometrie nástroje, atd.), v jehož průběhu působí několik odlišných fyzikálně - chemických jevů, tzv. mechanismů opotřebení (abraze, adheze, difuze, oxidace, plastická deformace a křehký lom) [9,12].



Obr. 2 Formy opotřebení řezného nástroje a kritéria pro jejich vyhodnocení:
 1- fazetka opotřebení na hřbetě; 2- výmol na čele; 3- primární hřbetní rýha;
 4- rýha na čele; 5- sekundární hřbetní rýha [12].

Nejpoužívanější přímou metodou pro hodnocení opotřebení jsou tzv. **kritéria opotřebení**. Nejpoužívanějším kritériem opotřebení je kritérium **VB** - šířka fazetky na hřbetě. Další často používaná kritéria pro měření opotřebení jsou kritéria **KT** - hloubka výmolu na čele a **KV_y** - radiální opotřebení špičky nástroje [12].

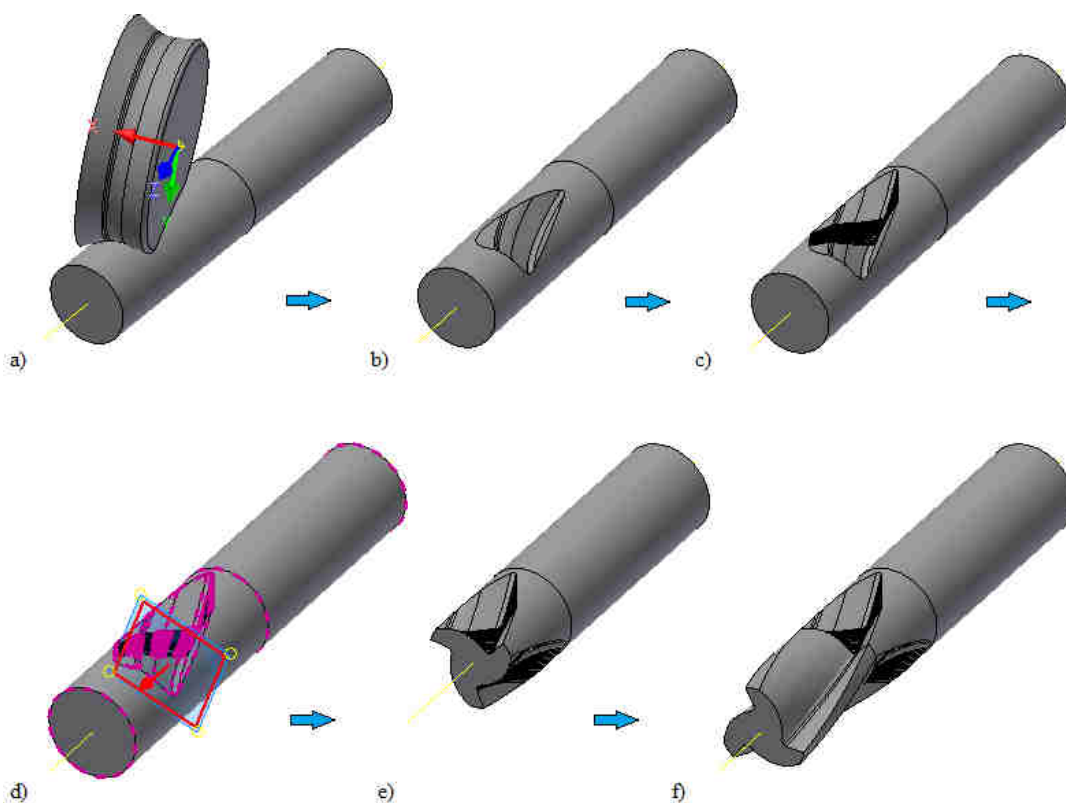
Před samotným testováním řezných nástrojů je potřeba stanovit maximální hodnotu opotřebení **VB_{max}**, která představuje maximální hodnotu šířky fazetky na hřbetě nástroje, po překročení této hodnoty je nástroj považován za opotřebený. Hodnoty měřeného kritéria **VB** se měří na všech břitech nástroje v celém průběhu testování. Hodnoty kritéria **VB** jsou nejčastěji měřeny pomocí dílenského mikroskopu.

5 VÝROBA PROTOTYPU FRÉZOVACÍHO NÁSTROJE

Nový nástroj byl konstruován jako tříbřitá čelní válcová stopková fréza opatřená tzv. kompenzačními břity. Cílem této konstrukce je potlačení tahové napjatosti v patě zubu. Nejedná se tedy pouze o drobnou technickou úpravu stávajících normovaných fréz, ale o novou koncepci řezného nástroje, kterou lze považovat za původní. Konstrukce nástroje byla provedena v softwaru Autodesk Inventor.

5.1 Konstrukce nástroje

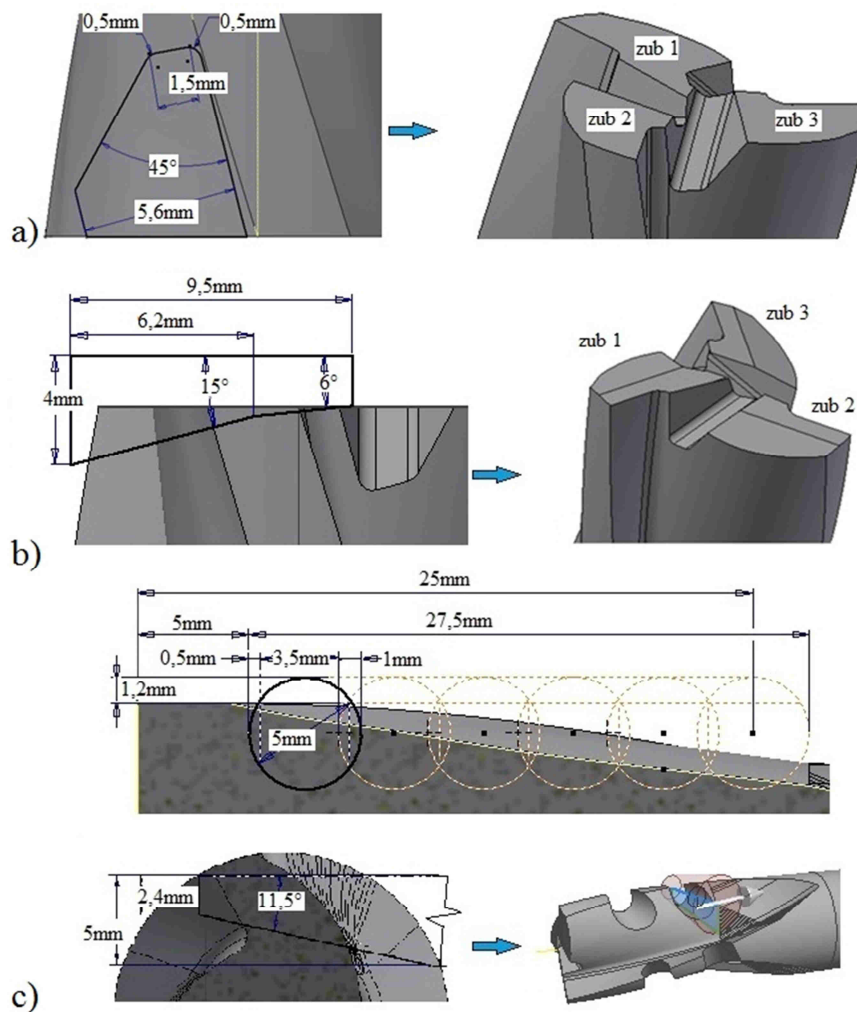
Pro konstrukci 3D modelu stopkové frézy byla zvolena metoda „simulace obrábění“, z důvodu složitého modelování výběhu brousicího kotouče. Do polotovaru byl pomocí brousicího kotouče vytvořen první segment drážky, který byl dále kopírován po spirálové křivce, výsledkem byla vzniklá šroubovitá drážka s potřebným výběhem brousicího kotouče. Pomocí pracovní roviny byl polotovár rozdělén a vzniklá drážka kopírována o 120° tak, aby bylo docíleno tříbřitého nástroje. Řezná část nástroje vznikla tažením vzniklého profilu po spirálové křivce (obr. 3).



Obr. 3 Postup konstrukce šroubovité drážky s potřebným výběhem brousicího kotouče.

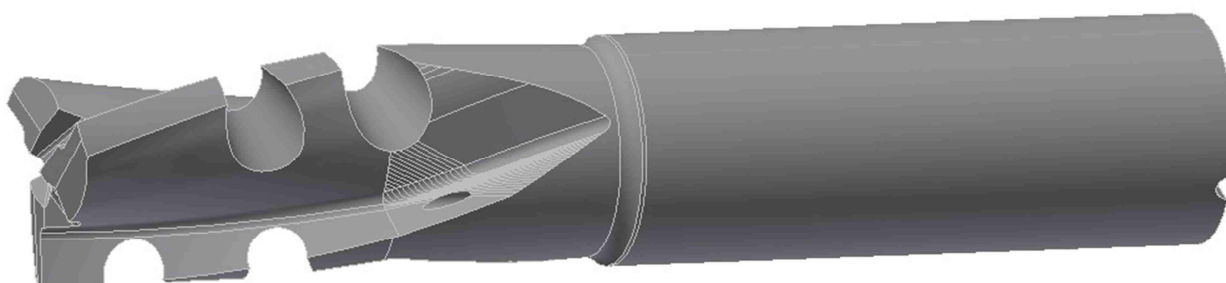
Dalším krokem byl výbrus čelních (obr. 4a) a hřbetních ploch (obr. 4b) nástroje. Tyto plochy byly vytvořeny pomocí odebrání materiálu vysunutím daného náčrtu. Konstrukce kompenzačních břitů (obr. 4c) byla provedena na základě odebrání materiálu pomocí rotace kužele. Na každém zubu jsou vytvořeny dva kompenzační

břity, které na sebe při rotaci nástroje kolem své osy plynule navazují, břity jsou přes sebe přesazeny, aby nedocházelo ke zhoršení jakosti povrchu obrobené plochy.



