



ANALÝZA ŘEZNÝCH VLASTNOSTÍ KOTOUČOVÝCH PIL

**Výzkumná zpráva 2015-13311- 1
pro GSP - High Tech Saws, s.r.o.
Hlavní 51, 768 32 Zborovice**

AUTOŘI:

Prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

Ing. Petra SLIWKOVÁ, Ph.D.

Mgr. Michal JÍLEK

Jiří ČECH

Brno, listopad 2015

Obsah

	List
Seznam použitých symbolů a jednotek	3
1. Úvod	4
2. Cíle zkoušek	4
3. Popis experimentů	4
3.1. Měření geometrie břitů kotoučových pil	4
3.2. Testování řezných vlastností kotoučových pil	4
4. Dosažené výsledky	7
5. Dílčí závěry	13

Seznam použitých symbolů a jednotek

označení	jednotka	popis proměnné
a_e	mm	radiální šířka záběru (hloubka řezu)
f_z	mm	posuv na zub
n	ot/min	otáčky kotoučové frézy
v_c	m/min	řezná rychlost frézy
v_f	mm/min	posuvová rychlost
F_c	N	řezná síla
F_{cN}	N	kolmá síla k síle řezné
F_p	N	pasivní řezná síla
F_f	N	posuvová síla
F_x	N	síla v podélné ose
F_y	N	síla v příčné ose
F_z	N	síla ve svislé ose
F	N	celková síla

1. Úvod

Na základě odborné spolupráce Vysokého učení technického v Brně, Fakulty strojního inženýrství, Ústavu strojírenské technologie, Odboru technologie obrábění se společností GSP - High Tech Saws, s.r.o., Hlavní 51, 768 32 Zborovice, byly provedeny testy technologických vlastností tenkých kotoučových pil výrobu drážek v uhlíkaté oceli 12 050.1 a tato výzkumná zpráva se zabývá jejich popisem a vyhodnocením.

2. Cíle zkoušek

Hlavním cílem zkoušek bylo měření geometrie břitu a řezivosti tenkých kotoučových pil. V průběhu zkoušek byly zaznamenávány průvodní jevy opotřebení nástrojů pomocí fotografií, dále časové řady průběhů řezných sil se statistickým vyhodnocením.

3. Popis experimentů

3.1 Obráběný materiál

Základním materiálem pro testování byla ušlechtilá uhlíkatá ocel 12 050.1, v polotovarech 40x90-140 mm, bez kůry.

Jednalo se o konstrukční uhlíkatou ocel ČSN 41 2050.1 (dle ČSN HB 225, R_m - min. 590 MPa, R_e - 285 MPa) s chemickým složením uvedeným v **tab. 1**:

Tab. 1 Chemické složení obráběného materiálu.

Chem. složení (hm.%)	C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Ni [%]	Cu [%]	Fe [%]
12 050	0,42- 0,50	0,50- 0,80	0,17- 0,37	0,040 max.	0,040 max.	0,25	0,30	0,30	zbytek

3.2 Upínání obrobků

Pro upínání obrobku byl použit přesný strojní svěrák, upnutý pomocí speciální příruby, upínek a šroubů k čelní ploše snímače dynamometru a do středu prostřední T-drážky stolu.

3.3 Řezný nástroj

Řezným nástrojem byla kotoučová fréza D57x0,65x16H7 mm, HSS-Co5, 24 zubů.



Obr. 1 Kotoučová fréza.

3.4 Upnutí kotoučových fréz

Pro upnutí fréz byl použit speciální přesně broušený trn s minimálním vyložení frézy z vřeteníku stroje FV 25CNC, s dotažením maticí M16x1,0-L.

3.5 Měření geometrie břitů

Fotodokumentace stavu břitů byla provedena pomocí stereo-mikroskopu STEMI 2000C Zeiss a mikroskopu Alicona linfinite Focus G4/EdgeMaster.

3.6 Obráběcí stroj

Obráběcím strojem bylo vertikální frézka FC25 CNC/Heidenhein iTNC 530, výrobce TOS a.s. Olomouc.

3.7 Měřicí aparatura pro měření řezných sil

Pro měření síly posuvové a řezného momentu byl použit piezoelektrický křemíkový dynamometr KISTLER 9575B vybavený nábojovým zesilovačem KISTLER 5070A, plně řízeným PC. Vzorkovací frekvence byla 16kHz, na zesilovačích byla nastavena dlouhá časová vybíjecí konstanta a dolnoproustný filtr na hladině 100 Hz.



Obr. 2 Měřicí aparatura KISTLER.

3.8 Řezné podmínky

Řezné podmínky pro nesousledné frézování byly předem stanoveny zadavatelem - viz **Tab.2**:

Tab. 2 Řezné podmínky.

