



VLIV PROCESNÍCH KAPALIN OD FIRMY ZELLER+GMELIN GMBH AND CO. KG NA TRVANLIVOST NÁSTROJE A DRSNOST POVRCHU PŘI ČELNÍM FRÉZOVANÍ KONSTRUKČNÍ OCELI

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Autor práce: **Bc. Martin Mlejnek**
Vedoucí práce: prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Mlejnek**
Osobní číslo: **S13000433**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH and Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli**
Zadávací katedra: **Katedra obrábění a montáže**

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

1. Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění, klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin, analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje.
2. Shrnutí poznatků o kvalitě povrchu po obrábění. Definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu.
3. Navržení metodiky experimentů pro zkoumání vlivu posuzovaných procesních kapalin na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli v laboratoři KOM FS TUL.
4. Realizace experimentů.
5. Zjištění vlivu posuzovaných procesních kapalin na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu v laboratoři KOM FS TUL.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 - 60 stran textu**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

[1] **MÁDL, J. Řezné kapaliny v současné technologii obrábění.** In: *Ekologie obrábění - Strojírenská technologie knihovnička*. 1.vyd. 2000. s. 9 - 18. ISBN 80-7044-232-8.

[2] **LICEK, R., POPOV, A. Modern fluids and tool materials for turning of construction steel.** *Manufacturing Engineering. Rec. M. Havrila aj.* roč. 10, červen 2011, č. 2., s. 42 - 44. ISSN 1335-7972.

[3] **HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje.** Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

[4] **SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů.** 2005. 601 s.

[5] **HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. Terminologie obrábění a montáže.** 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTŘV, 2005. 208 s. ISBN 80- 7044-616-1.

[6] **ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.** 1999. Praha: Český normalizační institut.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.**

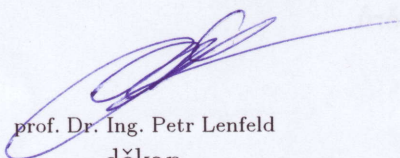
Katedra obrábění a montáže

Konzultant diplomové práce: **Ing. Andrey Dugin**


Katedra obrábění a montáže

Datum zadání diplomové práce: **11. března 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 11. března 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH and Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli

ANOTACE:

Výsledkem této diplomové práce je porovnání účinků sedmi procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH and Co. KG. Hodnotícím kritériem byl vliv na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli. Práce dále shrnuje dostupné informace o způsobech frézování, opotřebení nástroje, integritě povrchu a procesních kapalinách, včetně jejich vlivů na proces obrábění.

Klíčová slova: frézování, procesní kapalina, opotřebení nástroje, trvanlivost nástroje, drsnost povrchu.

The influence of process fluids from the company Zeller+Gmelin GmbH and Co. KG on the tool life and surface roughness during face milling of structural steel

ANNOTATION:

The result of this thesis is to compare the effects of seven process fluids from the company Zeller+Gmelin GmbH and Co. KG. Endpoint was the effect on tool life and surface roughness in face milling of structural steel. The thesis summarizes available information on ways of milling, tool wear, surface integrity and process fluids, including their impact on the machining process.

Keywords: milling, process fluid, tool wear, tool life, surface roughness.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrSc. za pomoc při provádění laboratorních zkoušek, za poskytnuté informace, důležité rady a připomínky pro vypracování této diplomové práce.

Dále děkuji konzultantovi této diplomové práce panu Ing. Andreyi Duginovi za poskytnutou pomoc a užitečné rady. Děkuji také panu Ing. Miroslavu Ledvinovi a Ing. Jiřímu Karáskovi za pomoc v laboratořích katedry a montáže a za rady při zpracování naměřených hodnot.

Také bych rád poděkoval svým rodičům, svým blízkým a všem, kteří mi pomáhali a podpořili při studiu a tvorbě této práce.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ.....	10
ÚVOD	12
I. TEORETICKÁ ČÁST	13
1 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ.....	13
1.1 Rozdělení způsobů frézování	13
1.2 Definice a výpočet řezných podmínek	16
2 ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ.....	18
2.1 Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění.....	18
2.2 Klasifikace procesních kapalin.....	19
2.2.1 Vodné roztoky	20
2.2.2 Emulzní kapaliny.....	21
2.2.3 Minerální a zušlechťené oleje.....	21
2.2.4 Rostlinné a živočišné oleje.....	23
2.2.5 Syntetické a polysyntetické kapaliny	23
2.3 Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin	24
2.3.1 Chladicí účinek.....	24
2.3.2 Mazací účinek	25
2.3.3 Čistící účinek.....	26
2.3.4 Ochranný účinek	26
2.3.5 Provozní stálost	26
2.3.6 Zdravotní nezávadnost	27
2.3.7 Přiměřené náklady.....	27
2.4 Způsoby přívodu procesních médií do místa řezu	27
2.4.1 Standardní chlazení	28
2.4.2 Tlakové a vnitřní chlazení.....	28
2.4.3 Podchlazování procesní kapaliny	29
2.4.4 Chlazení mlhou	29
2.4.5 Chlazení plynnými látkami	30
3 TRVANLIVOST NÁSTROJE	31
3.1 Požadavky na nástrojové materiály	31
3.2 Přehled nástrojových materiálů	32

3.2.1	Nástrojové oceli.....	34
3.2.2	Stellity	34
3.2.3	Slinuté karbidy	35
3.2.4	Cermety	35
3.2.5	Řezná keramika	36
3.2.6	Polykrystalický diamant.....	36
3.2.7	Kubický nitrid bóru	36
3.3	Definice pojmu trvanlivost nástroje	37
3.3.1	Charakteristiky a průběh opotřebení břítu.....	37
3.3.2	Mechanizmy opotřebení břítu nástroje.....	41
3.3.3	Druhy opotřebení břítu nástroje	43
3.4	Vliv procesních kapaliny na trvanlivost nástroje	47
3.4.1	Zkoušky trvanlivosti nástroje.....	48
4	INTEGRITA POVRCHU	50
4.1	Definice pojmu integrita povrchu po obrábění	50
4.1.1	Geometrie obrobeného povrchu	51
4.1.2	Fyzikálně-mechanické vlastnosti povrchu	52
4.1.3	Fyzikálně-chemické vlastnosti povrchu	53
4.2	Drsnost povrchu	53
4.2.1	Vliv řezných podmínek na drsnost povrchu.....	57
4.2.2	Metody měření drsnosti povrchu.....	58
II.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	61
5	NAVRŽENÍ METODIKY A POPIS EXPERIMENTŮ	61
5.1	Popis použitých zařízení, přístrojů a nástrojů	61
5.2	Charakteristika použitého obráběného materiálu 14220.....	67
5.3	Charakteristika použitých procesních kapalin.....	68
5.3.1	Procesní kapalina Zubora 10 H Extra	68
5.3.2	Procesní kapalina Zubora 20 H Extra	69
5.3.3	Procesní kapalina Zubora 20 H Ultra.....	69
5.3.4	Procesní kapalina Zubora 65 H Extra	69
5.3.5	Procesní kapalina Zubora 65 H Ultra.....	69
5.3.6	Procesní kapalina Zubora 65 H Plus	70
5.3.7	Procesní kapalina Zubora Universal	70

5.4	Způsob přípravy procesních kapalin	70
5.5	Způsob vyhodnocování výsledků	71
5.6	Metodika zkoumání vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje	72
5.6.1	Příprava měření	73
5.6.2	Postup měření trvanlivosti	74
5.7	Metodika zkoumání vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu	76
5.7.1	Příprava měření	76
5.7.2	Postup při obrábění vzorků	77
5.7.3	Postup měření drsnosti	78
6	ZJIŠTĚNÍ Vlivu POSUZOVANÝCH PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST NÁSTROJE A DRSNOST POVRCHU	81
6.1	Porovnání procesních kapalin z hlediska vlivu na trvanlivost nástroje	81
6.2	Porovnání procesních kapalin z hlediska jejich vlivu na drsnost povrchu	84
7	SHRNUTÍ A ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ	90
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	92
	SEZNAM PŘÍLOH	95

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

a_p	[mm]	hloubka záběru
Al	[-]	chemická značka hliníku
Al_2O_3	[-]	chemická značka oxidu hlinitého
AW	[-]	přísady proti oděru (Anti-Wear)
CBN	[-]	kubický nitrid bóru
Cl	[-]	chemická značka chlóru
Co	[-]	chemická značka kobaltu
CO_2	[-]	chemická značka oxidu uhličitého
Cr	[-]	chemická značka chromu
Cr_3C_2	[-]	chemická značka karbidu chromu
C_{TP50}	[μ m]	hloubka, ve které je nosný podíl materiálu a vzduchu 1:1
CVD	[-]	chemická depozice z plynné fáze (Chemical Vapor Deposition)
ČSN	[-]	česká technická norma
EP	[-]	vysokotlaké přísady (Extreme Pressure)
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
Fe	[-]	chemická značka železa
HB	[-]	tvrdost podle Brinella
HSS	[-]	rychlořezná ocel (High Speed Steel)
HV	[-]	tvrdost podle Vickerse
In	[mm]	vyhodnocovaná délka profilu povrchu
Ir	[mm]	základní délka profilu povrchu
It	[mm]	celková délka profilu povrchu
K	[-]	koeficient refrakce
KOM	[-]	katedra obrábění a montáže
KT	[mm]	hloubka výmolu na čele nástroje
L	[mm]	obráběná délka obrobku
Mn	[-]	chemická značka manganu
Mo	[-]	chemická značka molybdenu
MQL	[-]	chlazení řeznou mlhou (Minimal Quantity Lubrication)
Ni	[-]	chemická značka niklu