Obr. 4 Konstrukce funkčních ploch nástroje: a) čela; b) hřbetu; c) kompenzačních břitů.

Dokončený model nástroje s potřebným odlehčením hřbetu je zobrazen na obr. 5.



Obr. 5 Dokončený 3D model frézovacího nástroje.

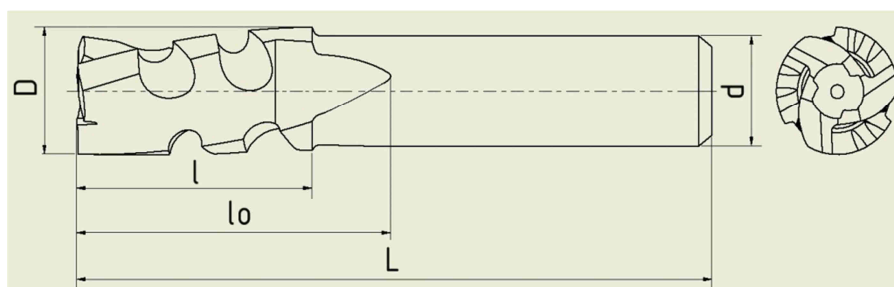
5.2 Výroba prototypu nástroje

Na základě navržené geometrie frézovacího nástroje byla jako hlavní výrobní technologie zvolena metoda přesného lití do skořepinové formy pomocí vytavitelného voskového modelu. Na základě vytisknutého plastového modelu nástroje byla vyrobena dvoudílná silikonová forma, do které byly odlity voskové modely, které slouží pro výrobu skořepinové formy, do které byly odlity kovové prototypy frézovacích nástrojů. Po odlití nástrojů následovalo žíhání naměkko, aby bylo možné funkční plochy prototypu nástroje přebrousit. Dalším krokem bylo tepelné zpracování a depozice PVD povlaků. Nový nástroj je označován jako „RMC“ (Roughing Milling Cutter = hrubovací fréza).

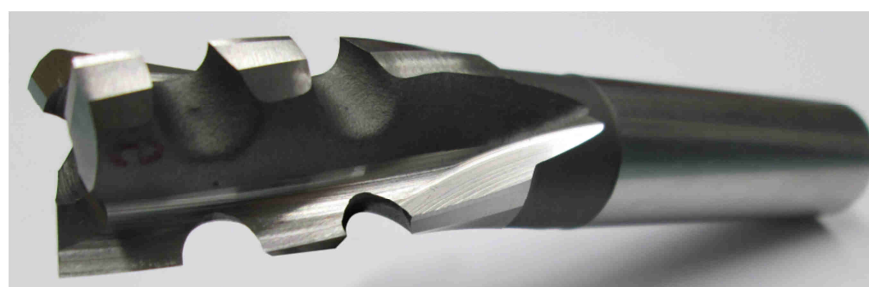
Tab. 1 Konečné parametry prototypu frézovacího nástroje.

Popis	Označení	Hodnota	Jednotka
Počet zubů	z	3	-
Průměr nástroje	D	18,45	mm
Úhel sklonu šroubovice	λ_s	17	°
Ortogonální úhel čela	γ_0	7	°
Délka nástroje	L	96	mm
Délka řezné části	l	36	mm
Délka řezné části s výběhem	l_0	48	mm

Dokončený prototyp nástroje RMC je zobrazený na obr. 6, konečné parametry jsou uvedeny v tab. 1.



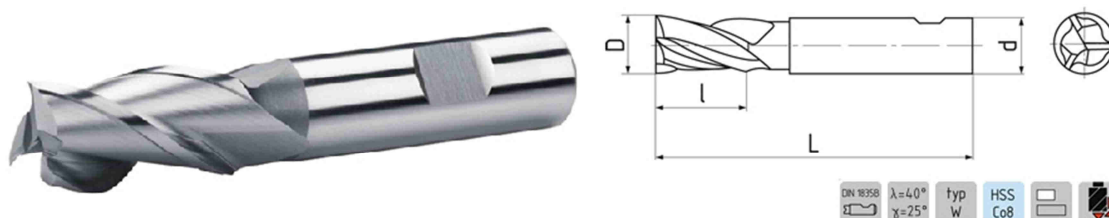
Obr. 6 Schéma prototypu frézovacího nástroje RMC.



Obr. 7 Dokončený prototyp frézovacího nástroje RMC.

6 OBROBITELNOST RŮZNORODÝCH MATERIÁLŮ

Pro výběr vhodného materiálu pro dlouhodobé řezné testy byl proveden vždy jeden průjezd sousledně a jeden nesousledně do materiálů s různou obrobitelností. Postupně bylo obráběno umělé dřevo SikaBlock M450, dále hliníkové slitiny AlCu4MgSi a AlSi9Cu3 bez použití procesní kapaliny. Pro posouzení vhodnosti použití nástroje RMC pro běžně používané konstrukční oceli, byly provedeny dva průjezdy do ocelí ČSN 41 2050 a ČSN 41 5142 s přispěním procesní kapaliny, složené z koncentráту CIMSTAR 597 a vody v poměru 5:100. Pro porovnání naměřených dat byla zvolena katalogová fréza od společnosti ZPS – frézovací nástroje (obr. 8), která je dále označována jako „ZPS“. Experiment probíhal na vertikální frézce FB 32V, která je součástí strojového parku ÚST FSI VUT v Brně, v jejímž vřetenu byla upnuta stopková fréza (RMC, ZPS).



Obr. 8 Válcová čelní fréza Ø18-92mm, 1 břit přes střed; HSS Co8 [13].

Tab. 2 Nastavené řezné podmínky pro obrábění bez použití procesní kapaliny.

Řezné podmínky	Označení	Rozsah hodnot	Jednotka
Řezná rychlost	v_c	80	m/min
Otáčky	n	1400	1/min
Posuvová rychlost	v_f	200	mm/min
Posuv na zub	f_z	0,0476	mm
Šířka záběru ostří	a_p	24	mm
Radiální šířka záběru	a_e	2 (9)	mm

Tab. 3 Nastavené řezné podmínky pro obrábění obou typů ocelí.

Řezné podmínky	Označení	Rozsah hodnot	Jednotka
Řezná rychlost	v_c	50 (31,5)	m/min
Otáčky	n	900 (560)	1/min
Posuvová rychlost	v_f	125 (80)	mm/min
Posuv na zub	f_z	0,0463 (0,0476)	mm
Šířka záběru ostří	a_p	24	mm
Radiální šířka záběru	a_e	2	mm

Poznámka: Hodnoty v závorce jsou v tab. 2 uvedeny pro obrábění umělého dřeva a v tab. 3 pro obrábění oceli ČSN 41 1542.

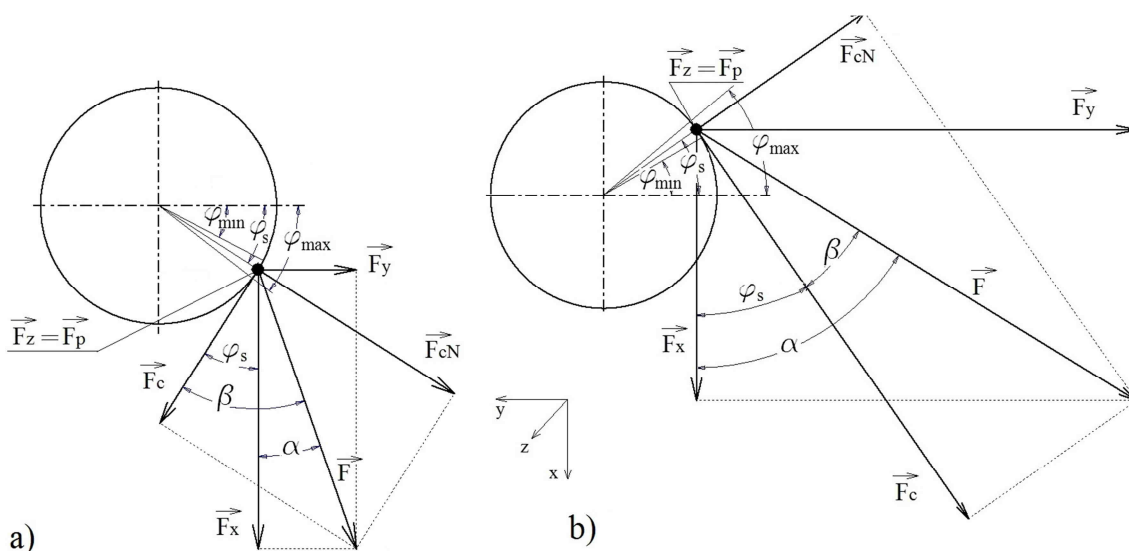
6.1 Analýza silového zatížení při frézování

Pro analýzu silového zatížení byl použit dynamometr KISTLER 9257B, vybavený nábojovými zesilovači KISTLER 9011A, o jejíž obsluhu se stará notebook s vyhodnocovacím softwarem Dynoware. Vzorkovací frekvence byla nastavena na 1500 Hz. Zapojení celé aparatury je zobrazeno na obr. 9.



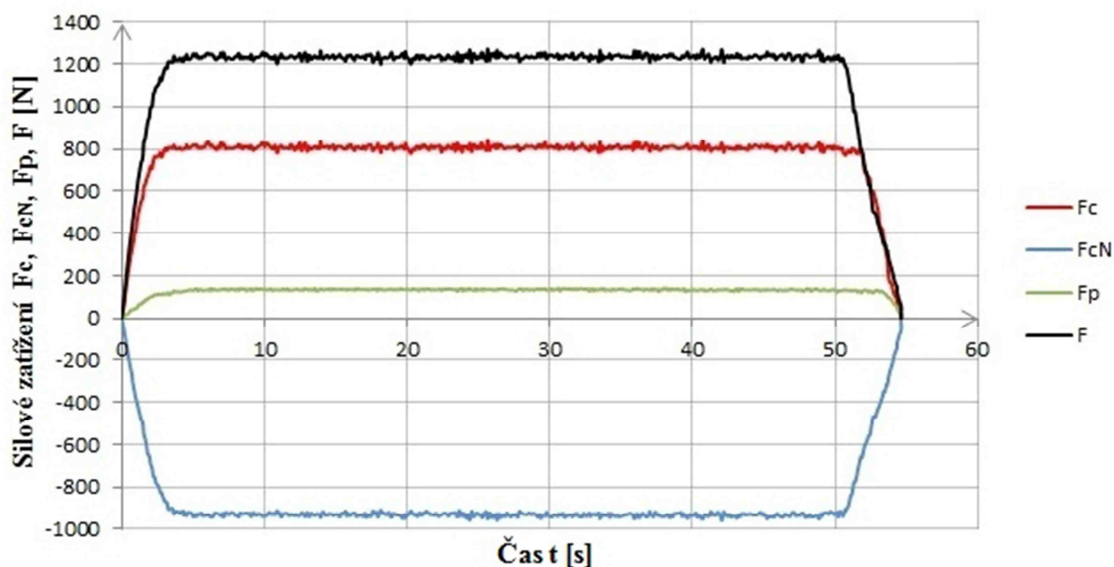
Obr. 9 Schéma měřicí aparatury Kistler.