Veličina	Jednotka	Hodnota
a_e	mm	2,0
n	ot/min	169
v_c	m/min	30
v_f	mm/min	147
f_z	mm	0,036

3.10 Chlazení

Byla použita polosyntetická emulze CIMSTAR HD 650 o koncentraci 5%, výrobce CIMCOOL Europe B.V., (Holandsko). K měření skutečné koncentrace emulze byl použit optický refraktometr. Intenzita chlazení: 6,0 - 8,0 [l/min].

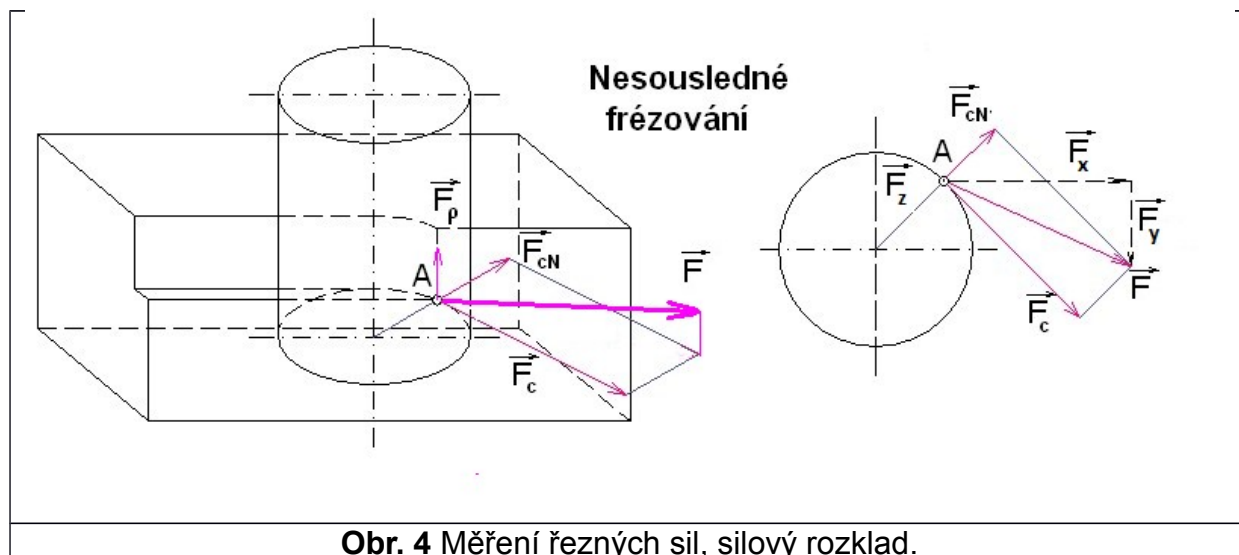
Kvalita vody: kyselost: pH 7,1