P	[-]	chemická značka fosforu
PCD	[-]	polykrystalický diamant
pH	[-]	záporná hodnota dek. logaritmu koncentrace vodíkových iontů
PVD	[-]	fyzikální depozice z plynné fáze (Physical Vapor Deposition)
Ra	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu povrchu
R _e	[MPa]	mez napětí v kluzu
R _m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R _{mr}	[%]	materiálový poměr profilu drsnosti (nosný podíl)
R _p	[μm]	největší výška výstupku profilu drsnosti
R _t	[μm]	celková výška profilu drsnosti
R _v	[μm]	největší výška výstupku profilu drsnosti
R _z	[μm]	největší výška profilu povrchu
S	[-]	chemická značka síry
Si	[-]	chemická značka křemíku
SK	[-]	slinutý karbid
S-N-O	[-]	soustava stroj-nástroj-obrobek
T	[min]	trvanlivost nástroje
TaC	[-]	chemická značka karbidu tantalu
TiC	[-]	karbid titanu
TiN	[-]	nitrid titanu
TUL	[-]	Technická univerzita v Liberci
V	[-]	chemická značka vanadu
v _c	[m/min]	řezná rychlost
v _f	[mm.min ⁻¹]	posuvová rychlost
VB	[mm]	velikost opotřebení hřbetu nástroje
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
VB _K	[mm]	kriteriální (kritická) velikost opotřebení hřbetu nástroje
W	[-]	chemická značka wolframu
WC	[-]	chemická značka karbidu wolframu
z	[-]	počet zubů nástroje

ÚVOD

Třískové obrábění je neodmyslitelnou součástí strojírenství, jehož podstatná část vývoje se odehrála v období průmyslové revoluce v 18. a 19. století, ale kořeny má už kdesi v pravěku. Podíl pracnosti výroby součástí obráběním tvoří dnes 30 až 40%. Je proto pochopitelné, že je snahou, aby tyto procesy byly co možná nejefektivnější a nej hospodárnější. Zásadním nevyhnutelným průvodním jevem třískového obrábění je tření a vývin tepla. Snahou je tyto negativní vlivy co možná nejvíce eliminovat, což lze z nezanedbatelné části dosáhnout volbou vhodného řezného prostředí. Mimo jiné lze tak podstatně ovlivnit trvanlivost použitého nástroje a jakost obrobku. Proto dnes existuje nepřeborná nabídka procesních kapalin od různých výrobců určených pro konkrétní použití.

Cílem této práce je odzkoušet procesní kapaliny Zubora od výrobce Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG a porovnat jejich účinky na trvanlivost nástroje a výslednou drsnost obrobku při čelním frézování konstrukční oceli. V teoretické části práce shrnuje informace o technologii frézování, procesních kapalinách, vzniku a odvodu tepla při obrábění a opotřebení břitu obráběcího nástroje, včetně druhů a příčin vzniku. Dále uvádí teoretické informace o integritě povrchu, především pak drsnosti povrchu a způsobech jeho hodnocení.

Výzkumná část práce obsahuje popis experimentu, jehož převážná část byla provedena v laboratořích katedry obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci. Pro hodnocení vlivu kapalin byl použit polotovár z konstrukční oceli ČSN 14 220. Jako řezný nástroj byla použita čelní fréza o průměru 63mm, ve které byla pro účely měření upnuta jedna vyměnitelná břitová destička ze slinutého karbidu SNUN 120412; 8230. Odzkoušeno a porováno bylo 7 procesních kapalin Zubora o koncentraci 5%.

Výsledkem experimentu bylo vyhodnocení procesní kapaliny s nejlepším vlivem na trvanlivost řezného nástroje a určení kapaliny s nejlepším vlivem na jakost povrchu obrobku. Závěrem byla vyhodnocena procesní kapalina s nejlepším účinkem na oba sledované parametry.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ

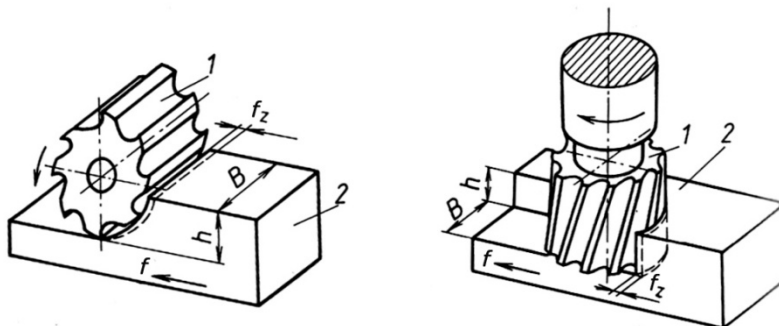
Frézování představuje nejflexibilnější metodu obrábění jaká je k dispozici a umožňuje obrobení prakticky jakéhokoli tvaru. Hned po soustružení je to nejrozšířenější způsob třískového obrábění.

Obecně je frézování definováno jako obrábění rovinných či tvarových ploch, vnitřních nebo vnějších, pomocí vícebřitého nástroje. Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává ho frézovací nástroj (fréza). Vedlejší pohyb posuvný koná nejčastěji obrobek spolu se stolem frézovacího stroje (frézky). K úběru materiálu dochází relativním pohybem nástroje a obrobku. Vedlejší pohyb (posuv a přísuv) je přímočarý posuvný, otáčivý nebo může u moderních strojů tvořit prakticky libovolnou trajektorii ve všech směrech.

Řezný proces je přerušovaný, neboť jednotlivé zuby nástroje postupně vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají relativně krátké třísky proměnlivého průřezu. Relativní pohyb ostří vůči obrobku je zkrácená cykloida. Vzhledem k malé rychlosti posuvu proti obvodové rychlosti frézy se však tato cykloida blíží kružnici.[9][20]

1.1 Rozdělení způsobů frézování

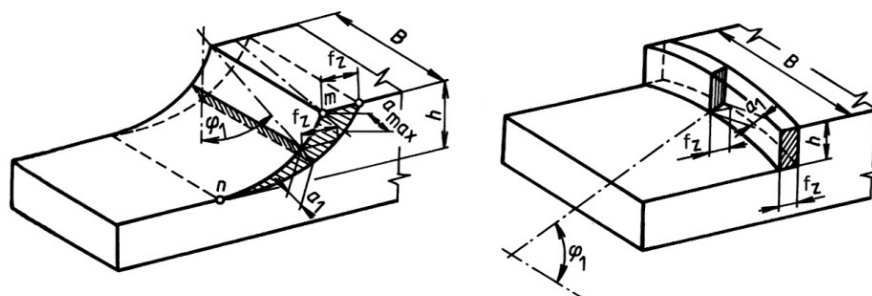
Dle polohy osy nástroje vůči obráběnému povrchu rozeznáváme dva základní způsoby frézování. Je to buď frézování válcové nebo čelní (viz obr.1). Od vzájemné polohy osy nástroje a obrobené plochy se odvíjí i odlišný průřez odebírané třísky (viz obr. 2).



Obr. 1 – Frézování válcové a čelní (1 - fréza, 2 - obrobek, B - šířka obrobku, h - hloubka řezu, f - posuv, f_z - posuv na zub) [9]

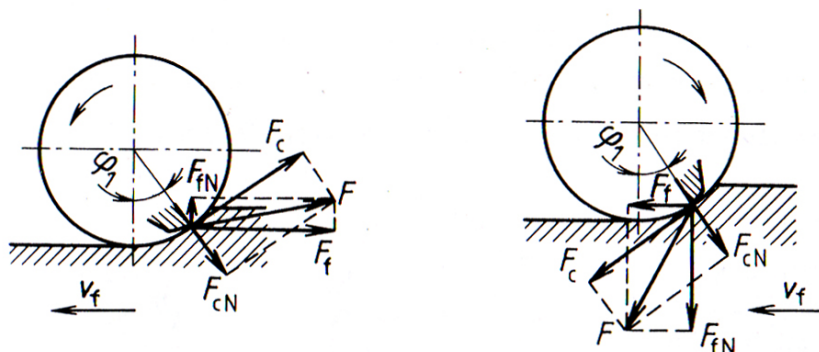
Válcové frézování probíhá tak, že je materiál odebírán zuby na válcové části frézy. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou frézy.

Čelní frézování lze popsat jako úběr materiálu současně zuby na svém obvodě i na čele frézy. Vzniklá obrobená plocha je kolmá na osu frézy.



Obr. 2 – Průřez třísky odebíraný při válcovém a při čelním frézování (B – šířka obrobku, h – hloubka řezu, f_z – posuv na zub, a_1 – tloušťka třísky pro úhel φ_1 , a_{max} – maximální tloušťka třísky) [9]

Podle smyslu otáčení frézy vůči posuvu obrobku se dělí frézování na sousledné (sousměrné) a nesousledné (nesousměrné). Při sousledném frézování je smysl otáčení frézy ve směru posuvu obrobku, u nesousledného je tomu naopak (viz obr.3).



Obr. 3 – Nesousledné a sousledné frézování se zobrazenými složkami řezné síly (F – výsledná řezná síla, F_c – řezná síla, F_f – posuvová síla, F_{fN} – kolmá složka posuvové síly, F_{cN} – kolmá složka řezné síly, φ_1 – úhel okamžité polohy zubu v v_f – rychlost posuvu) [9]

Sousledné frézování se vyznačuje záběrem zubu frézy v místě maximální tloušťky třísky, až na konci dosáhne nulové hodnoty. To vylučuje tření a odírání břítu o materiál před vlastním zahájením řezu. Vodorovná složka řezné síly působí ve směru posuvu a svislá složka přitlačuje obrobek ke stolu frézky. Z těchto hledisek je sousledné frézování výhodnější a je snahou ho preferovat. Vzhledem k smyslu působících sil však vyžaduje tento způsob frézování vymezení vůle v posuvovém

mechanismu stroje. Při vzniku vůle v pohybovém mechanismu stolu mohou nastat pohyby, které vtahují obrobek pod nástroj, čímž se nežádoucím způsobem zvětšuje tloušťka třísky a hrozí tak destrukce nástroje. Obecně má sousledné frézování tyto výhody:

- vyšší trvanlivost nástroje,
- vyšší jakost povrchu,
- nižší energetická náročnost obrábění,
- menší nároky na upnutí obrobku.