Dynamometr snímá reakce vyvolané odebráním třísky řezným nástrojem v nastaveném měřeném průběhu frézování v kartézském souřadném systému (F_x , F_y , F_z), který je možno, v závislosti na úhlu natočení frézy, transformovat do souřadného systému (F_c , F_{cN} , F_p). Rozložení silového zatížení při sousledném i nesousledném frézování je zobrazeno na obr. 10. Takto získané data byla převedena do textového souboru (txt), z důvodu jejich profiltrování (pro maximální průřez třísky) v softwaru Matlab a vyhodnoceny v tabulkovém procesoru Excel. Z jednotlivých vyfiltrovaných složek byla spočítána celková síla F a její jednotlivé silové složky F_c - řezná síla, F_{cN} - normálová síla a F_p - pasivní síla, které jsou dále užity pro sestavení silového zatížení v závislosti na čase při nesousledném a sousledném frézování všech pěti různorodých materiálů.

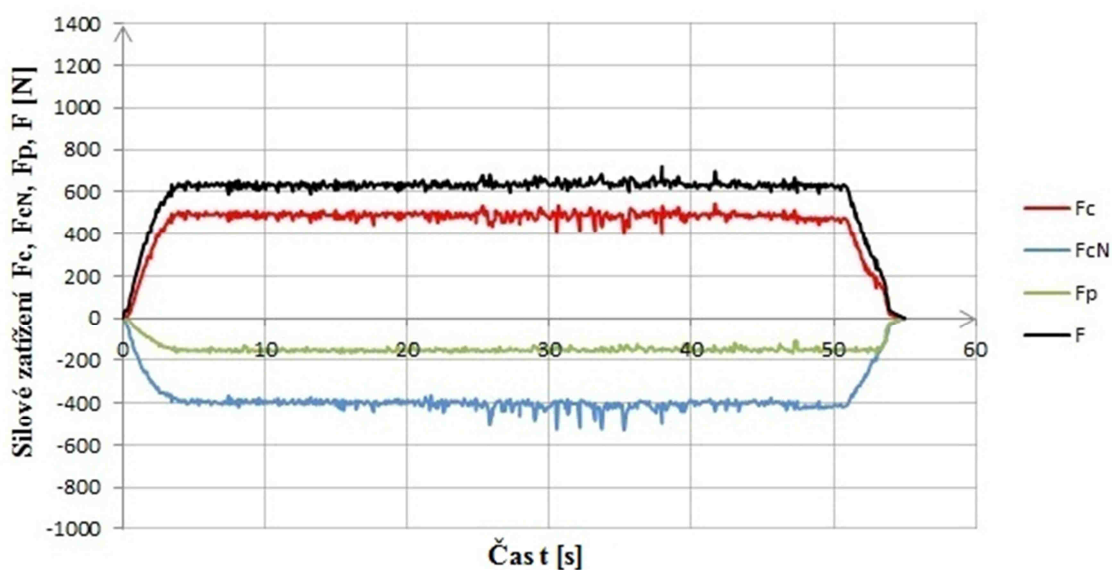


Obr. 10 Rozložení silového zatížení při frézování:
a) nesousledné; b) sousledné.

6.2 Průběhy silového zatížení při sousledném a nesousledném frézování

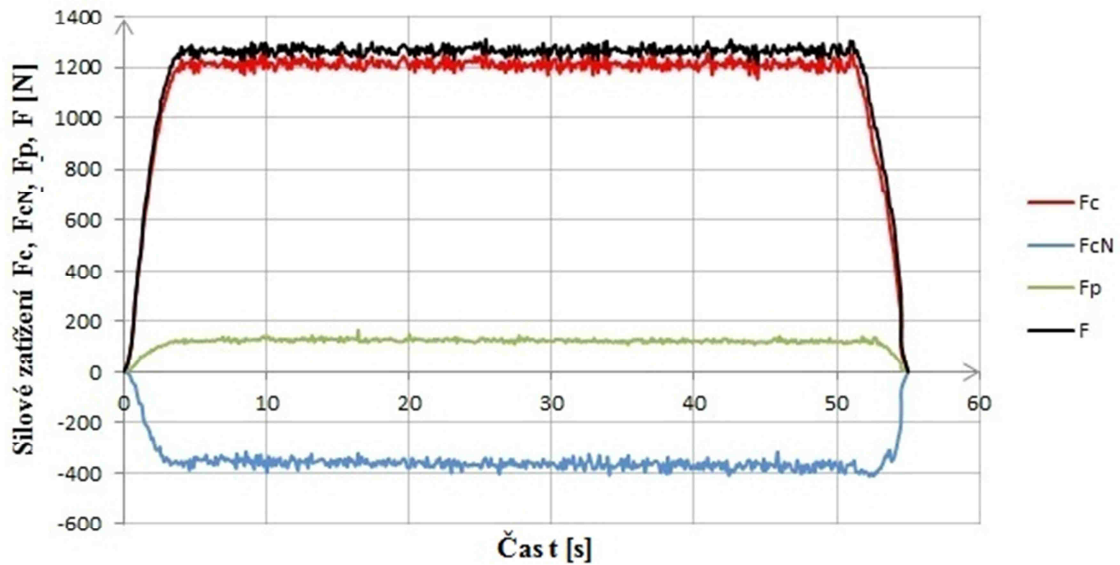


Obr. 11 Průběh silového zatížení v závislosti na čase pro nepovlakovanou stopkovou frézu RMC při nesousledném frézování oceli ČSN 41 2050.

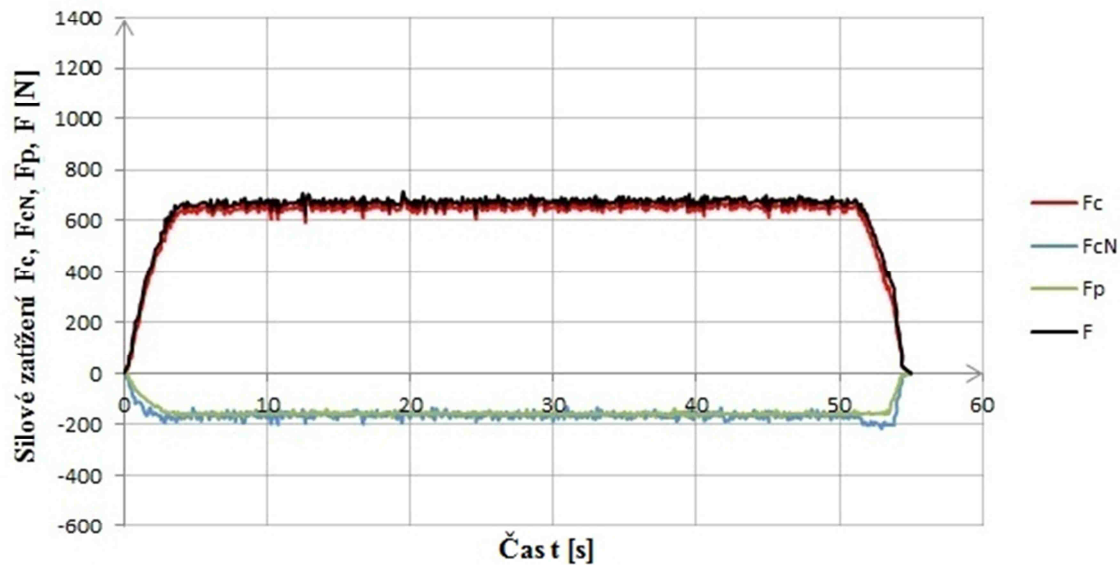


Obr. 12 Průběh silového zatížení v závislosti na čase pro nepovlakovanou stopkovou frézu ZPS při nesousledném frézování oceli ČSN 41 2050.

Z průběhu silového zatížení při obrábění oceli 12 050 je patrné, že při použití katalogového nástroje ZPS byly dosaženy nižší hodnoty působících silových složek F_c , F_{cN} a F_p a celkové síly F při nesousledném i sousledném frézování při obrábění všech materiálů (s výjimkou umělého dřeva) ve srovnání s nástrojem RMC.



Obr. 13 Průběh silového zatížení v závislosti na čase pro nepovlakovanou stopkovou frézu RMC při sousledném frézování oceli ČSN 41 2050.



Obr. 14 Průběh silového zatížení v závislosti na čase pro nepovlakovanou stopkovou frézu ZPS při sousledném frézování oceli ČSN 41 2050.

Vyšší hodnoty řezné síly F_c jsou při obou typech frézování způsobeny děleným ostřím nástroje RMC (každý břit disponuje dvěma kompenzačními břity), které způsobuje větší rázy při najíždění jednotlivých zubů do záběru. Značný vliv na velikost řezné síly má i směr natočení a úhel stoupání šroubovice λ_s . Větší rázy

jsou také způsobené menší hodnotou úhlu stoupání šroubovice, který je u nástroje RMC 17° (ZPS 40°). Dělené ostří má však tu výhodu, že vznikající třísky jsou menších rozměrů a jsou lépe odváděny z místa řezu, lepší odvod třísek je také způsoben menším úhlem stoupání šroubovice. Kladná hodnota pasivní síly F_p je u nástroje RMC způsobena právě přetočenou šroubovicí, než kterou disponuje standardní katalogový nástroj ZPS.