Nitráty: NO_3 : 50; NO_2 : 0-2

Tvrdost dle DIN:15-19

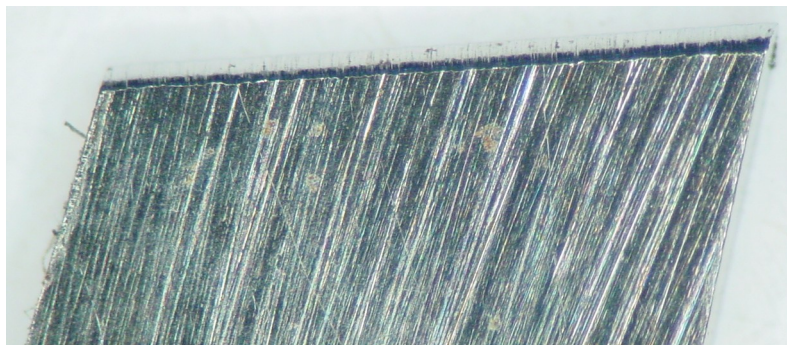
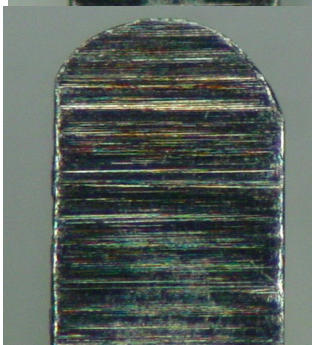
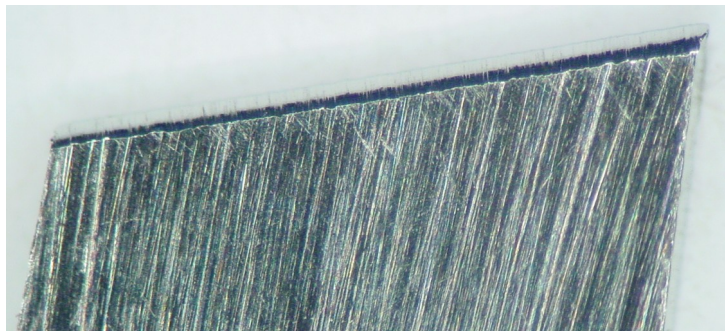
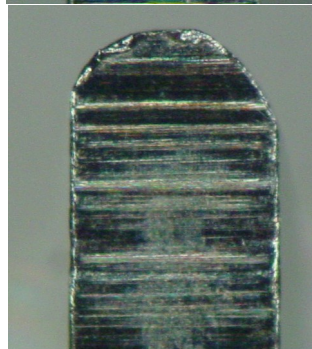
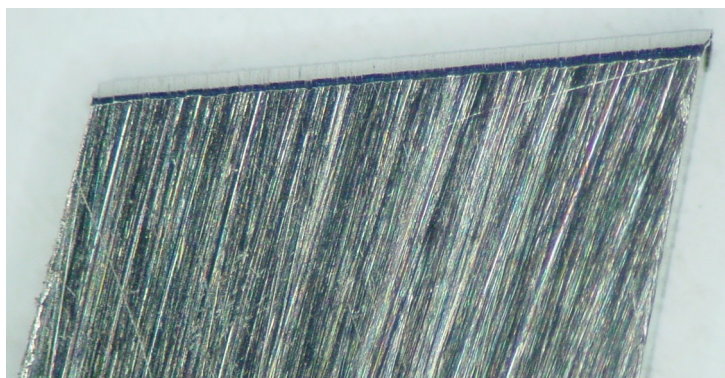
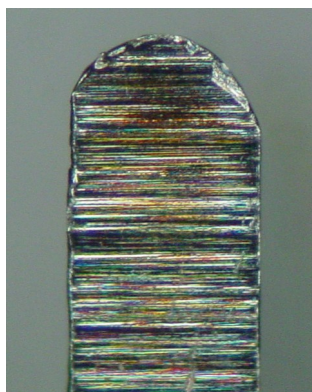


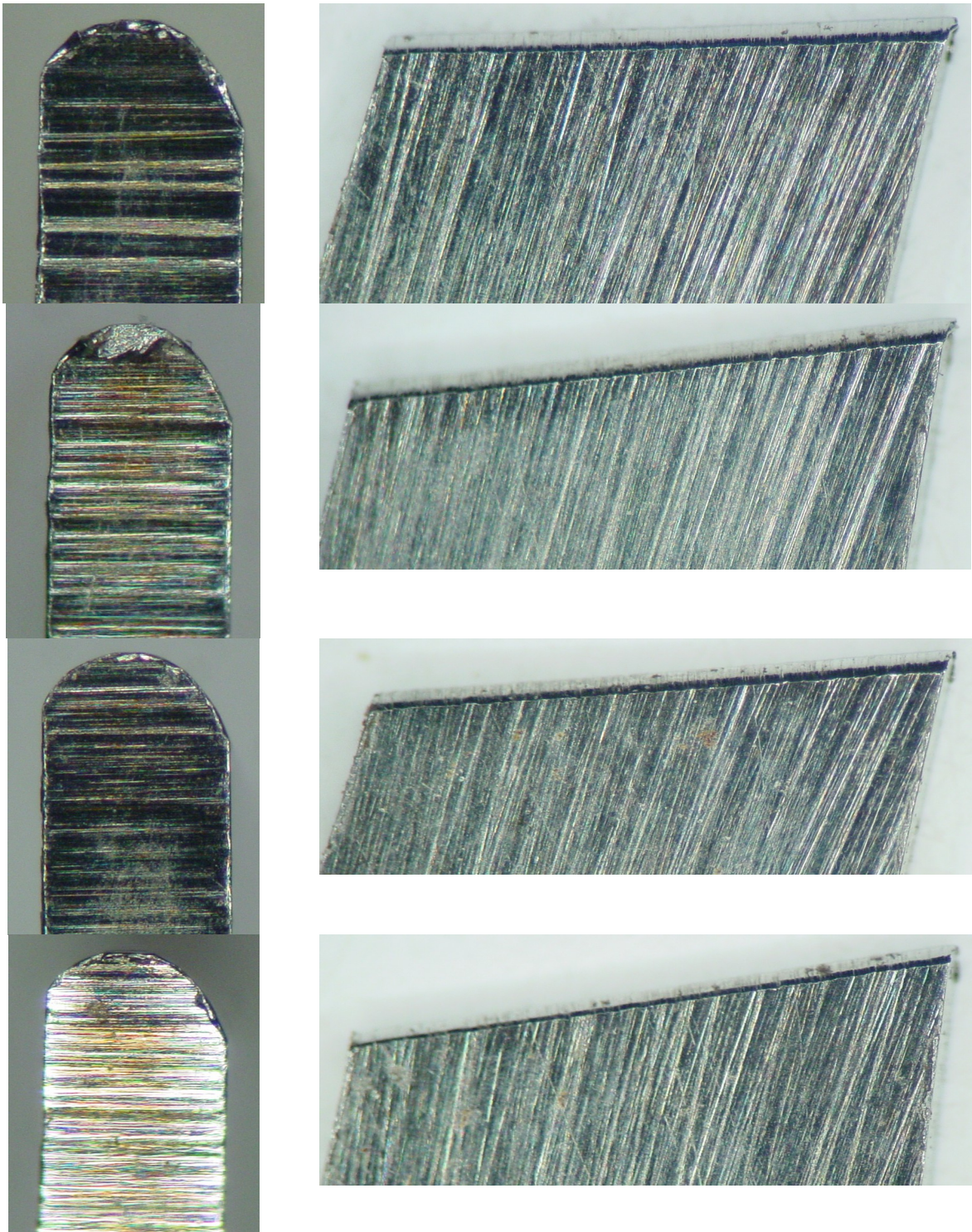
Obr. 3 Průběh experimentálního frézování.