Nevýhodami sousledného frézování jsou:

- vznik rázů a hluku při vstupu zubů do záběru,
- vyšší namáhání zubů nástroje vlivem rázů
- nevhodnost použití pro polotovary s tvrdým a znečištěným povrchem
- vyšší požadavky na tuhost stroje a vymezení vůle pohybového mechanismu stolu frézky

Nesousledné frézování charakterizuje změna tloušťky třísky od nuly do jejího maxima. U čelního frézování je toto maximum rovno posuvu na jeden zub. Vodorovná složka řezné síly působí proti směru posuvu a svislá složka sil má tendenci obrobek zvedat. Zub teoreticky zabírá z nulové tloušťky třísky, nicméně zaoblení ostří způsobuje, že zub začne řezat až po dosažení určité tloušťky třísky. Do té doby dochází pouze k pěchování materiálu a tření hřbetu břitu nástroje o obrobek. Tím se zvyšuje opotřebení břitu nástroje a zhoršuje kvalita obrobenej plochy. Obecné výhody sousledného frézování jsou:

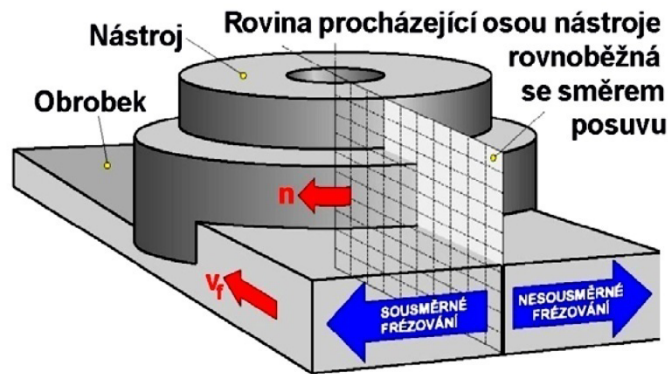
- chod stroje je klidnější a bez rázů,
- není nutné dokonalé vymezení vůle pohybového mechanismu stolu frézky.

Nevýhodami nesousledného frézování je:

- rychlejší opotřebení břitů frézy,
- vyšší energetická náročnost obrábění,
- větší nároky na upnutí obrobku,
- možnost snadnějšího ulpění třísek na břitu nástroje.

Podle polohy osy frézy vůči obrobku při čelním frézování lze dále rozlišovat frézování symetrické a nesymetrické. U symetrického frézování prochází osa

nástroje středem frézované plochy. U nesymetrického frézování je osa nástroje mimo střed frézované plochy. Obecně probíhá při čelním frézování sousledné i nesousledné frézování současně (viz. obr.4). V případě nesymetrického čelního frézování je nutné rozlišovat sousledný a nesousledný způsob frézování. [29] [9] [20]



Obr. 4 – Sousledná a nesousledná oblast u čelního frézování [29]

1.2 Definice a výpočet řezných podmínek

Nejdůležitějšími parametry pro frézování je řezná rychlost v_c , hloubka záběru a_p a posuv na zub f_z .

Řezná rychlost v_c [$m \cdot \text{min}^{-1}$] se stanoví jako obvodová rychlost na daném průměru a představuje základní hodnotu pro výpočet řezných podmínek. Volí se s ohledem k typu obráběného materiálu a použitého nástroje. Obvykle se opačným způsobem podle doporučené řezné rychlosti volí na stroji vhodné otáčky nástroje n [min^{-1}].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot \text{min}^{-1}] \quad , \quad (1)$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} \quad [\text{min}^{-1}] \quad , \quad (2)$$

kde v_c ... řezná rychlost [$m \cdot \text{min}^{-1}$],

n ... otáčky vřetene (nástroje) za jednu minutu [min^{-1}],

D ... průměr frézy [mm].

Posuv za minutu v_f [mm/min] udává obvykle rychlost posuvu stolu. Na stroji se nastavuje jako druhý základní parametr. Představuje postup nástroje vůči obrobku.

Posuv na otáčku f_n [mm/ot] je pomocná hodnota, která vyjadřuje o jakou vzdálenost se nástroj s obrobkem vzájemně posunou za jednu celou otáčku nástroje.

$$f_n = \frac{v_f}{n} [mm] , \quad (3)$$

kde v_f ... posuv za minutu [mm.min⁻¹],

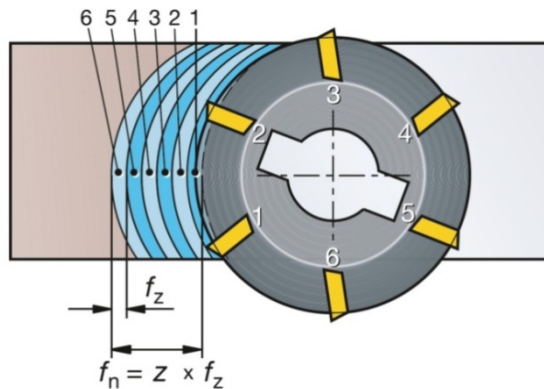
n ... otáčky vřetene (nástroje) za jednu minutu [min⁻¹].

Posuv na zub f_z [mm/zub] je odvozenou hodnotou závislou na počtu zubů nástroje (viz obr.5). Je to základní hodnota pro volbu vhodných řezných podmínek. Stanovuje maximální průřez odebírané třísky.

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} [mm] , \quad (4)$$

kde v_f ... posuv za minutu [mm],

z ... počet zubů frézy [-].



Obr. 5 – Grafické znázornění posuvu na otáčku a na jeden zub [20]

Strojní čas t [min] je přímo úměrný dráze posuvu a nepřímo úměrný rychlosti posuvu.

$$t = \frac{L}{v_f} [min] , \quad (5)$$

kde L ... dráha posuvu [mm],

v_f ... posuv za minutu[mm]. [9][20][25]

2 ŘEZNÉ PROSTŘEDÍ

2.1 Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění

Průběh třískového obrábění podstatně ovlivňuje prostředí, ve kterém proces probíhá. Nejjednodušším představitelem takového media je okolní vzduch. Řezným prostředím může být i jiný přiváděný plyn nebo aerosol, ale nejčastěji jím bývá kapalina. Tyto kapaliny používané při obrábění jsou označovány jako procesní kapaliny nebo často nepřesně jako řezné kapaliny.

Hlavním účelem použití procesních kapalin při třískovém obrábění materiálů je zvýšení odvodu tepla z místa řezu, snížení třecích odporů a čistící účinek díky odplavování třísek. Tyto faktory mohou značně ovlivnit efektivitu výroby. Hlavní přínosy použití procesních kapalin jsou mimo jiné zvýšení trvanlivost nástroje, zvýšení produktivity, zlepšení jakosti obráběného povrchu, ale třeba i konzervační schopnost.

Obecně jsou u procesních médií sledovány především 2 schopnosti. Je to chladicí a mazací účinek. Důležitá je i čistící schopnost proudícího media, což se mimo jiné může i pozitivně projevit na jakosti povrchu, jelikož vznikající třísky mohou mechanicky poškozovat obrobenou plochu. Schopnost odplavovat třísky může být důležitá i z hlediska produktivity. Příkladem je například vrtání hlubokých otvorů s přívodem média tělem nástroje. V některých případech médium napomáhá i lepšímu utváření třísek.

Téměř veškerá mechanická práce vynaložená na odříznutí třísky a její odvedení z místa řezu se přeměňuje v teplo. Teplota řezání je jedním z nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují proces obrábění a má vliv na všechny parametry řezání. Chladicí účinek procesních kapalin proto hraje důležitou úlohu. Teplo vznikající při obrábění je v největší míře odváděno třískou, z menší části pak obrobkem a řezným nástrojem. Závisí na druhu obrábění, řezných podmínkách, druhu obráběného materiálu a geometrii nástroje. Poměr mezi jednotlivými velikostmi přivedeného a odvedeného tepla hodnotí tzv. energetická bilance. Se zvyšujícími parametry řezných podmínek logicky stoupá i množství vzniklého tepla. Současně platí závislost, že čím vyšší je řezná rychlost, tím je vyšší podíl tepla odvedený třískou. Chladicí vliv přiváděného procesního media se projeví odvodem části tepla vzniklého při oddělování třísky. Odvod tepelné energie pomocí procesního

média přímo v místě styku nástroje s obrobkem je v podstatě vyloučen, ale je ochlazován nástroj, obrobek a utvářená tříska v bezprostřední blízkosti místa řezu. Tím se dosáhne snížení teploty řezání.

Vedle schopnosti procesního média odebírat teplo, je snahou snížit samotné množství produkovaného tepla v oblasti řezu. Tuto úlohu má mazací schopnost média, která snižuje tření mezi nástrojem a obrobkem. Projevem mazacích účinků je snížení třecí práce, které se přeměňuje v teplo. Mimo jiné to má za následek snížení řezného odporu, drsnosti povrchu a intenzity opotřebovávání nástroje.