Průběh silového zatížení při obrábění „umělého dřeva“ SikaBlock M450 ukázalo, že při použití nástroje RMC bylo při sousledném frézování dosaženo nižší hodnoty řezné síly. Průměrné hodnoty řezné síly $F_c=42\text{N}$ (fréza RMC) a $F_c=45\text{N}$ pro frézu ZPS (= rozdíl 3N , který představuje $7,14\%$ nárůst). Silové zatížení při obrábění umělého dřeva je velmi malé, tudíž je relativní nárůst řezné síly F_c , při použití nástroje ZPS, zanedbatelný.

Obrábění obou hliníkových slitin vykazovalo téměř shodné průběhy silového zatížení při použití obou nástrojů při sousledném i nesousledném frézování. Nižších hodnot všech silových složek i celkové síly F bylo dosaženo při použití nástroje ZPS, který vykazoval také lepší stabilitu obráběcího procesu v porovnání s nástrojem RMC.

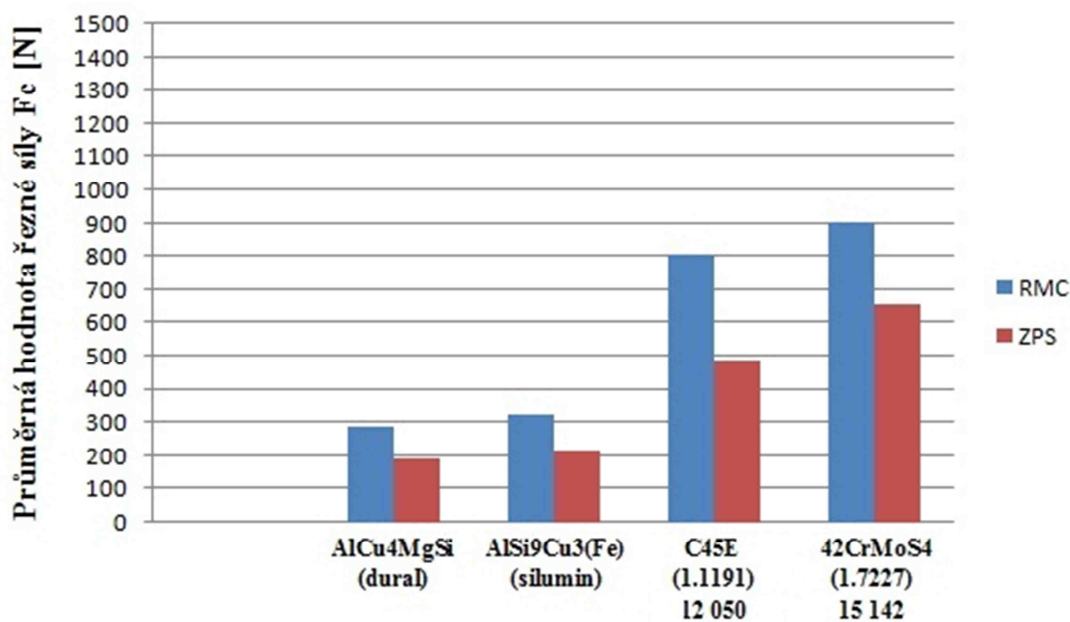
Na stabilitu obráběcího procesu má značný vliv použití procesní kapaliny (chlazení, mazání, odvod třísek z místa řezu), z toho důvodu byla pro obrábění obou typů ocelí použita procesní kapalina CIMSTAR 597.

Při obrábění oceli 12 050 bylo silové zatížení (při sousledném i nesousledném frézování) vyšší při použití frézy RMC v porovnání s nástrojem ZPS. Z průběhů jednotlivých silových složek je patrný stabilní proces obrábění u obou testovaných nástrojů, s výjimkou nesousledného frézování nástrojem ZPS (obr. 12). Rozptyl hodnot silových složek F_c a F_{cN} byl pravděpodobně způsobený ulpívající se třískou na vzniklou obrobenou plochu obrobku. Problém nalepujících se dlouhých třísek u nesousledného frézování byl u nástroje RMC potlačen děleným ostřím, které způsobuje tvorbu kratších třísek, které jsou lépe odváděny z místa řezu. Vyšší hodnoty jednotlivých silových složek (u nástroje RMC) je možné opět přičíst dělenému ostří, natočení a úhlu stoupání šroubovice.

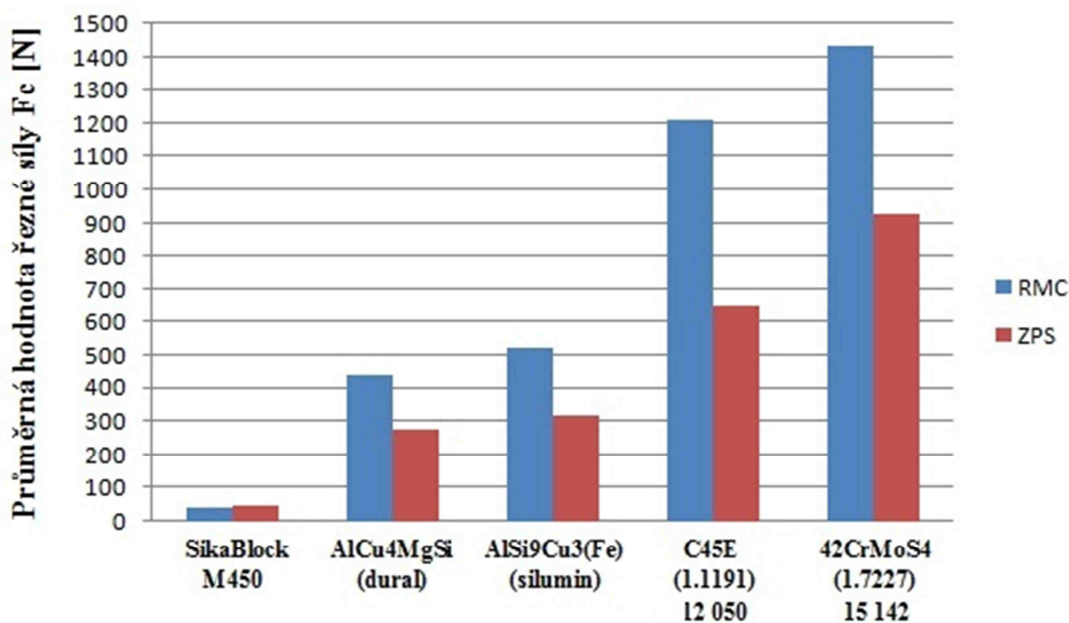
Při obrábění oceli 15 142 bylo silové zatížení nástroje opět vyšší při použití frézy RMC. U sousledného frézování lze u obou nástrojů pozorovat stabilní proces obrábění, ke kterému přispělo i použití procesní kapaliny.

Z průběhů silových zatížení je patrné, že použití procesní kapaliny má pozitivní vliv nejen na stabilitu obráběcího procesu, ale také na kvalitu obrobené plochy. Kvalita obrobené plochy byla lepší při sousledném frézování, jelikož se řezný nástroj „neotírá“ o již obrobenou plochu součásti (obrobku). Sousledné frézování také vykazovalo menší hlučnost, v porovnání s frézováním nesousledným.

Poznámka: Dosažené hodnoty naměřených řezných sil při nastavených řezných podmínkách (tab. 2-3) při obrábění různorodých materiálů jsou pro nesousledné frézování zobrazeny na obr. 15 a pro sousledné frézování na obr. 16.



Obr. 15 Porovnání průměrných hodnot řezných sil při nesousledném frézování různorodých materiálů.



Obr. 16 Porovnání průměrných hodnot řezných sil při sousledném frézování různorodých materiálů.

U sousledného frézování hodnota řezné síly F_c převyšovala ve všech případech (platí pro oba testované nástroje) hodnotu normálové síly F_{cN} , z toho důvodu byl nástroj vtahován do řezu a nedocházelo ke zhoršení kvality obrobené plochy.

Z výše popsaných důvodů bylo pro dlouhodobé řezné testy zvoleno sousledné frézování ušlechtilé konstrukční oceli ČSN 41 2050.

7 DLOUHODOBÉ ŘEZNÉ ZKOUŠKY

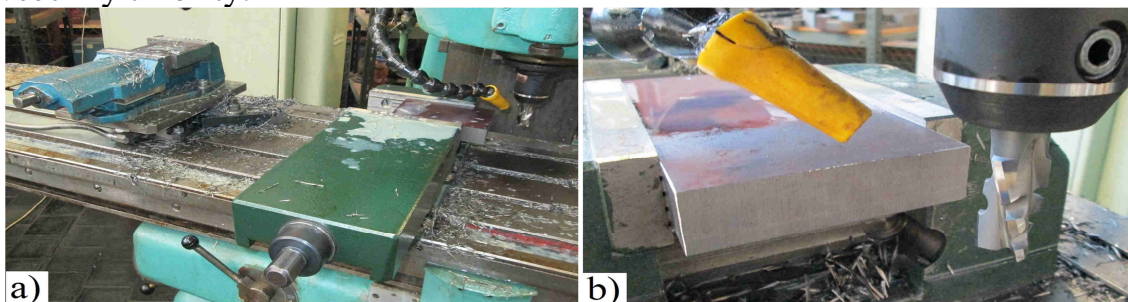
Na základě provedených řezných zkoušek, které jsou uvedeny v kap. 6, bylo rozhodnuto, že pro dlouhodobé testování byla zvolena ocel ČSN 41 2050 o rozměrech 100x26-150mm.

Pro provedení experimentu byly použity nástroje RMC, pro porovnání naměřených dat byly opět použity nástroje od společnosti ZPS - Frézovací nástroje. K dispozici bylo celkem 8 řezných nástrojů, 4 nástroje RMC a 4 ZPS. Na nástrojích byly deponovány PVD povlaky (Al,Ti)N, (Al,Ti,Cr)N a nanokompozitní povlak nACo®, které byly na nástroje nanášeny společností Liss a.s. [14]. Pro zhodnocení přínosu nanosených PVD povlaků byly při stejných řezných podmínkách použity i nástroje nepovlakované. Charakteristiky jednotlivých nanosených povlaků jsou znázorněny v tab. 4. Technologie nanosení, vlastnosti a použití PVD povlaků jsou podrobně rozepsány v odborných článcích a literatuře [3,4,15-20].