4. Dosažené výsledky

4.1 Řezná geometrie zubů





Obr. 5 Příklady čelních a hřbetních výbrusů zubů kotoučové frézy.

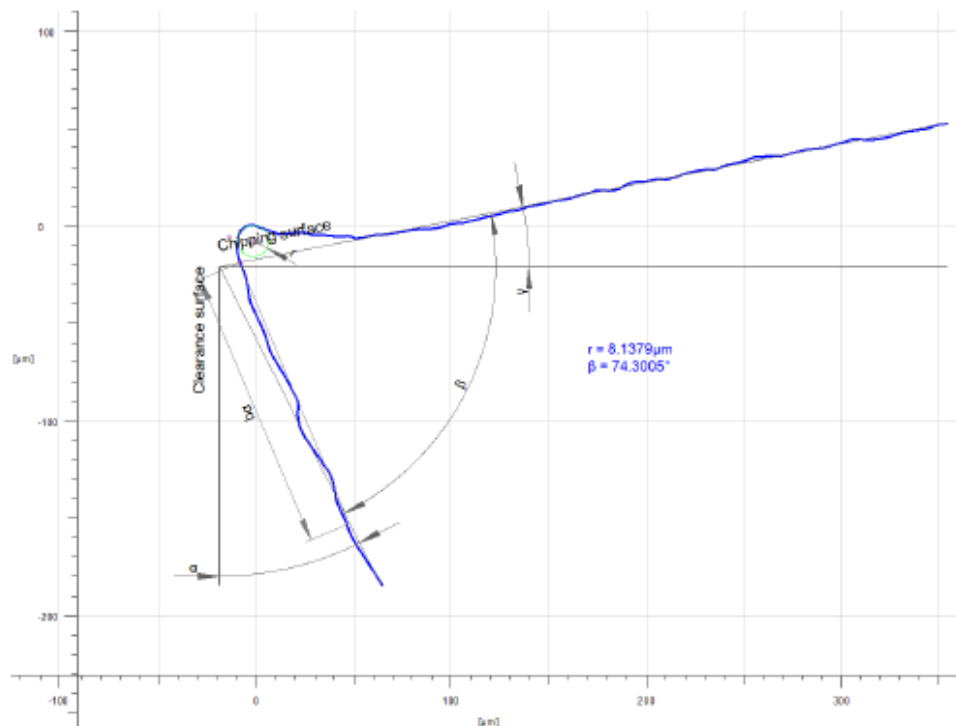
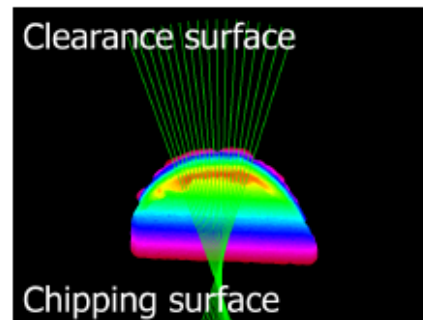
Obr. 5 ukazuje výběr břitů s pohledem na čelní a hřbetní plochu, která není kvalitní a obsahuje řadu neodjehlených ostřin a převalků. Tyto břity byly dále analyzovány na topografii povrchu a kvalitu rezného ostří – **Obr. 6-8**, přílohy **1-10.pdf** a **T1-T3.csv**.