V závislosti na druhu a zvolených podmínkách obrábění je kladen buď větší důraz na mazací nebo chladicí účinek procesní kapaliny. Pro obrábění, kde vzniká velké množství tepla, jsou obecně upřednostňovány kapaliny s vysokým chladicím účinkem. To je například při soustružení a frézování vyššími rychlostmi, vrtání hlubokých otvorů a broušení. Mazací účinek je naopak upřednostňován při obrábění malými řeznými rychlostmi tam, kde dochází k velkým měrným tlakům mezi nástrojem a obrobkem a také tam, kde je vysoký požadavek na jakost povrchu. Typickou aplikací procesních kapalin s převažujícím mazacím účinkem je například výroba závitů, ozubení nebo protahování. [13][10]

2.2 Klasifikace procesních kapalin

Podle vlastností lze obecně rozlišovat procesní kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Neustálou snahou je však zvyšovat mazací schopnost i u kapalin s chladicím charakterem. Tím se částečně stírá rozdíl mezi oběma skupinami. Jiným způsobem rozdělení je podle schopnosti procesních kapalin mísit se s vodou. Nejvýstižnější je rozčlenění procesních kapalin podle chemického složení do těchto skupin:

- Vodné roztoky,
- Emulzní kapaliny,
- Minerální oleje a zušlechtěné oleje,
- Oleje rostlinného a organického původu,
- Syntetické a polysyntetické kapaliny. [13]

Technologie	Materiál obrobku			
	Nízkouhlíkové materiály	Uhlíkové oceli	Legované oceli	Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli
Soustružení	emulze, syntetické kapaliny		emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny	
Frézování	emulze, tuky, polosyntetické nebo syntetické kapaliny	emulze s EP přísadami, polosyntetické nebo syntetické kapaliny	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny (řezné oleje)	emulze s EP přísadami
Vrtání	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny		emulze s EP přísadami, řezné oleje	
Obrázení ozubených kol	emulze pro vysoké tlaky, syntetické kapaliny		řezné oleje	
Výroba ozubení odvalováním, frézováním	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny nebo řezné oleje			řezné oleje
Protahování	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny nebo řezné oleje			
Řezání závitů	emulze s EP přísadami, syntetické kapaliny nebo řezné oleje		řezné oleje	
Broušení	syntetické nebo chemické kapaliny, emulze, řezné oleje			
Pozn. EP přísady - tzv. extreme pressures additives - přísady, vytvářející velmi odolný mazací film i při vysokých hodnotách kontaktních napětí.				

Obr. 6 – Doporučené procesní kapaliny pro různé druhy obrábění [37]

2.2.1 Vodné roztoky

Vodné roztoky jsou nejjednodušší a nejlevnější procesní kapaliny. Mají výborné chladicí a čistící účinky. Nevýhodou těchto kapalin je minimální mazací účinek a degradace způsobená množstvím anaerobních bakterií, které způsobují zakalení a nepříjemný zápach.

Základem těchto kapalin je voda, která však vyžaduje řadu úprav. Tím je změkčování, přidání aditiv proti korozi, pěnivosti a pro zlepšení smáčivosti. Výsledný roztok musí být vždy alkalický. Obvykle jsou to 1 až 2% roztoky uhličitanu sodného, trietanolaminu, křemičitanu sodného nebo draselného, dusitanu sodného a pod.

O něco účinnější jsou roztoky povrchově aktivních látek, jako například draselných a sodných mýdel, mastných a sulfonaftenových kyselin apod. Díky dobré smáčivosti a malému povrchovému napětí vykazují velkou ochlazovací schopnost a vytvářejí i adhezni film s určitou mazací schopností. [13][8]

2.2.2 Emulzní kapaliny

Díky dobrým vlastnostem z hlediska požadavků na chlazení a mazání, a také snadné dostupnosti pokrývají v praxi zhruba 80% celkového objemu emulzní kapaliny. Tvoří je disperzní soustava jemných kapek oleje, rozptýlených ve vodě. Velikost kapek oleje se pohybuje v rozmezí asi 0,2 až 8 μm . Pro zaručení stability této směsi, jinak nemísitelných kapalin, je zde přítomna ještě třetí složka. Touto složkou jsou tzv. emulgátory, které zabraňují koagulaci kapiček oleje. Funkce emulgátoru je podmíněna silným elektrickým nábojem na konci některých jeho částic, zatímco druhý neutrální konec je rozpustný v oleji. Záporný náboj polární části molekuly způsobuje vzájemné odpuzování olejových částic vlivem elektrostatických sil. Jako emulgátory se používají některá mýdla. Dalšími přísadami kapalin mísitelných s vodou jsou inhibitory koroze, biocidy, odpěňovače a případně další přísady.

Emulzní kapaliny se běžně distribuují ve formě emulgačního oleje, který se mísí s vodou v požadované koncentraci až na místě spotřeby. Vzájemným poměrem emulgačního oleje a vody můžeme zvýšit mazací nebo chladicí schopnost emulze. Při vyšší koncentraci oleje mazací účinek stoupá, ale klesá účinek chladicí. Běžně se využívá koncentrací do 10%. Tato hodnota se po přepočtu pomocí refrakčního koeficientu měří refraktometrem. Schopnost ochrany proti korozi je silně závislá na pH emulze, avšak v mnohem menší míře než u vodných roztoků. Hodnota pH by se v případě obrábění slitin železa měla pohybovat v rozmezí alespoň $\text{pH} = 8$ až 9. [13][8][4] [28]

2.2.3 Minerální a zušlechtěné oleje

Typickým představitelem procesních kapalin s převažujícím mazacím účinkem jsou minerální a zušlechtěné oleje. Minerální oleje se vyrábějí v rafineriích z ropy. Vedle dobrých mazacích účinků se vyznačují odolností proti stárnutí a konzervačními účinky.

V současnosti se používají téměř výhradně zušlechtné oleje, též někdy nazývané jako řezné oleje. Díky aditivům v nich obsažených se ještě zlepšuje ve velkém rozsahu jejich mazací schopnost a tlaková únosnost. Jako aditiva se používají mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva. Zásadní je, aby použité přísady nebyly zdravotně závadné a nepůsobily korozivně.

Přísadovými mastnými látkami jsou zmýdelnitelné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery, které zlepšují smáčivost a také mazací schopnost. Účinek těchto látek ovšem klesá za vysokých tlaků.

Aditiva z organických látek obsahují obvykle kombinaci organických sloučenin prvků jako je chlor, fosfor a síra. Jejich působením na povrchu obrobku vznikají vrstvičky kovových mýdel zlepšující kluzné vlastnosti i za působení vysokých tlaků. Sloučeniny s chlorem snižují tření, avšak tato schopnost rychle klesá nad teplotami 400°C. Pro vyšší účinnost se proto přidávají sloučeniny fosforu a síry.

Příměsí pevných maziv působí při řezání mechanickými účinky. Díky své afinitě ke kovům vytvářejí kluznou vrstvou odolnou vůči vysokým tlakům. Takovými přísadami jsou rozptýlené částice grafitu a siřníku molybdenu. Nevýhodou je nutnost udržovat v rozptýleném stavu intenzivním prouděním média. Díky nerozpustnosti těchto přísad v kapalinách totiž mají tendenci k sedimentaci.

Obecnými nevýhodami zušlechtných olejů je horší chladicí schopnosti, neekologičnost z důvodu ropného původu, vyšší cena a také hořlavost. Další negativem je vznik dýmu při vysokých teplotách a vznik olejového aerosolu v ovzduší pracoviště při rozstříku. Z toho důvodu je v některých případech nutné používat odsávání se separátory olejové mlhoviny. Na rozdíl od vodných roztoků a emulzí je také problém s ulpíváním velkého množství kapaliny na obrobkách a třískách, což sebou přináší poměrně značné ztráty a dodatečné náklady. Většinu obrobků je z tohoto důvodu také nutné odmašťovat, což zvyšuje pracnost a nákladovost výroby. Olej ulpělý na třískách je možno separovat pomocí odstředivek. Související nepříjemností na pracovištích je také ulpívání oleje na veškerém použitém vybavení. [13][8][4] [28]



Obr. 7 – Využití minerálních olejů při obrábění ozubení [38]

2.2.4 Rostlinné a živočišné oleje

V menší míře než oleje ropného původu se v praxi používají oleje získané z rostlinných živočišných tuků. Mají podobné vlastnosti jako minerální oleje, vykazují však nižší velikost povrchového napětí, díky čemuž mají lepší smáčivost a potažmo i lepší chladicí účinek. Nejvýznamnějšími zástupci této skupiny procesních kapalin je řepkový, lněný a ricinový olej.

Přednostmi těchto kapalin je ekologičnost a zdravotní nezávadnost, což je hledisko, které čím dál více nabývá na významu. Většímu využití v praxi však brání poměrně malá tepelná odolnost a značný sklon ke stárnutí. Projev degradace se u nich projevuje zvyšováním kyselosti a tvorbou pryskyřičných látek. Související neblahou vlastností rostlinných olejů je tzv. vysychání olejů. Je to tvorba tvrdého filmu na povrchu vybavení a obrobků znečištěných těmito oleji a ponechaných volně na vzduchu. Předměty je proto nutné od ulpělých olejů včas očistit. [13][8][4] [28]

2.2.5 Syntetické a polysyntetické kapaliny

Tento druh procesních kapalin se vyznačuje velkou provozní stálostí. Většinou se jedná o kapaliny rozpustné ve vodě s vysokou úrovní mazacích schopností známých z oblasti řezných olejů a zároveň výbornými chladicími účinky. Základem těchto kapalin bývají glykoly, jinak nazývané také jako dioly, což jsou polární rozpouštědla.

Oproti procesním kapalinám na bázi oleje mají syntetické kapaliny větší schopnost odvodu tepla, dobrý čistící účinek, jednoduchou přípravu a větší

ekonomičnost. Výhodou je také to, že jsou průsvitné, což umožní sledování průběhu řezu nástroje. Případný problém s vyplavováním oleje z kluzných vedení obráběcího stroje lze řešit použitím kompatibilního mazacího oleje nebo separačním zařízením.