Tab. 4 Charakteristika nanosených PVD povlaků.

Označení	Struktura	Barva	Nano- tvrdost [GPa]	Tloušťka [μm]	Koef. tření [-]	Max. teplota [°C]
(Al,Ti)N	mono-vrstva	černá	33	1-4	0,70	850
(Al,Ti,Cr)N	mono-vrstva	šedo-modrá	34	1-4	0,55	900
nACo®	nano-vrstva	fialovo-černá	45	1-4	0,45	1200

Experiment probíhal na vertikální frézce FB 32V, na které bylo provedeno 50. průjezdů při stejných řezných podmínkách všemi testovanými nástroji. Aby nebyl zbytečně zatěžován dynamometr Kistler, probíhalo sousledné frézování na dvou místech (obr. 17) Na pracovním stole frézky byly připevněny dva svěráky, ve kterých byl upnut obráběný materiál, přičemž k jednomu svěráku byl připojen dynamometr Kistler. Při testování všech osmi nástrojů byl vždy měřen 1., 10., 20., 30., 40. a 50. průjezd, ostatní průjezdy byly provedeny do materiálu, který byl upnut do druhého svěráku. Po výše zmíněných průjezdech byl vždy nástroj odepnut a bylo měřeno hřbetní opotřebení nástroje (kritérium VB) pomocí dílenského mikroskopu pro všechny tři břity.

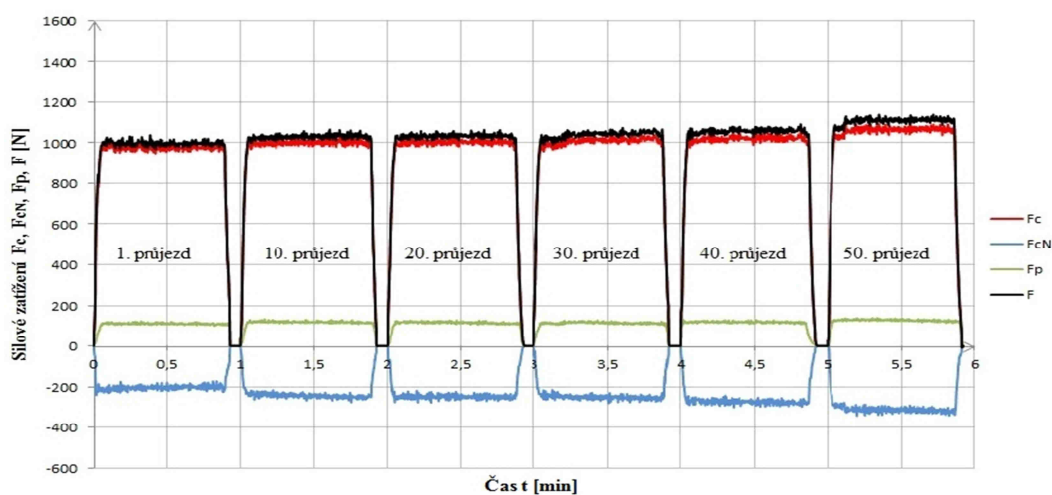


Obr. 17 Průběh experimentu.

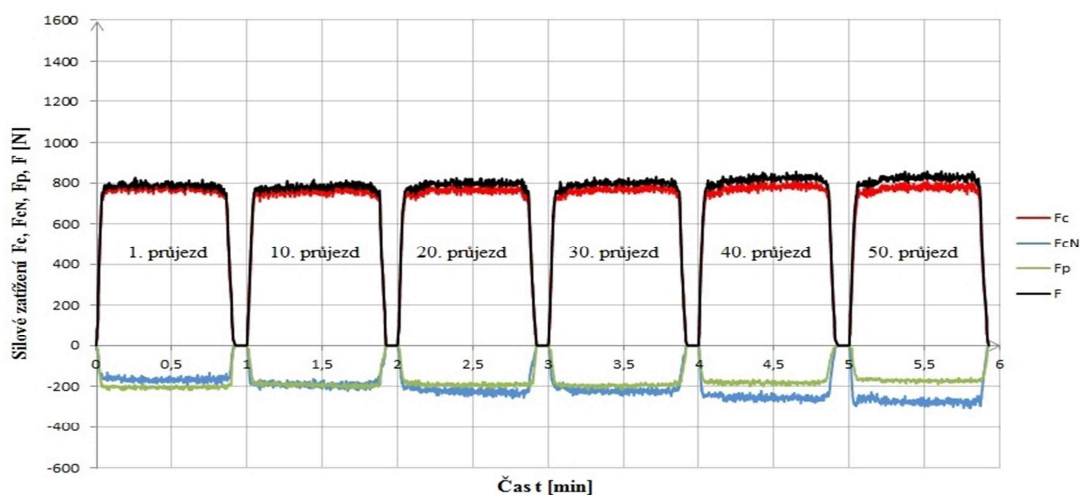
Tab. 5 Nastavené řezné podmínky.

Řezné podmínky	Označení	Rozsah hodnot	Jednotka
Řezná rychlost	v_c	65	m/min
Otáčky	n	1120	1/min
Posuvová rychlost	v_f	160	mm/min
Posuv na zub	f_z	0,0476	mm
Šířka záběru ostří	a_p	26	mm
Radiální šířka záběru	a_e	2	mm

7.1 Vyhodnocení silového zatížení při sousledném frézování



Obr. 18 Průběh silového zatížení v závislosti na čase pro frézu RMC s PVD povlakem (Al,Ti,Cr)N při sousledném frézování oceli ČSN 41 2050.



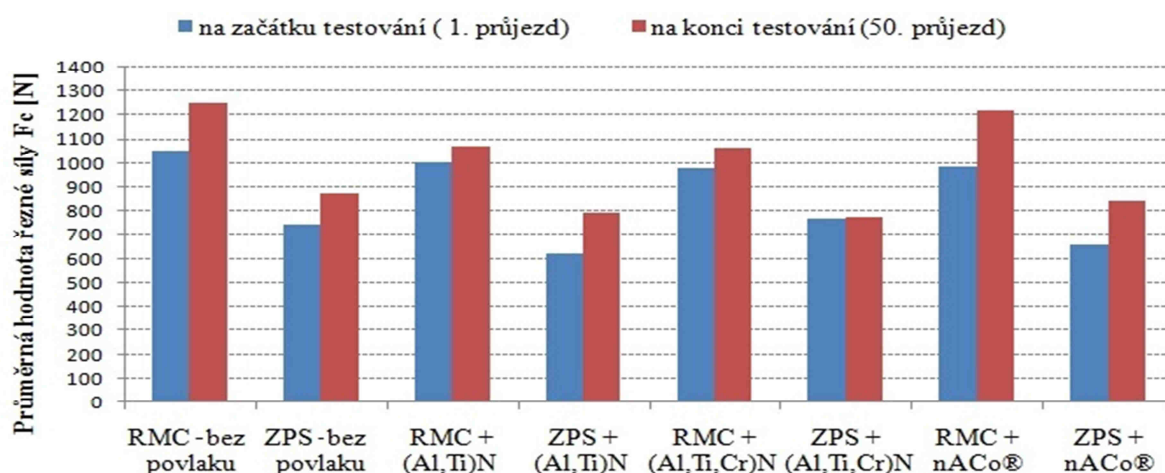
Obr. 19 Průběh silového zatížení v závislosti na čase pro frézu ZPS s PVD povlakem (Al,Ti,Cr)N při sousledném frézování oceli ČSN 41 2050.

Poznámka: Časová osa u obr. 18 – obr. 19 neodpovídá reálným časům obrábění z toho důvodu, aby bylo možné k sobě sestavit jednotlivé měřené průběhy (1., 10., 20., 30., 40. a 50. průjezd). Reálný čas odpovídající jednomu průjezdu je $t=0,925\text{min}$ ($t=55,5\text{ s}$), což pro všechny provedené průjezdy (50 průjezdů) odpovídá celkovému času obrábění $t=46,25\text{ min}$.

Z průběhu silových zatížení při sousledném frézování oceli ČSN 41 2050 je patrné, že při použití nově navrženého nástroje RMC byly dosaženy vyšší hodnoty řezné síly F_c a celkové síly F ve srovnání s nástrojem ZPS. Vyšší hodnoty řezné síly F_c , u nástroje RMC, byly způsobeny především menším úhlem stoupání šroubovice λ_s a jejím natočením. Úhel stoupání šroubovice je u nástroje RMC 17° a u ZPS 40° . Vyšší hodnoty úhlu stoupání šroubovice způsobují plynulejší najetí nástroje do záběru, takže jsou generovány menší rázy při najíždění nástroje do obrobku. Větší rázy jsou u nástroje RMC také způsobeny děleným ostřím nástroje (každý břit je složen ze dvou kompenzačních břitů).

Z výše popsaných důvodů je zřejmé, že řezná síla F_c a tím pádem i výsledná celková síla F dosahuje při použití nástroje RMC vyšších hodnot v porovnání s nástrojem ZPS. Dělené ostří má však tu výhodu, že vznikající třísky jsou menších rozměrů a jsou lépe odváděny z místa řezu (při použití katalogového nástroje ZPS se vznikající třísky nalepovaly na obrobenou plochu). Kladná hodnota pasivní síly F_p je u nástroje RMC způsobena přetočenou šroubovicí, než kterou disponuje standardní katalogový nástroj ZPS.

Dosažené průměrné hodnoty řezné síly F_c na začátku a na konci testování jsou zobrazeny v tab. 6 a na obr. 20. Monitorovaným parametrem nebyla hodnota řezné síly F_c na začátku ani na konci frézování, ale její relativní nárůst v průběhu opotřebení nástroje, získaný právě z naměřených hodnot na začátku a na konci testování.