IF-EdgeMasterModule Measurement Report

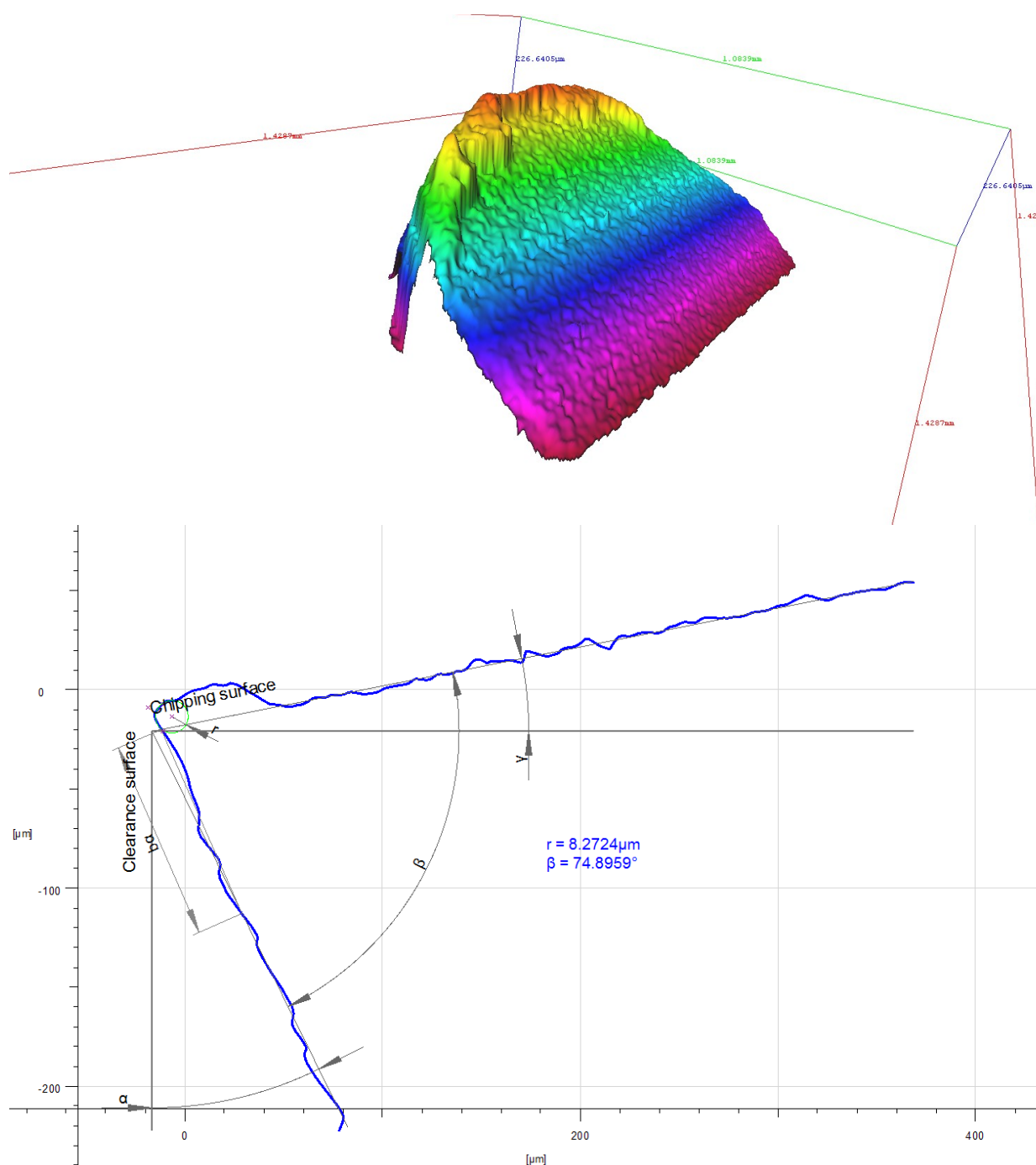
Cutting Edge Measurement

ReferenceType: 1
 Number of extracted profiles: 50
 Edge profile type: Supporting Bevel
 Date of measurement: 30.9.2015 17:56:37
 Operator: Administrator