Základem polysyntetických kapalin jsou kapaliny syntetické, ale navíc obsahují ještě olej rozptýlený ve formě emulze, což ještě výrazně zlepšuje jejich mazací schopnost. Rozptýlené olejové částice jsou zde mnohem menší než v běžných vodných emulzích. [15][4]



Obr. 8 – Využití syntetických kapalin při soustružení [40]

2.3 Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin

Požadavků kladených na procesní kapaliny je mnoho. Vedle chladicí, mazací a čistící schopnosti jsou jedním z nejdůležitějších hledisek provozní náklady spojené s jejím používáním. Dále je sledována ochranná schopnost kapaliny, její trvanlivost, vliv na zdraví a životní prostředí. Procesní kapalina také musí být netečná vůči nátěrům, těsněním a ostatním součástem obráběcího stroje. V závislosti na kriteriích pro konkrétní aplikaci jsou upřednostňovány jednotlivé vlastnosti. [4]

2.3.1 Chladicí účinek

Chladicí účinek procesního media udává schopnost odvodu tepelné energie z místa řezu. Odvod tepla vzniklého při řezání vzniká přestupem tepla z nástroje, obrobku a třísky do kapaliny, která ho obklopuje. Předpokladem pro to je tepelný spád mezi povrchem a kapalinou. Obecně je kladen požadavek na chladicí schopnost hlavně u obrábění vysokými řeznými rychlostmi, což je například broušení.

Intenzita ochlazovacího účinku média závisí na mnoha faktorech, které jsou z části dány konkrétní situací při obrábění. Hlavními faktory je tepelný gradient, průtokové množství, rychlost a místo přívodu média k řezu. Dále jsou to fyzikální vlastnosti, jako je smáčivost, měrná tepelná kapacita, velikosti výparného tepla a součiniteli tepelné vodivosti chladícího média i obráběného materiálu. V tomto ohledu mají nejlepší ochlazovací schopnost voda, vodné roztoky a emulze. Dáno je to vysokou hodnotou výparného tepla a nejvyšší hodnotou měrné tepelné kapacity vody ze všech látek. Hodnota měrné tepelné kapacity značí množství tepla, které je nutné přivést jednomu kilogramu látky pro zvýšení teploty o jeden stupeň Celsia, respektive jeden Kelvin. Hodnota výparného tepla potom udává množství tepelné energie, které přijme jeden kilogram kapaliny o teplotě varu, pro přeměnu na plyn o stejné teplotě. Nadměrné odpařování procesní kapaliny je však často nežádoucí. Z důvodu čistoty a zdraví je v takových případech nutné vznikající výpary odsávat. [4][28]

2.3.2 Mazací účinek

Mazací účinek je schopnost procesní kapaliny vytvořit mezi povrchy materiálů tenkou vrstvu, která brání přímému styku nástroje, obrobku a ubíraného materiálu. Vzhledem k vysokým teplotám a měrným tlakům probíhajících při procesu řezání, sice nemůže docházet k dokonalému kapalnému tření, ale jedná se spíše o tření mezní. Únosnost mazacího filmu je závislá na viskozitě procesní kapaliny a použitých přísadách. Při vyšší viskozitě je únosnost filmu vyšší, avšak mazací kapalina hůře proniká do místa řezu a také má tendenci ulpívat na obrobku a třískách. Vzniklý mazací film při pohybu snižuje třecí energii, čímž zmenší řezné síly a vývin tepla. Díky tomu dojde ke snížení spotřeby energie, zvýšení trvanlivosti nástroje a lepší jakost obrobku.

Mazací účinek je upřednostňován zejména při dokončovacích operacích, kdy je kladen důraz na jakost povrchu, ale také při obrábění, kde dochází k velkým měrným tlakům. Typickým příkladem použití je například řezání závitů, protahování, vystružování nebo výroba ozubení. [4][28]

2.3.3 Čistící účinek

Čistící účinek procesní kapaliny představuje schopnost odstraňovat třísky vzniklé při obrábění z místa řezu i ostatních pracovních ploch. To má především pozitivní vliv na jakost povrchu, jelikož se omezí možnost poškození povrchu nahromaděnými třískami. V jiném případě může tento účinek zvýšit i produktivitu procesu díky odvádění třísek. Příkladem je odvod třísek u vrtání hlubokých děr s přívodem kapaliny tělem nástroje nebo zlepšení řezivosti brousicího kotouče díky čištění zanesených pórů a zamezení slepování třísek.

Vyplavené třísky jsou v obráběcích strojích odnášeny spolu s kapalinou do sběrných van, kde se zachytávají pomocí sít nebo na dopravnících třískách. Dokonalé oddělení zbytkových třísek a ostatních nečistot rozptýlených v procesních kapalinách probíhá hlavně sedimentací v nádrži na procesní kapalinu. Někdy se využívá také magnetických separátorů a filtrů. Je nutné, aby procesní kapalina před návratem do oběhu byla řádně pročištěna. V opačném případě by mohly nečistoty způsobit zhoršení jakosti povrchu a negativně ovlivnit životnost nástroje a čerpadla na procesní kapalinu. Sací koše čerpadel proto nenasávají kapalinu až u dna, aby se eliminovalo nasátí usazeného kalu. [4][28]

2.3.4 Ochranný účinek

Z důvodu nutnosti chránit obrobky, stroj i ostatní vybavení proti korozi, je sledován ochranný účinek procesních kapalin. Důraz na tento účinek je kladen také proto, aby nebylo nutné obrobky ani vybavení konzervovat. U některých kapalin je ochranná schopnost přirozenou vlastností (např. oleje) případně se dociluje aditivy, pasivující kovy proti nežádoucím účinkům.

Souvisejícím požadavkem je také to, aby procesní kapaliny nebyly agresivní vůči nátěrům, tmelům, pryžovým či silikonovým těsněním a dalším prvkům strojů. [4][28]

2.3.5 Provozní stálost

Měřítkem provozní stálosti procesní kapaliny je interval jejího užívání do nutné výměny. Dlouhodobé užívání je podmíněno požadavkem na stálé vlastnosti. Stárnutí procesní kapaliny snižuje její funkční vlastnosti, čímž klesá trvanlivost

nástroje, kvalita obrobeného povrchu a podobně. Na trvanlivost má obecně vliv doba používání, tepelné zatížení kapalin a její znečištění. Některé druhy procesních kapalin podléhají také bakteriálnímu rozkladu, který se mimo změny provozních vlastností můžou projevit v krajním případě i nepříjemným zápachem. Stárnutí medií s olejovým základem se může projevovat tvorbou pryskyřičných usazenin. Mimo těchto jevů by procesní kapaliny neměly za provozu příliš měnit viskozitu a při rozstřiku by nemělo docházet k jejich pění a nadměrnému vypařování.[4][28]

2.3.6 Zdravotní nezávadnost

Vzhledem k tomu, že při práci na obráběcích strojích přichází obsluha s procesními kapalinami do kontaktu, je kladen požadavek na její zdravotní nezávadnost. Kapaliny by neměly obsahovat jedovaté a zdraví škodlivé látky a látky dráždící pokožku a sliznice. Neměly by ani zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. Zdravotní nezávadnost procesních kapalin závisí také na její provozní stálosti a čistotě.

Přísně sledovaným faktorem je dopad těchto látek na životní prostředí. Zejména se jedná o náročnost spojenou s ekologickou likvidací použitých procesních kapalin. [4][28]

2.3.7 Přiměřené náklady

Náklady spojené s užíváním procesní kapaliny úzce souvisejí s její spotřebou a cenou. Při rozboru těchto nákladů je v první řadě nutno posuzovat vliv kapaliny na samotný proces obrábění. Následovat by mělo posouzení nákladů souvisejících se spotřebou a likvidací procesní kapaliny. Podstatnou nákladovou položku pak mohou tvořit další procesy spojené s použitím konkrétního druhu kapaliny. Těmi jsou například náklady na odmašťování obrobků, úklid, čisticí prostředky, provoz odsávání výparů nebo odstraňování procesních kapalin ulpívajících na třískách. [4][28]

2.4 Způsoby přívodu procesních medií do místa řezu

Trvanlivost nástroje, jakost obrobené plochy, čisticí schopnost a celková efektivita obrábění je mimo samotných vlastností procesních medií zásadně ovlivněna také způsobem přivádění k místu řezu.

2.4.1 Standardní chlazení

Standardní způsob přívodu procesní kapaliny je pomocí jednoduché soustavy zakončené nastavitelnou tryskou. Doprava kapaliny ze sběrné nádrže rozvodovým potrubím je realizována pomocí čerpadla. Takovouto soustavou je standardně vybavena většina běžných obráběcích strojů. Místo a směr přívodu kapalin se nejčastěji nastavuje pomocí trubic nebo častěji flexibilních kloubových hadic opatřených tryskami různých tvarů. Množství a tlak přiváděného média je dán výkonem čerpadla a dále je regulováno škrťacími ventily, které nastavuje obsluha stroje. [4][28]

2.4.2 Tlakové a vnitřní chlazení

Tlakový způsob přívodu procesní kapaliny pracuje oproti standardnímu s mnohem vyššími tlaky, které se pohybují okolo 0,3 až 3 MPa. Proud kapaliny je přesně fokusován na čelo nebo hřbet nástroje. Průměr výstupní trysky bývá jen 0,3 až 1mm. Průtočné množství bývá v rozmezí 0,5 až 2 litry za minutu. Zde je obzvláště nutné, aby kapalina neobsahovala nečistoty. Jednak by mohlo nastat ucpání trysek a také docházet k abrazivním účinkům nečistot na povrchu nástroje a obrobku.