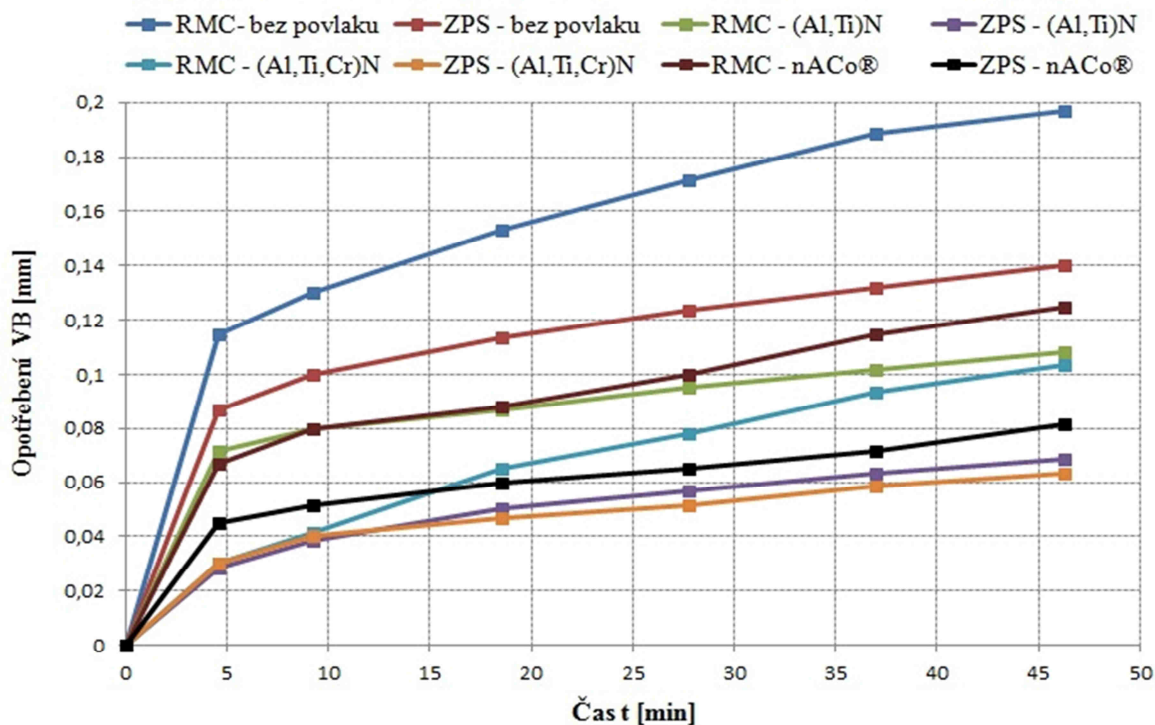
Obr. 20 Průměrné hodnoty řezné síly F_c na začátku a konci frézování pro všechny testované nástroje při sousledném frézování oceli ČSN 41 2050.

Tab. 6 Průměrné hodnoty řezné síly Fc na začátku a konci frézování.

Nástroj	Fc na začátku testování [N]	Fc na konci testování [N]	Hodnota nárůstu řezné síly Fc [N]	Relativní nárůst řezné síly Fc [%]
RMC – bez povlaku	1052	1247	195	18,54
ZPS – bez povlaku	745	874	129	17,32
RMC + (Al,Ti)N	1000	1070	70	7,00
ZPS + (Al,Ti)N	622	793	171	27,49
RMC + (Al,Ti,Cr)N	975	1062	87	8,92
ZPS + (Al,Ti,Cr)N	765	773	8	1,05
RMC + nACo®	982	1215	233	23,73
ZPS + nACo®	655	840	185	28,24

7.2 Opatření řezných nástrojů

Pro měření opotřebení řezných nástrojů bylo zvoleno kritérium VB (šířka fazetky opotřebení na hřbetě). Bylo provedeno 50 průjezdů při sousledném frézování konstrukční oceli ČSN 41 2050. Opatření bylo měřeno metodicky pomocí dílenského mikroskopu. Byly vždy měřeny všechny tři břity obou testovaných stopkových fréz (RMC, ZPS), při 1., 5., 10., 20., 30., 40. a 50. průjezdu materiálem. 50 průjezdů obráběným materiálem odpovídá trvanlivosti nástroje T=46,25min.



Obr. 21 Průběhy opotřebení VB pro všechny testované nástroje.

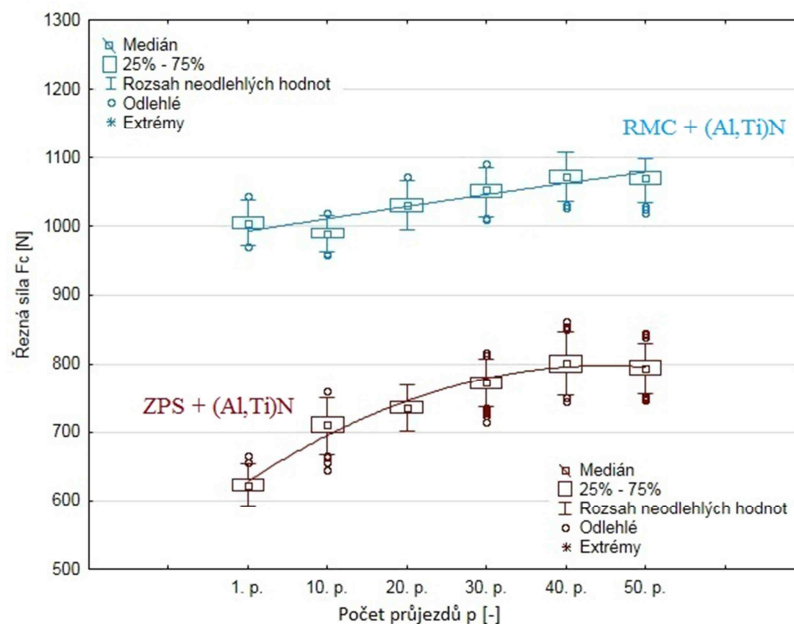
Poznámka: Měřené hodnoty opotřebení VB vykazovaly přibližně stejné hodnoty pro jednotlivé břity, proto pro porovnání opotřebení jednotlivých nástrojů byly stanoveny průměrné hodnoty VB. Grafické průběhy naměřených hodnot jsou zobrazeny na obr. 21.

Tab. 7 Dosažené hodnoty opotřebení VB.

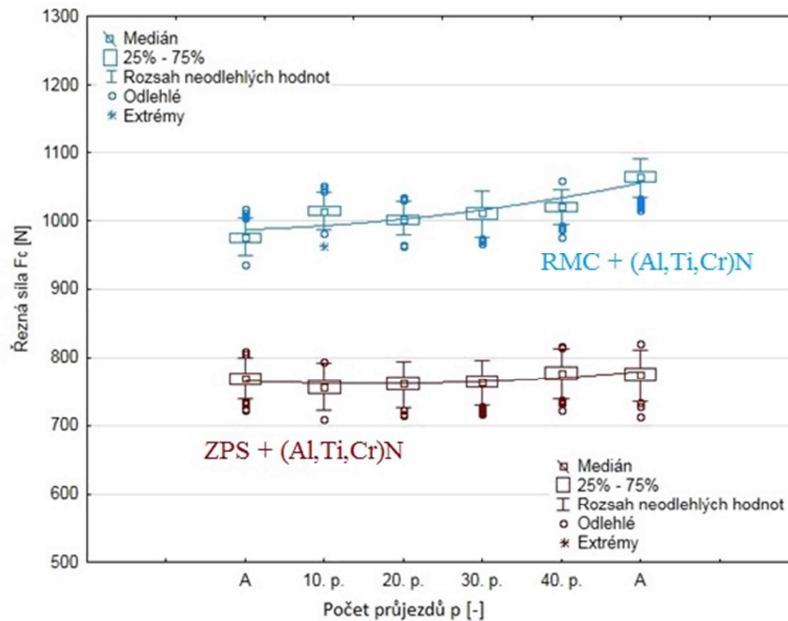
Nástroj	Opotřebení VB [mm]	Trvanlivost T[min]
RMC -bez povlaku	0,197	46,25
ZPS - bez povlaku	0,140	
RMC + (Al,Ti)N	0,108	
ZPS + (Al,Ti)N	0,068	
RMC + (Al,Ti,Cr)N	0,103	
ZPS + (Al,Ti,Cr)N	0,063	
RMC + nACo®	0,125	
ZPS + nACo®	0,082	

7.3 Analýza řezných sil v průběhu opotřebení nástroje

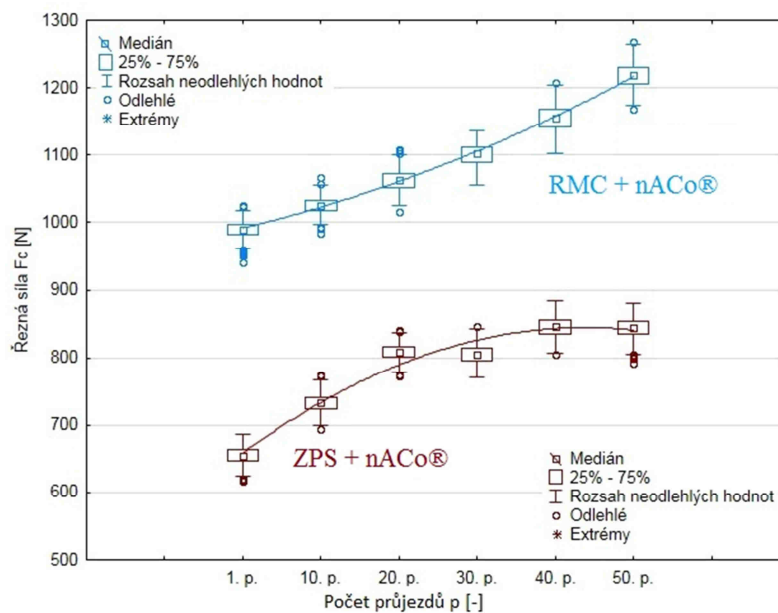
Pro analýzu naměřených řezných sil F_c při sousledném frézování oceli ČSN 41 2050 byly sestaveny následující grafické závislosti, které byly provedeny v software STATISTICA. Z použitých hodnot byly vynechány hodnoty získané při najetí nástroje do obrobku a hodnoty při vyjetí nástroje z obrobku, aby nedošlo ke zkreslení hodnoty řezné síly F_c a nedocházelo k velkému výskytu odlehlých hodnot, potažmo extrémů. Pro všechny testované nástroje nastal předpokládaný trend, že řezná síla F_c v průběhu opotřebení má rostoucí charakter. Celkový čas obrábění byl $t=46,25$ min, který se rovná 50 průjezdům obráběným materiálem.