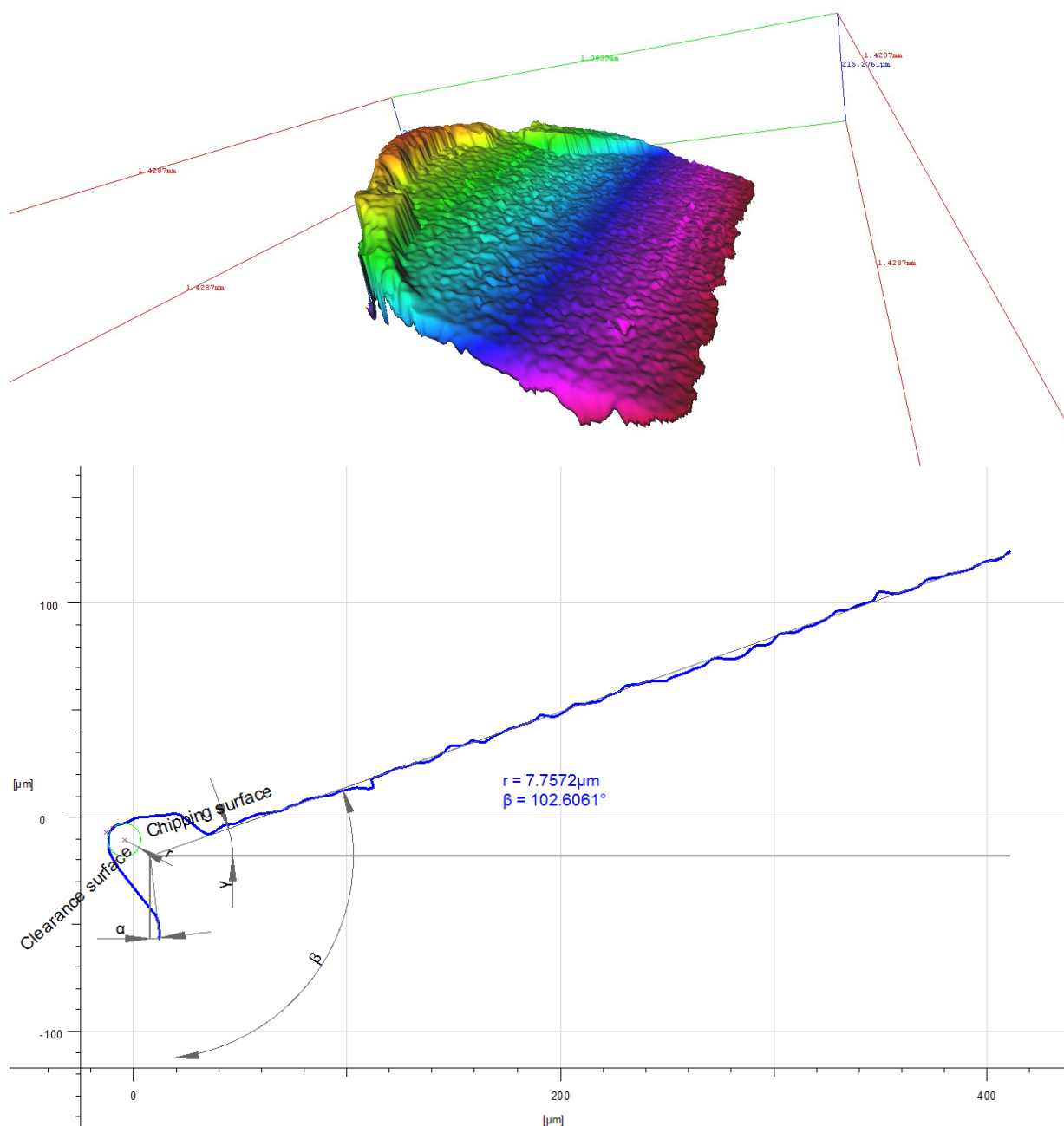
Name	Value	[u]	Description
r	8.1379	μm	Mean radius of mean edge
bp1a	134.3288	μm	Proj. supporting bevel length 1 (former: Sp1)
bp2a	153.8972	μm	Proj. supporting bevel length 2 (former: Sp2)
ba	145.8895	μm	True supporting bevel length (former: St)
ab	-67.0556	°	Angle of supporting bevel (former: α supporting)
α	26.9179	°	Clearance angle
β	74.3005	°	Wedge angle
γ	-11.2184	°	Chip angle
sa	14.5924	μm	Dist. apex to end of clearance roundness (former: a)
sy	6.4857	μm	Dist. apex to end of chipping roundness (former: b)
K	0.4445		Symmetry of cutting edge
Δr	4.3615	μm	Min. dist. of edge to apex (former: S)
Ecq	164.3638	nm	Form deviation of circle (RMS)
Form	Waterfall		Estimated Curvature



Obr. 6 Analýza mikrogeometrie břítu – Alicona (tabulka udává průměrné hodnoty).