Nejefektivnější způsob přívodu procesní kapaliny představuje vnitřní chlazení nástroje, protože kapalina je vedena pod tlakem přímo tělem nástroje a tím je zaručeno její dokonalé nasměrování až k břitu nástroje za všech podmínek. Největší význam má tento způsob přívodu u vrtání hlubokých děr. Nejenže je v takovém případě procesní kapalina dokonale přiváděna až k břitu nástroje, což by jiným způsobem nešlo zaručit, ale rovněž účinně odplavuje vzniklé třísky. To umožňuje značně zvětšit řezné rychlosti a zkrácení výrobních časů. Dále se tento typ chlazení s výhodou často uplatňuje u vnitřního soustružení

Přínosem použití je hlavně prodloužení trvanlivosti nástrojů, možnost zvýšení řezné rychlosti a kontrola utváření a odvod třísek. Nevýhodou jsou vysoké investiční náklady. Nutností je pořízení speciálních nástrojů, které však mají z důvodu složité výroby vysoké pořizovací ceny. U systému vnitřního chlazení musí být zároveň i obráběcí stroj vybaven zařízením podporující vnitřní chlazení, což splňují pouze některé moderní stroje. U rotačních nástrojů je v takovém případě kapalina přiváděna do rotujícího vřetena, což s sebou nese jistá konstrukční specifika. Nežádoucím jevem při využití vysokotlakého chlazení je velký rozstřík kapaliny a tvorba mlhy.

Aby v takovém případě nedocházelo k znečišťování okolního pracovního prostředí, je nutný uzavřený pracovní prostor stroje. [8][4] [16][37]



Obr. 9 – Vnitřní způsob chlazení pro vrtání [32]

2.4.3 Podchlazování procesní kapaliny

Pro zvýšení ochlazovacího účinku se v některých případech také procesní kapalina ochlazuje na teplotu nižší než má okolní prostředí. K tomu slouží chladicí agregáty. Běžné procesní kapaliny jsou podchlazovány na teplotu 5 až 7°C, oleje na 15 až 20°C. Tomu je potřeba zohlednit výběr procesních kapalin. Nižší teploty by totiž mohly vést ke zhoršení fyzikálních vlastností kapalin (např. zvýšení viskozity olejů).

Některé obráběcí stroje jsou také vybaveny zařízením, které naopak umožní i přehřev procesního media na začátku směny tak, aby bylo rychle dosaženo provozní teploty obrábění. Tím jsou eliminovány odchylky způsobené teplotní roztažností materiálu stroje, nástroje a obrobku a zaručena vyšší stabilita řezných podmínek.[8][4]

2.4.4 Chlazení mlhou

Metoda chlazení a mazání mlhou je vhodná zejména pro nástrojové materiály citlivé na tepelné šoky, jako je řezná keramika. Řezným prostředím je v tomto případě procesní kapalina ve formě aerosolu, rozptýlená tlakem vzduchu proudícího tryskou vysokou rychlostí (až 300 m/s). Obdobou chlazení mlhou je

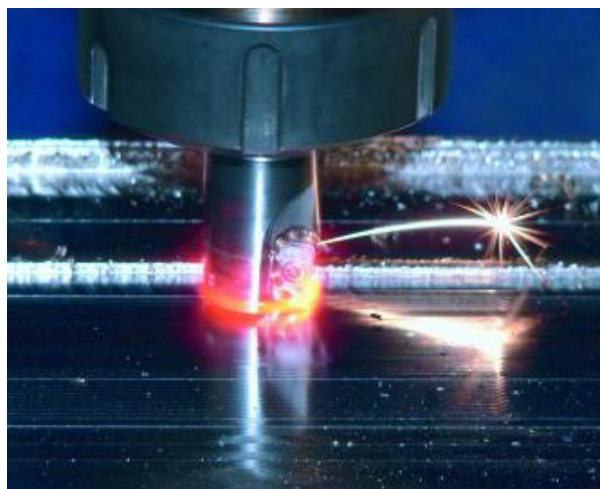
system MQL (Minimum Quantity Liquid), zaměřený na minimalizaci aplikované řezné kapaliny ve formě jemně rozptýlené směsi namířené přímo do místa řezu. Odvod tepla zajišťuje rozpínající se vzduch obsahující částičky procesní kapaliny. Výhodou je zde hlavně malá spotřeba procesní kapaliny a plynulý odvod tepla. [8][17]

2.4.5 Chlazení plynnými látkami

Plynné látky se jako procesní média běžně nepoužívají z důvodu nulového mazacího účinku a nízkého chladícího a čistícího účinku. Pozitivním hlediskem je, že díky plynnému skupenství neznečišťují obrobek, třísky, nástroje ani další předměty svými zbytky, jako je tomu u kapalin.

Jedním z používaných způsobů je chlazení stlačeným vzduchem. Jedná se o poměrně jednoduchou a levnou metodu, která nevyžaduje drahou aparaturu. Jiným příkladem je chlazení stlačeným oxidem uhličitým. Hodí se například pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Plyn se k místu řezu přivádí pod tlakem 0,5 až 7 MPa v tenkém paprsku. Nevýhodou použití CO₂ jsou vysoké pořizovací a provozní náklady, zvýšené nebezpečí na pracovišti s nutností dokonalého odsávání a větrání.

Mezi obrábění s chlazením plynnými medii se dá obecně zařadit také tzv. suché obrábění. Jde o běžnou metodu, kdy řezným prostředím je vlastně okolní atmosférický vzduch. Snahou je preferovat tento přístup, jelikož odpadají komplikace a náklady spojené s používáním procesních kapalin. Tento přístup však klade mnohem větší nároky na nástrojové materiály. [8][7]



Obr. 10 – Vysokorychlostní frézování slitiny Ti bez přívodu procesní kapaliny [39]

3 TRVANLIVOST NÁSTROJE

3.1 Požadavky na nástrojové materiály

Použitý druh materiálu břítu řezných nástrojů zásadě ovlivňují produktivitu, kvalitu a hospodárnost obráběcího procesu. Jsou na ně kladeny náročné a často i protichůdné požadavky. Zcela nejzákladnějším předpokladem jejich funkce je tvrdost vyšší než má obráběný materiál, aby řezný klín mohl vniknout do obráběného materiálu a řezat třísku. Z hlediska produktivity je pak sledována především tepelná odolnost takového materiálu. Veškeré požadavky na nástrojové řezné materiály lze shrnout pod pojem řezivost. Řezivost vyjadřuje schopnost materiálu břítu obrábět obrobek za daných technologických podmínek. Ovlivněna je řadou činitelů, jako chemickým složením, způsobem výroby, tepelným zpracováním apod. Obecné předpoklady pro dobrou řezivost jsou:

- Tvrdost
- Pevnost v tlaku a ohybu
- Houževnatost
- Odolnost proti zvýšené teplotě a teplotním rázům
- Dobrá tepelná vodivost
- Chemická stálost
- Odolnost proti otěru.

Pro porovnání řezivosti dvou nástrojů existuje tzv. index řezivosti i_r , daný vztahem:

$$i_r = \frac{v_T}{v_{Te}} [-] , \quad (6)$$

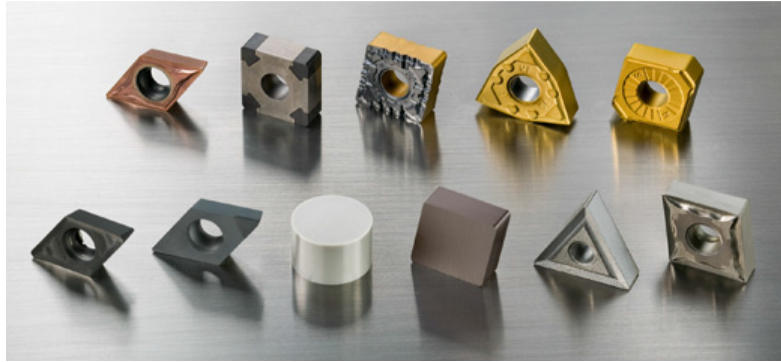
kde

- | | |
|--------------|---|
| v_{Te} ... | řezná rychlost pro zvolenou trvanlivost T (např. 10 minut) při obrábění etalonovým nástrojem [m/min], |
| v_T ... | řezná rychlost pro stejnou trvanlivost, dosaženou při obrábění zkoušeným nástrojem za jinak stejných řezných podmínek. [m/min]. [8] [5] |

3.2 Přehled nástrojových materiálů

V současnosti existuje na trhu mnoho druhů řezných materiálů, z nichž řada vznikla teprve relativně nedávno. Příchod nových materiálů způsobil rozvoj technologií třískového obrábění, výrazně posunul jakost a produktivitu a umožnil vznik nových metod. Vzhledem k velké škále materiálů je však stále složitější výběr toho nejvhodnějšího řezného materiálu pro konkrétní aplikaci (viz obr.12). Nástrojové materiály jsou podle normy ČSN ISO 513 : 2002 rozděleny dle oblasti použití do skupin, které doplňuje ještě číslice vyjadřující odolnost vůči opotřebením a pevnost:

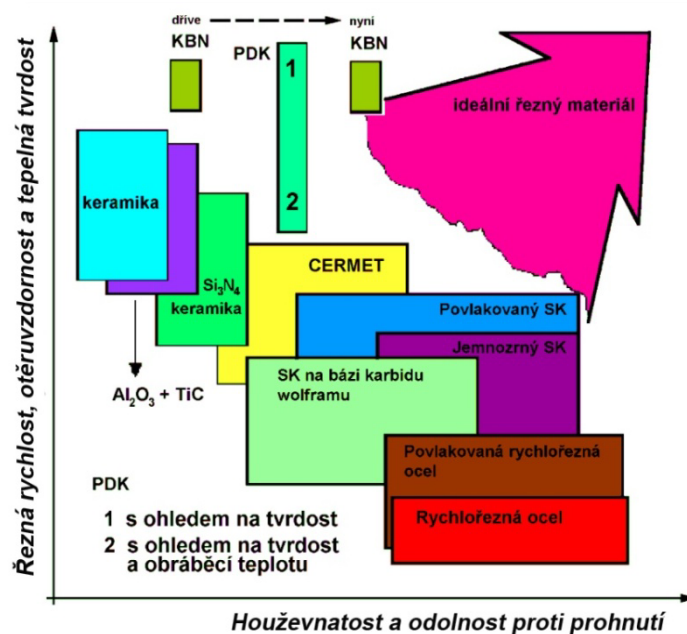
- Skupina P - barevné označení: modrá
 - původní značení S (z německého slova stahl – ocel)
 - základní složení: WC + TiC + Co
 - pro obrábění železných kovů s dlouhou třískou (ocel, ocel na odlitky)
- Skupina M - barevné označení: žlutá
 - původní značení U
 - základní složení: WC + TiC + TaC + Cr₃C₂ + Co
 - pro obrábění železných kovů s dlouhou i krátkou třískou a neželezné kovy (ocel, litina, korozivzdorní ocel, Al slitiny)
- Skupina K - barevné označení: červená
 - původní značení G (z německého slova gus - litina)
 - základní složení: WC + Co
 - pro obrábění železných i neželezných materiálů s krátkou drobnou třískou (litina, kalená ocel, sklo, Cu a Al slitiny).
- Skupina N - barevné označení: zelená
 - pro obrábění neželezných kovů a jejich slitin, zejména hliníku
- Skupina S - barevné označení: hnědá
 - pro obrábění tepelně odolných slitin na bázi železa, niklu, kobaltu, titanu a titanových těžce obrobitelných slitin
- Skupina H - barevné označení: šedá
 - pro obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí a litin



Obr. 11 – Různé nástrojové materiály ve formě vyměnitelných břitových destiček [20]

Podle chemického složení se současné nástrojové materiály dělí na:

- Nástrojové oceli uhlíkové
- Nástrojové oceli legované (slitinové)
- Nástrojové oceli vysokolegované (rychlořezné)
- Stellity
- Slinuté karbidy
- Cermety
- Mineralokeramické řezné materiály (řezná keramika)
- Polykrystalický diamant (PCD)
- Kubický nitrid bóru (CBN). [8][5][29][20]



Obr. 12 - Vlastnosti jednotlivých druhů nástrojových materiálů [30]

3.2.1 Nástrojové oceli

Uhlíková nástrojová ocel je nejstarším běžně užívaným nástrojovým materiálem. Řadí se do skupiny ušlechtilých ocelí. Její tvrdost je dána přítomností uhlíku v rozsahu 1 až 1,5%, který tvoří po zakalení tvrdé karbidy. Se vzrůstajícím obsahem uhlíku tvrdost a řezivost roste, ale do jisté míry klesá houževnatost. Oblast použitelnosti je zhruba do 200°C a řezné rychlosti obvykle do 0,2 m/s. Využití nalézá především u ručního nářadí (pilníky, kladiva, dláta atd.).

Legované nástrojové oceli, jiným názvem také slitinové oceli, obsahují legury, jako je Mn, Cr, Mo, W, V, tvořící tvrdé karbidy stále až do vysokých teplot. Mohou i jinak zlepšovat jejich mechanické a tepelné vlastnosti. Obsah uhlíku je méně než 1,25%. Další přísadové prvky, jako Ni, Si, Co, jsou nekarbidotvorné. Díky legurám se zvyšuje prokalitelnost, avšak tepelné zpracování je náročnější. Použitelnost těchto ocelí je do teplot 300 až 400°C a řezných rychlostí 0,3 m/s. Nejčastější využití je u nástrojů pro méně náročné aplikace, jako jsou například pilové listy, výhrubníky, výstružníky, závitníky nebo protahováky.

Vysokolegované nástrojové oceli jsou jinak označovány také jako rychlořezné oceli nebo zkráceně HSS (z anglického názvu High Speed Steel). Obsahují vysoký podíl přísadových karbidotvorných prvků, především wolfram, chrom, vanad, molybden a dále nekarbidotvorný kobalt. V zakaleném a popuštěném stavu mají v porovnání s nelegovanými a legovanými nástrojovými oceli výrazně vyšší tvrdost, odolnost proti otěru a hlavně odolnost proti popuštění. Přitom si zachovávají dobrou rázovou odolnost, tudíž jsou vhodné i pro obrábění s přerušovaným řezem. Lze je použít až do teploty 600°C a řezných rychlostí běžně do 1,5 m/s. Vyrábí se z nich vrtáky, závitníky, soustružnické nože, frézy a podobně. Pro zlepšení vlastností se v některých případech ještě povlakuje TiC nebo TiN.

Speciálním případem je potom rychlořezná ocel vyrobená práškovou metalurgií. Ve srovnání s běžnou rychlořeznou ocelí má vyšší houževnatost, rozměrovou stálost a lepší řezné vlastnosti. [8][5][4]

3.2.2 Stelity

Stelity jsou neželezné slitiny na bázi kobaltu a karbidů chromu a wolframu. Použitelné jsou do teplot 700°C. Zpracovávají se pouze odléváním tak, že se nástroj

vyrobí vcelku nebo jako břitové destičky. Tepelné zpracování se u nich neprovádí. Jejich rozšíření v praxi ale není velké. [5]

3.2.3 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy, zkráceně SK, jsou v současnosti nejrozšířenějším nástrojovým materiálem. Poprvé se objevily roku 1926 pod názvem WIDIA. Vyrábějí se práškovou metalurgií z částic karbidů wolframu, titanu, tantalu, chromu či niobu, které jsou slinováním svázány nízkotavitelným kovovým pojivem, kterým je nejčastěji kobalt. Po slinutí už se dále tepelně nezpracovávají. Oblast použitelnosti SK je zhruba do 900°C a řezné rychlosti do 6 m/s.

Vzhledem k požadavkům na velkou tvrdost a otěruvzdornost povrchu a zároveň houževnatost jádra, se dnes SK hojně povlakují. Často jsou povlaky vícevrstvé. Nejčastěji jsou tvořeny vrstvami TiC, TiN, nebo Al₂O₃. Jejich síla je několik μm. Základními technologiemi tvorby povlaků jsou PVD a CVD metody.

Slinuté karbidy se vyrábějí nejčastěji ve formě břitových destiček normalizovaných tvarů. Tyto destičky se pájí nebo dnes častěji mechanicky upínají na řeznou část těles nástrojů vyrobených z konstrukční oceli. Jako celistvé jsou vyráběny pouze nástroje malých rozměrů (např. vrtáky, frézy). Vyměnitelné břitové destičky (VBD) mají většinou několik ostří, které se používají postupně. Po otupení všech ostří se destička neostří, ale vyřazuje a mění za novou. Výhodou použití nástrojů s VBD je to, že případná destrukce břitu (např. ulomený zub frézy) nezpůsobí znehodnocení celého nástroje. Velkým přínosem je také menší nárok na seřízení nástroje při jeho výměně. [8][4][10] [28]

3.2.4 Cermety

Cermety jsou nástrojové materiály vyvíjené jako analogie k SK v USA. Na rozdíl od slinutých karbidů jsou avšak vyrobené bez přítomnosti karbidu wolframu. Jejich název je odvozen spojením slov ceramic a metal, což vyjadřuje spojení keramických částic v kovovém pojivu. Tvrdými částicemi jsou TiC, TiN, TiCN a pojivo je v tomto případě Ni, Mo, Co nebo dnes často také Cr. Běžně se používají ve formě vyměnitelných břitových destiček. Využití mají až do teplot 1500°C a řezných rychlostí 8m/s. Jejich nevýhodou je menší houževnatost a odolnost proti teplotním šokům než u SK, proto se volí především pro dokončovací operace. [8][4][10] [28]

3.2.5 Řezná keramika

Řezná keramika je nekovový řezný materiál vyráběný vysokoteplotním izostatickým lisováním nejčastěji do podoby vyměnitelných břitových destiček. Tyto mineralokeramické materiály vynikají vysokou trvanlivostí a odolností proti vysokým teplotám. Podle chemického složení je lze dělit na:

- Čisté oxidová keramiky – obsahují 99,5% Al_2O_3
- Polosměsné keramiky – směsy Al_2O_3 + (10 – 20%) ZrO_2
- Směsné keramiky - směsy Al_2O_3 + kovy nebo karbidy kovů TiC , TiN
- Neoxidové keramiky – na bázi Si_3N_4 + Al_2O_3 nebo jiné oxidy, nitridy apod.