Obr. 22 Vývoj řezné síly F_c s rostoucím opotřebením pro frézy s PVD povlakem (Al,Ti)N.



Obr. 23 Vývoj řezné síly F_c s rostoucím opotřebením pro frézy s PVD povlakem (Al,Ti,Cr)N.



Obr. 24 Vývoj řezné síly F_c s rostoucím opotřebením pro frézy s PVD povlakem nACo®.

Ze sestavených závislostí je patrné, že povlaky na bázi nitridu Al - Ti jsou vhodnou volbou pro nástroje pracující s přerušovaným řezem a značně přispívají k pomalému nárůstu řezné síly F_c v průběhu testování nástroje (s rostoucím opotřebením). Pouze řezné nástroje s nanokompozitním povlakem nACo®, který je složen ze dvou složek (nc-AlTiN) a (a-Si₃N₄) dokázaly přesný opak. Oba nástroje

dosahovaly největšího procentuálního nárůstu (více než 20%) řezné síly F_c v průběhu testování pro zvolené řezné podmínky při sousledném frézování konstrukční oceli ČSN 41 2050.

7.4 Pevnostní analýza napjatosti a deformace nástroje

Pro provedení pevnostní analýzy, pro nově navrženou geometrii řezného nástroje RMC, byly použity data získaná při frézování oceli ČSN 41 2050. Analýza byla provedena v systému Autodesk Inventor Professional 2015. Plocha, na kterou působí jednotlivé silové složky je obecného tvaru. Stanovení této plochy je velice obtížné, protože se jedná o zcela obecnou plochu. Pro výpočet byla použita plocha určená radiální šířkou záběru $a_e=2\text{mm}$ (délka plochy před rozdělením na jednotlivé segmenty odpovídala šířce záběru ostří $a_p=26\text{mm}$). Z toho důvodu, že je každý břit opatřen tzv. kompenzačními břity, bylo nutné plochu rozdělit na několik segmentů a následně silově zatížit.

Byla nalezena **dvě významná místa** s koncentrací napětí. Tyto místa byly shodné na začátku (po 1. průjezdu) a na konci testování (po 50. průjezdu):

- **kompenzační břit** – je namáhaný nejvíce z celého nástroje, důsledkem je ostrá čelní plocha, která tvoří napjatostní vrub,
- **upnutí nástroje** – koncentraci napětí je možné pozorovat v místě upnutí nástroje.

Tab. 8 Maximální dosažené hodnoty redukovaného napětí a posunutí.

Nástroj	Hodnota napětí von Mises na začátku test. [MPa]	Hodnota napětí von Mises na konci test. [MPa]	Relativní nárůst napětí von Mises [%]	Hodnota posunutí na začátku test. [mm]	Hodnota posunutí na konci test. [mm]	Relativní nárůst posunutí [%]
RMC bez povlaku	299,3	359,2	20,01	0,1246	0,1495	19,98
RMC + (Al,Ti)N	286,2	306,7	7,16	0,1191	0,1275	7,05
RMC + (Al,Ti,Cr)N	273,1	315,5	15,53	0,1136	0,1312	15,49
RMC + nACo®	281,8	341,7	21,25	0,1172	0,1422	21,33

8 ZÁVĚRY

Hlavním výsledkem dizertační práce je návrh nového designu frézovacího nástroje (označovaného zkratkou RMC), vyrobeného z rychlořezné oceli v několika provedeních pro hrubovací operace. Tento nástroj byl funkčně úspěšně ověřen pro sérii technických materiálů, za různých řezných podmínek a tento nástroj pod názvem „Fréza s kompenzačními břity pro hrubování“ byl úspěšně přijat Centrem transferu technologií pod číslem 2015/421 k patentování.

Nový nástroj je koncepčně konstruován jako vícebřitá čelní válcová stopková fréza, kdy každý břit nástroje je opatřen tvarovým vybráním, které poskytuje v tomto místě dva protilehlé kompenzační břity s příznivým účinkem na namáhání nástroje. Nejednalo se tedy pouze o drobnou technickou úpravu stávajících normovaných fréz s lamačem třísek nebo přerušením břitu, ale o novou koncepci řezného nástroje, kterou lze považovat za původní.

Pro konstrukci nástroje v softwaru Autodesk Inventor byla zvolena metoda simulace obrábění. Nástroj byl vyroben pomocí technologie přeného lití, kdy po odlití prototypu byly funkční plochy nástroje přebroušeny, následně byl nástroj tepelně zpracován a deponován třemi typy PVD povlaků - (Al,Ti)N; (Al,Ti,Cr)N a nanokompozitní povlak nACo®.

Z provedených řezných zkoušek při sousledném a nesousledném frézování různorodých materiálů (umělé dřevo, hliníkové slitiny, oceli) vyplynulo:

- řezná síla F_c dosahovala nižších hodnoty při použití nástroje ZPS (DIN 844, ISO 1641, ČSN 22 2130) při obrábění všech materiálů (s výjimkou umělého dřeva SikaBlock M450) v porovnání s nástrojem RMC,
- při sousledném frézování umělého dřeva SikaBlock M450 nástrojem RMC bylo naopak dosaženo nižší hodnoty (rozdíl cca 10%) řezné síly F_c a celkové síly F v porovnání s nástrojem ZPS,
- vyšší hodnoty řezné síly F_c jsou způsobeny především děleným ostřím nástroje RMC, které způsobuje větší rázy při najíždění jednotlivých zubů do záběru. Značný vliv na velikost řezné síly má i směr natočení a úhel stoupání šroubovice λ_s ,
- obrábění obou hliníkových slitin (AlCu4MgSi a AlCu9Si(Fe)) vykazovalo téměř shodné průběhy silového zatížení při použití obou nástrojů (vyšší hodnoty vykazoval nástroj RMC),
- frézování obou druhů ocelí (ČSN 41 2050 a ČSN 41 5142) probíhalo za použití procesní kapaliny. Z průběhů jednotlivých silových složek je patrný stabilní proces obrábění u obou testovaných nástrojů, s výjimkou nesousledného frézování nástrojem ZPS, kde rozptýl hodnot silových složek

Fc a FcN byl pravděpodobně způsobený ulpívající se třískou na vzniklou obrobenou plochu obrobku,

- problém ulpívajících se dlouhých třísek u nesousledného frézování obou typů ocelí byl u nástroje RMC potlačen děleným ostřím. Vyšší hodnoty jednotlivých silových složek (v porovnání s nástrojem ZPS) je možné opět přičíst dělenému ostří, natočení a úhlu stoupání šroubovice,
- jakost obrobené plochy byla lepší při sousledném frézování (pro oba testované nástroje), které také vykazovalo i menší hlučnost. U sousledného frézování hodnota řezné síly Fc převyšovala ve všech případech hodnotu normálové síly FcN, z toho důvodu byl nástroj vtahován do řezu a nedocházelo ke zhoršení kvality obrobené plochy.

Z průběhu silových zatížení byla pro dlouhodobé testování zvolena technologie sousledného frézování za použití procesní kapaliny, obráběným materiálem byla ušlechtilá konstrukční ocel ČSN 41 2050. Z dat získaných při dlouhodobém obrábění bylo dosaženo těchto výsledků:

- z průběhů silových zatížení je opět patrné, že dosažené hodnoty řezné síly Fc na začátku i na konci testování dosáhly vyšších hodnot při použití povlakovaných nástrojů RMC v porovnání s povlakovanými nástroji ZPS. Vyšší hodnoty byly opět způsobeny děleným ostřím nástroje, natočením šroubovice a úhlem stoupání šroubovice,
- všechny testované nástroje vydržely všech 50. průjezdů materiálem, to odpovídá celkovému strojnímu času $t=46,25\text{min}$.
- nejnižší relativní nárůst řezné síly Fc dosáhla fréza ZPS s PVD povlakem (Al,Ti,Cr)N (1,%), naopak nejvyšší nárůst byl zaznamenán při použití nástroje ZPS s nanokompozitním povlakem nACo® (28%),
- nejnižší hodnoty řezné síly na počátku testování dosáhl nástroj ZPS s povlakem (Al,Ti)N (Fc=622N), ale v průběhu testování a růstu opotřebení nástroje byl zaznamenán druhý nejvyšší relativní nárůst Fc (27,5%)
- jako velice vhodné PVD povlaky, deponované na nástroje RMC, se ukázaly povlaky (Al,Ti)N (7% nárůst Fc v průběhu testování) a (Al,Ti,Cr)N (9% nárůst),
- jako nejméně vhodný deponovaný povlak se ukázal nanokompozitní povlak nACo® u obou testovaných nástrojů (RMC i ZPS). U obou testovaných nástrojů bylo dosaženo více než 20% nárůstu řezné síly Fc v průběhu testování (24% u frézy RMC a 28% u frézy ZPS),
- hřbetní opotřebení měřené pomocí kritéria VB bylo na všech třech břitech všech testovaných nástrojů rovnoměrné,

- nejvyšších hodnot opotřebení dosáhly nepovlakované nástroje RMC ($VB=0,197\text{mm}$) a ZPS ($VB=0,140\text{mm}$), naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána pro nástroj ZPS s povlakem (Al,Ti,Cr)N ($VB=0,063\text{mm}$),
- rozsah neodlehých hodnot řezné síly F_c v průběhů testování u RMC nástrojů s PVD povlaky (Al,Ti)N a (Al,Ti,Cr)N nenabyl výraznějších změn, podobně také při použití nástroje ZPS s povlakem (Al,Ti,Cr)N. Výraznější změny byly zaznamenány u nepovlakovaných nástrojů RMC i ZPS.