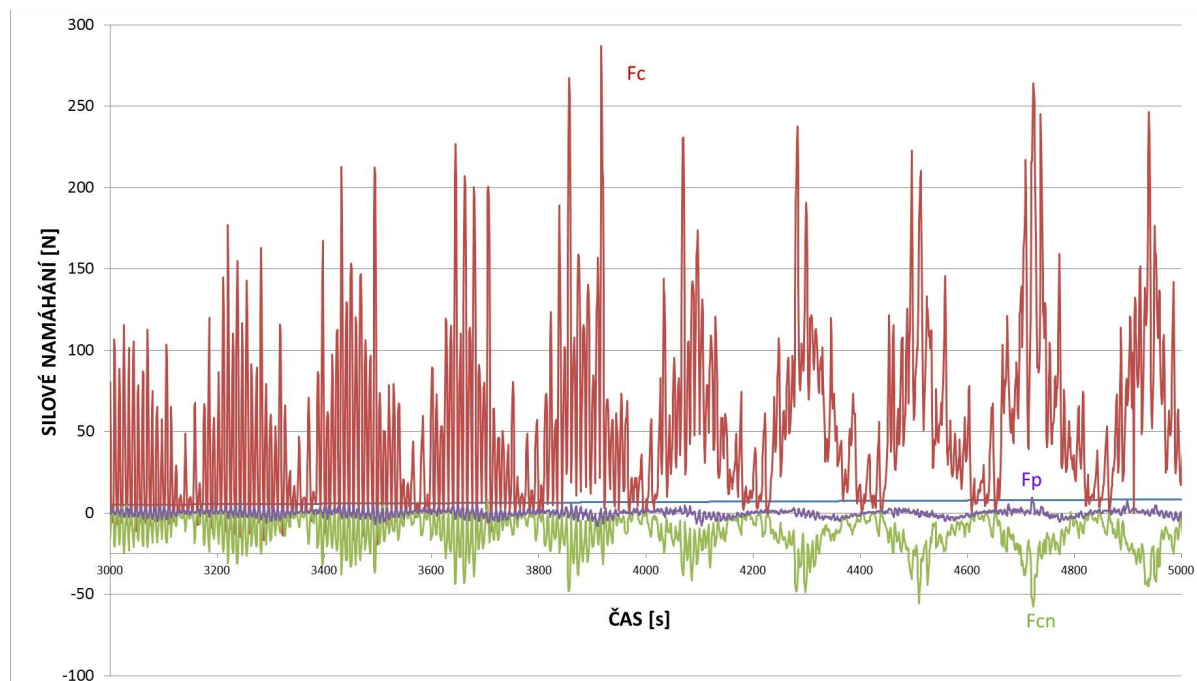
Obr. 7 Příklad topografie čelní plochy břitu a analýza geometrie břitu.



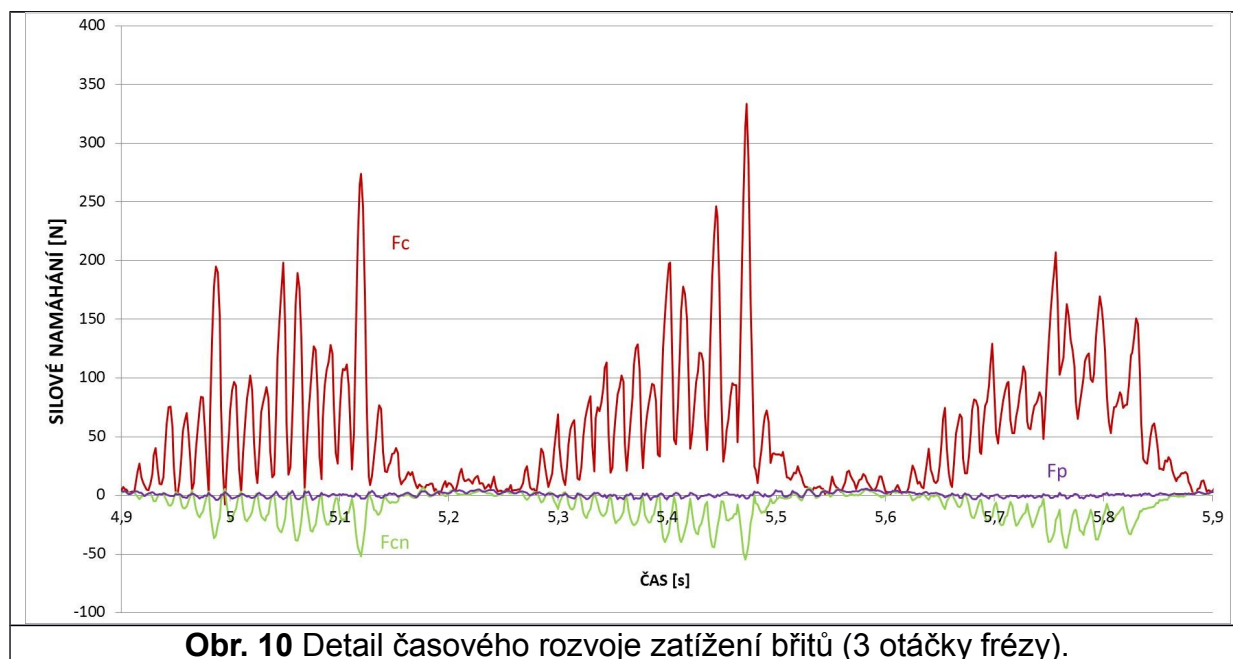
Obr. 8 Příklad topografie čelní plochy břitu a analýza geometrie břitu.

4.2 Rozbor silového namáhání břitů

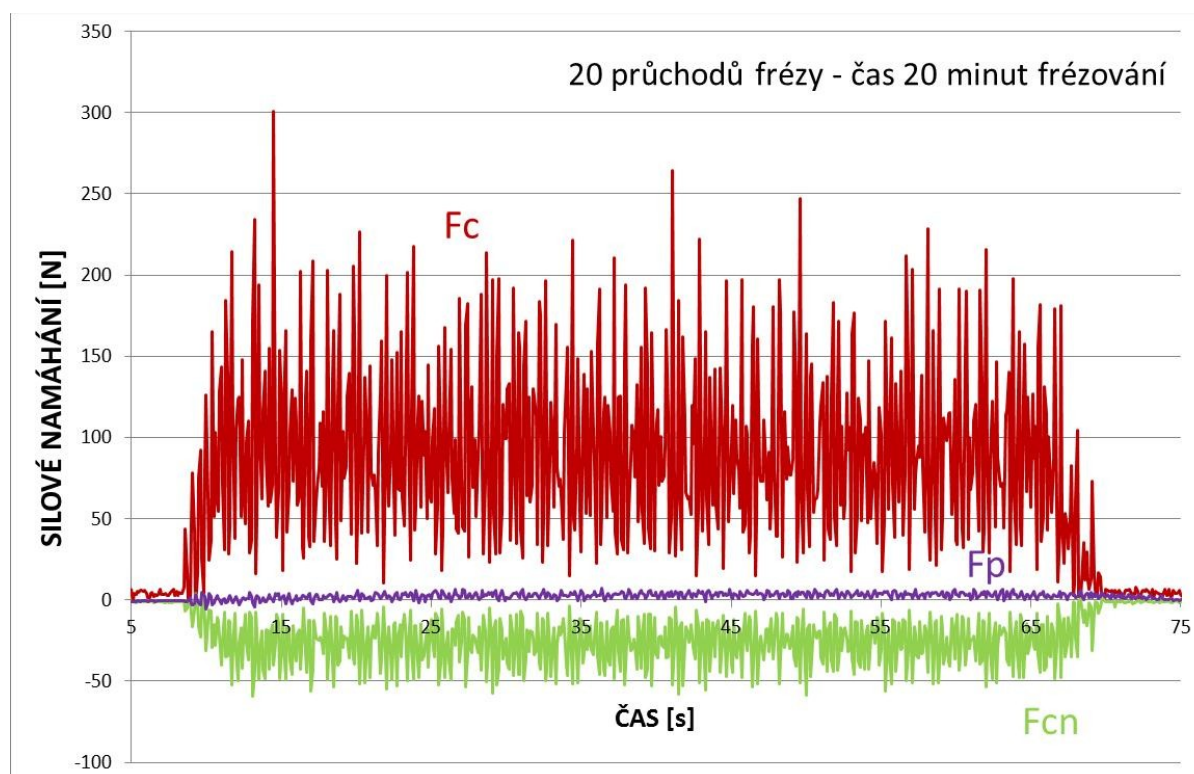
Silové namáhání břitů – **obr. 9-11** prokazuje značný rozptyl namáhání jednotlivých břitů jak na počátku frézování, tak prakticky na konci jejich trvanlivosti. Toto je opět silně ovlivněno rozptylem poloměrů ostří (od $1\mu\text{m}$ až do $30\mu\text{m}$) a geometrií čela frézy, dosahující až negativních hodnot.



Obr. 9 Časové namáhání břitů nástroje při začátku frézování.



Obr. 10 Detail časového rozvoje zatížení břitů (3 otáčky frézy).



Obr. 11 Časové namáhání břitů nástroje po 20 minutách obrábění.

5. Závěry

Z analýzy výsledků dále vyplývají zejména tyto poznatky:

- způsob broušení řezných břitů je nevhodný, resp. není zde provedeno kvalitní odjehlení břitů nebo jejich řízené zaoblení,
- časový průběh silového zatížení je provázen velkým rozptylem naměřených sil pro jednotlivé zuby,
- hlavními mechanismy opotřebení jsou plastická deformace, nárůstek a abraze,
- doporučuje se ověřit mokré pískování nebo omílání břitů za účelem odjehlení,
- je doporučeno ověřit možnost povlakování břitů technologií PVD (např. povlakem TiN o tloušťce 2 μm),
- pokračovat ve vybraných zkouškách a jejich vyhodnocení.

V Brně 25.11.2015

PŘÍLOHY

Dosažené výsledky jsou mimořádně rozsáhlé a zahrnují je zejména tyto příložené soubory:

1-10.pdf - měřicí protokoly z deseti břitů

T1-T3.csv - statistické zpracování měření mikrogeometrie