Pro nově navrženou geometrii stopkových fréz RMC byla z dat získaných při dlouhodobém obrábění oceli ČSN 41 2050 provedena pevnostní analýza, ze které plyne:

- po provedení pevnostní analýzy napjatosti a deformace bylo zjištěno, že bylo dosaženo přibližně stejných hodnot redukovaného napětí podle podmínky HMH a hodnot posunutí nástroje pro všechny břity nástroje RMC,
- byla nalezena dvě významná místa s koncentrací napětí, v místě kompenzačních břitů a v místě upnutí nástroje,
- maximální dosažená hodnota redukovaného napětí podle podmínky von Mises dosáhla hodnoty $299,3\text{MPa}$ (na začátku testování) a $359,2\text{MPa}$ na konci testování u nepovlakovaného nástroje RMC,
- nejmenšího nárůstu redukovaného napětí podle podmínky HMH (von Mises) v průběhu testování bylo dosaženo při použití nástroje s PVD povlakem (Al,Ti)N.

Pomocí elektronové mikroskopie bylo zkoumáno opotřebení povlakovaných RMC i ZPS nástrojů, ze které plyne:

- došlo k částečnému opotřebení povlaku na všech testovaných nástrojích, které je dobře viditelné v režimu zpětně odražených elektronů (AsB), na pořízených fotografiích je více patrné čelní opotřebení nástroje.
- hřbetní opotřebení u všech testovaných nástrojů bylo pravděpodobně způsobené abrazivním otěrem,
- čelní opotřebení bylo způsobeno odváděnou třískou z místa řezu. Na čelních plochách jsou také patrné rýhy na čele, především u nástrojů ZPS s nanokompozitním povlakem nACo® a obou nástrojů s povlakem (Al,Ti,Cr)N.

REFERENCE

- [1] KESL, M. Rychlořezné ocele stále aktuální. *MM Průmyslové spektrum*. 2007 [online], [vid. 2013-09-24], Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/-rychlorezne-occele-stale-aktualni>.
- [2] FREMUNT, P., KREJČÍK, J., PODRABSKÝ, T. *Nástrojové oceli*. 1.vyd. Brno: Dům techniky, 1994. 230s.
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [4] SPROUL, W. Physical vapor deposition tool coatings. *Surface and Coatings Technology*. 1996, vol. 81, issue 1, s. 1-7. DOI: 10.1016/0257-8972(95)02616-9. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0257897295026169>.
- [5] CSELLE, T., CODDET, O., HOLUBÁŘ, P. Počítačová simulace růstu PVD povlaků a nová řada trojvrstevných povlaků. *MM Průmyslové spektrum*., [online], [vid. 2013-09-25], Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pocitacova-simulace-rustu-pvd-povlaku-a-nova-rada-trojvrstevnych-povlaku.html>.
- [6] ČÍP, J., ŠTOKSA, L. Doporučené otěruvzdorné povlaky pro HSS a jejich aplikační vymezení. *Frézování*. 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1999, s.21.-22. ISBN 80-214-1425-1.
- [7] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [8] FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [9] KOČMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [10] ZOUHAR, J. *Vývoj výkonných frézovacích nástrojů s využitím CAD/CAM a analýzy mechanismu tvorby třísky*. Disertační práce v oboru „Strojírenská technologie“. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie, 2009, 104s.
- [11] PÍŠKA, M., POLZER, A. Studie řezivosti hrubovacích fréz z produkce ZPS-FN, a.s., Zlín. *Sborník odborné konference Frézování III*. Brno: FSI VUT v Brně, 2003. s.145-158. ISBN 80-214-2436-2.
- [12] FOREJT, M., HUMÁR, A., PÍŠKA, M., JANÍČEK, L. Experimentální metody: Syllabus [online]. Brno, 2003 [vid. 2013-11-11]. Dostupné z:

<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/experimentalni_metody__cviceni__forejt_piska_humar_janicek.pdf>.

- [13] *Katalog nástrojů společnosti ZPS - Frézovací nástroje*. ZPS - Frézovací nástroje, Zlín, Česká Republika [online]. [vid. 2013-11-14]. Dostupné z: <http://www.zps-fn.cz/katalog-frez/>.
- [14] *Virtuální prohlídka společnosti Liss*. Liss a.s., Rožnov pod Radhoštěm, Česká Republika [online], [vid. 2013-11-01]. Dostupné z: <http://www.liss.cz/>.
- [15] MATTOX, D. *Handbook of Physical vapor deposition (PVD) processing: principles, technology, and applications*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2010, xlvii, 746 s. ISBN 978-0-81-552037-5.
- [16] SREEHARSHA, K. *Principles of Physical vapor deposition of thin films*. Amsterdam: Elsevier, 2006, xi, 1160 s. ISBN 00-804-4699-X.
- [17] MOLLER, P., NIELSEN, L. *Advanced surface technology: volume 1*. 1.vyd. Denmark, 2013, 582s. ISBN 978-87-92765-15-4.
- [18] OHRING, M. *Materials science of thin films: deposition and structure*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2002. ISBN 01-252-4975-6.
- [19] MUROTANI, T., HIROSE, H., SASAKI, T. at all. Study on stress measurement of PVD-coating layer. *Thin Solid Films*. 2000, 377-378, pp. 617-620. DOI: 10.1016/S0040-6090(00)01280-3.
- [20] HOLUBÁŘ, P., ŠÍMA, M., ZINDULKA, O. Technologie úprav nástrojů před a po povlakování. *MM Průmyslové spektrum*. září 2005, č. 9. s. 70-72. Praha: SEND Předplatné s.r.o., 2005. ISSN 1212-2572.

CURRICULUM VITAE

Ing. Aleš Jaroš
narozen 31. 08. 1985
svobodný

Kontakt

Dvořákova 7, 750 02 Přerov
Telefon: 776 635 906
E-mail: jaros.ales@seznam.cz

Vzdělání

- Aktuální studium Doktorské: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, studijní obor Strojírenská technologie
Téma DP: Nové frézovací nástroje z rychlořezné oceli pro hrubovací operace
- 2008-2010 Magisterské: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, studijní obor Strojírenská technologie a průmyslový management
Téma DP: Aplikace PVD povlaků pro čelní frézování
- 2005-2008 Bakalářské: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, studijní obor Strojní inženýrství
Téma BP: Vrtáky z rychlořezných ocelí a jejich využití
- 2001-2005 Střední průmyslová škola, Přerov, obor Strojírenství

Kurzy, osvědčení

- 2011 3D modelování v software Autodesk Inventor
- 2011 Základní školení v seřizování, programování a práci se sondami Renishaw

Pedagogická praxe – výuka na VUT v Brně

Technologie obrábění.

Výrobní technologie II.

Aplikace CAD/CAM v technologii obrábění I.

Posudky na bakalářské/diplomové práce.

Účast na výzkumných projektech

- 2014 Analýza zvukového spektra obráběcího procesu
- 2013 Výzkum pokročilých technologií obrábění pro konkurenceschopné strojírenství
- 2013 Analýza měrných řezných sil pro nové obráběné materiály
- 2011 Analýza řezivosti a opotřebení nástrojů z HSS ocelí s PVD povlaky na bázi (Al,Ti,Cr)N a jejich dynamických vlastností s využitím modální analýzy při čelním frézování

Vedoucí a hlavní řešitel projektu

- 2012 Nový HSS frézovací nástroj s vnitřním chlazením pro hrubování

Jiné dovednosti

Anglický jazyk velmi pokročilý

Německý jazyk začátečník

Řidičský průkaz skupiny A, B

Znalost práce na PC: Autodesk Inventor, AutoCad, PTC Creo, Statistica, Minitab, Matlab, MS Office.

Zájmy

PC, rodina, pes, sport (florbal, tenis, běh, běžecké lyžování, cyklistika).

Abstrakt

Dizertační práce je zaměřena na návrh, konstrukci a výrobu nového frézovacího nástroje pro hrubovací operace. V prvních kapitolách je podrobně popsána problematika rychlořezných ocelí, povlakovacích metod a technologie frézování. Nosnou částí práce je návrh, konstrukce a výroba frézovacího nástroje, který byl navržen na základě simulace obrábění. Nástroj je konstruován jako tříbřitá válcová čelní stopková fréza vyrobená z rychlořezné oceli, opatřená tzv. kompenzačními břitů. Úkolem kompenzačních břitů je snížit, v ideálním případě potlačit, tahovou napjatost v patě zubu. Nástroj byl vyroben pomocí technologie přesného lití, dále následovalo broušení funkčních ploch, tepelné zpracování a depozice PVD povlaků (např. (Al,Ti)N). Navržený nástroj byl porovnán s katalogovými nástroji od společnosti ZPS – Frézovací nástroje. Pro dlouhodobé řezné zkoušky byla použita ocel ČSN 41 2050, frézovalo se za pomoci procesní kapaliny. Měřenými parametry bylo silové zatížení a hřbetní opotřebení břítu nástrojů, dále byla na základě získaných dat provedena statická analýza napjatosti a deformace nástroje. Povlakované nástroje byly dále monitorovány pomocí elektronové mikroskopie.

Abstract

Dissertation thesis is focused on development, design and production of the new milling cutter which is used for roughing operations. High-speed steels, coating technology and milling technology are described in first chapters of dissertation thesis. The main part of this thesis is the design of the new milling cutter that has been designed on the basis of the machining simulation. The milling cutter is designed as a three-flute cylindrical end mill made of high speed steel. The each flute is composed of two special compensation edges. The compensation edges are used for reducing (at best suppression) tensile stress in the heel of the tooth. The milling cutter was made by lost wax technology, followed by grinding and thermal treatment. New designed tools were deposited by PVD coatings (e.g. (Al,Ti)N). Standard catalog milling cutters (producer ZPS - milling tools, Zlín, Czech Republic) were used for comparison the designed milling cutter. Carbon steel CSN 41 2050 (DIN 1.1191) was used for milling, which was carried out with using process liquid. The monitored parameters were force loading, flank wear and tensile stress during milling. The dynamometer Kistler was used for measuring force loading and data obtained during machining was used for stress analysis.