Hranicí použití keramiky jsou teploty 1200 až 1800°C a rychlostí 0,5 až 15 m/s. Nevýhodou těchto materiálů je malá tepelná vodivost a křehkost, díky které se nehodí pro obrábění s chvěním a přerušovaným řezem. [5][4][28]

3.2.6 Polykrystalický diamant

Polykrystalický diamant (PKD) je syntetický materiál vyrobený spékáním diamantového prachu. Vyrábí se často jako brusivo nebo ve formě tzv. kompakťů, které tvoří řeznou část vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů. Tvrdostí dosahuje hodnot blízkým přírodnímu diamantu (až 10000 HV). Používá se do teplot 600°C. Nevýhodou je, že nesnáší rázy a chvění a za zvýšených teplot se slučuje s Fe a Co, tudíž se nehodí pro obrábění železných slitin. [5][4][28]

3.2.7 Kubický nitrid bóru

Kubický nitrid bóru (CBN) je synteticky vyrobený materiál dosahující tvrdosti podobným polykrystalickému diamantu (až 8000 HV). Polykrystalický CBN je vyroben spékáním z prášku. Vyžívá se podobně jako polykrystalický diamant ve formě kompakťů tvořících řeznou část VBD ze slinutých karbidů nebo jako brusivo. Lze ho použít až do teplot 1500°C. Oproti diamantu snáší lépe rázy a neslučuje se s Fe, proto se hodí i pro obrábění velmi tvrdých a pevných ocelí. [5][4][28]

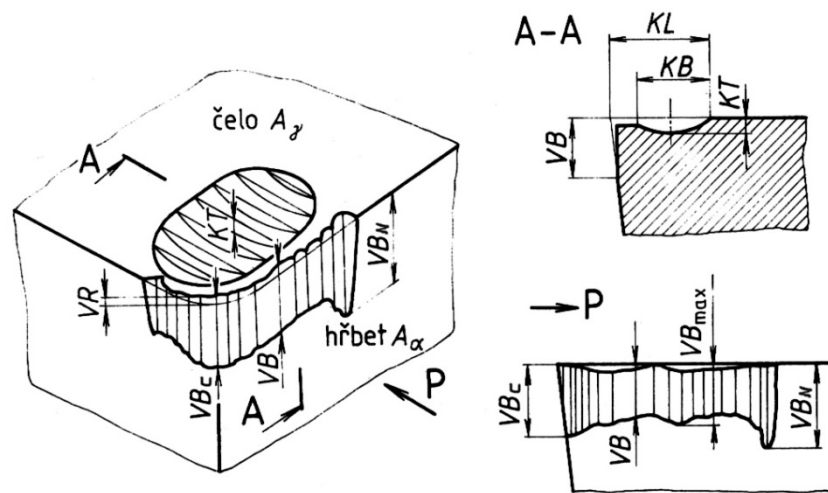
3.3 Definice pojmu trvanlivost nástroje

Trvanlivost břítu T je základní veličinou, určující vztah řezných podmínek k hospodárnosti obrábění. Její hodnota je definována jako doba, po kterou nástroj pracuje od naostření do dosažení určitého kritéria otupení. Konec trvanlivosti nastává, jakmile není zaručena spolehlivá funkce nástroje způsobená opotřebením břítu. Opotřebení má mimo jiné vliv na jakost obrobku, rozměrové přesnosti obrobku, schopností kontrolovaného odchodu třísky nebo na velikosti řezné síly. Hodnotícím kritériem přípustného otupení, může být hodnota opotřebení břítu, hodnota limitní drsnosti povrchu nebo limitní rozměr obrobku. V nejkrajnějším případě končí trvanlivost nástroje lomem břítu, který ovšem vede ke vzniku neshodných výrobků, případně i poškození dalších nástrojů či celého stroje. To platí především při obrábění na automatizovaných obráběcích strojích, kde proces probíhá bez dohledu obsluhy. Z tohoto důvodu je potřeba určení trvanlivosti a spolehlivosti břítu velmi významná. [13][28]

3.3.1 Charakteristiky a průběh opotřebení břítu

Postupné opotřebení břítu se projevuje nejčastěji tvorbou nepravidelné plošky na hřbetě a výmolem na čele břítu. (viz obr.13). Nejvíce užívaným kritériem posuzování otupení nástroje je v praxi velikost hřbetní plošky. Velikost tohoto opotřebení se hodnotí šířkou opotřebení hřbetu VB . Hodnota hloubky výmolu pak bývá označována KT . Norma ISO 3685 uvádí mimo jiné následující formy opotřebení:

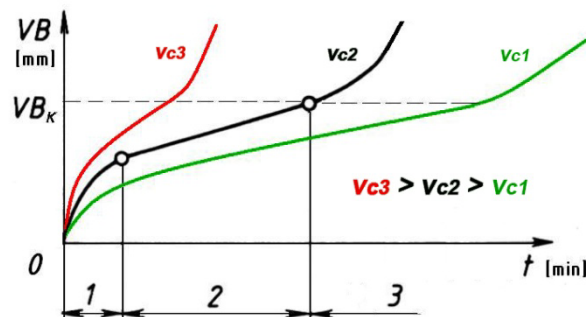
- VB ... průměrná šířka opotřebení hřbetu
- VC ... šířka opotřebení hřbetu v oblasti špička nástroje
- VN ... šířka opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu
- VB_{max} ... maximální šířka opotřebení hřbetu
- KT ... hloubka žlábků (výmolu)
- KB ... šířka žlábků (výmolu)
- KL ... vzdálenost od ostří k okraji žlábků (výmolu)
- VR ... radiální opotřebení.



Obr. 13 - Způsoby opotřebení nástroje a jejich značení [12]

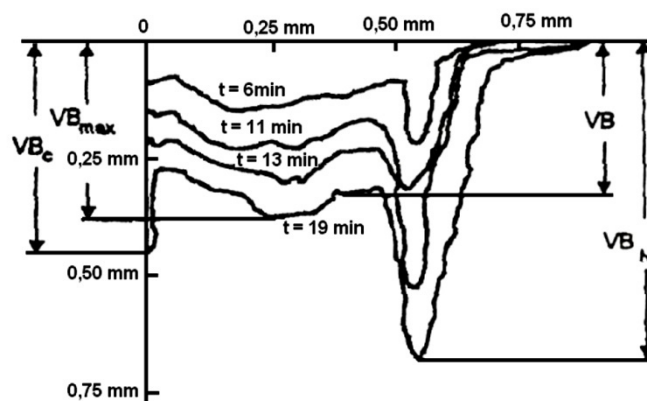
Obvykle se podle převažujícího způsobu opotřebení hodnotí parametr VB nebo KT a stanovuje se jeho maximální přípustná hodnota v milimetrech. Typicky je to kritická velikost hřbetní plošky VB_K . Časový průběh opotřebení hřbetní plochy se obvykle vyznačuje třemi fázemi, kde ve střední fázi je průběh opotřebení VB přibližně lineární. Tuto oblast uzavírá maximální přípustná hodnota opotřebení hřbetní plošky VB_K (viz obr.14) :

1. oblast: Velmi rychlené záběhové otupení vlivem nerovnosti ostří a malé plochy ostří, což je typické u právě přeastřených nástrojů.
2. oblast: Lineární průběh otupení
3. oblast: Intenzivní průběh otupení končící lavinovitým otěrem během krátké doby způsobené dosažení limitní teploty řezání a poklesem tvrdosti nástroje.

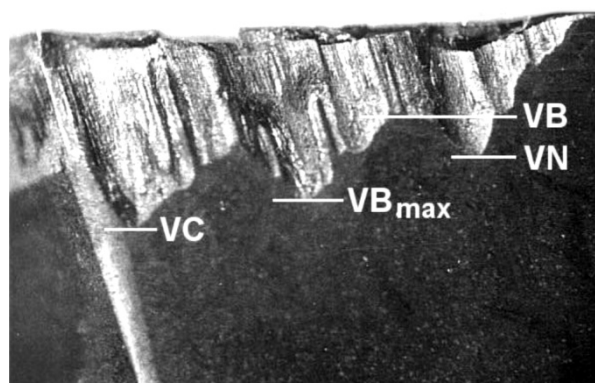


Obr. 14 – Časový průběh opotřebení hřbetní plochy břítu pro různé řezné rychlosti

Konkrétní průběh opotřebení během činnosti břitu lze také vyjádřit prostřednictvím tzv. časové mapy opotřebení (viz obr. 15). Ta představuje konkrétní tvar plochy opotřebení na břitu nástroje (viz obr. 16).



Obr. 15 – Časová mapa opotřebení na hřbetu nástroje [28]



Obr. 16 – Příklad opotřebení na hřbetu nástroje [28]

Hodnotu trvanlivosti nástroje ovlivňuje především:

- Druh obráběného materiálu
- Materiál břitu nástroje
- Řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, hloubka záběru)
- Vlastnosti řezného prostředí (chlazení, mazání)
- Geometrie řezného nástroje
- Způsob namáhání nástroje (plynulost řezu, vibrace atd.).

Závislost trvanlivosti nástroje na řezných podmínkách vyjadřuje Taylorův vztah pro trvanlivost:

$$T = \frac{C_T}{V_c^m \cdot a_p^x \cdot f^y} \quad [min] \quad , \quad (7)$$

případně zjednodušený Taylorův vztah pro trvanlivost:

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \text{ [min] } , \quad (8)$$

kde v_c ... řezná rychlost [m.min⁻¹],
 a_p ... hloubka záběru [mm],
 f ... posuv [mm.ot⁻¹],
 C_T ... konstanta Taylorova vztahu pro trvanlivost, [-],
 x ... exponent Taylorova vztahu [-],
 y ... exponent Taylorova vztahu [-],
 m ... exponent Taylorova vztahu závisející na řezném materiálu [-].

Zjednodušený Taylorův vztah lze také vyjádřit ve tvaru pro řeznou rychlost:

$$v_c = \frac{C_V}{T^{\frac{1}{m}}} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] , \quad (9)$$

kde v_c ... řezná rychlost [m.min⁻¹],
 T ... trvanlivost nástroje [min],
 m ... exponent Taylorova vztahu závisející na řezném materiálu [-],
 C_V ... konstanta Taylorova vztahu pro řeznou rychlost [-].

Konstanty C_T (řádově 10⁹ až 10¹³) a C_V (řádově 10² až 10³) vyjadřují vliv řezných podmínek a vzácně pro ně platí vztah:

$$C_V = C_T^{\frac{1}{m}} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] . \quad (10)$$

Exponent m charakterizuje především vlastnosti použitého nástrojového materiálu a dosahuje hodnot pro:

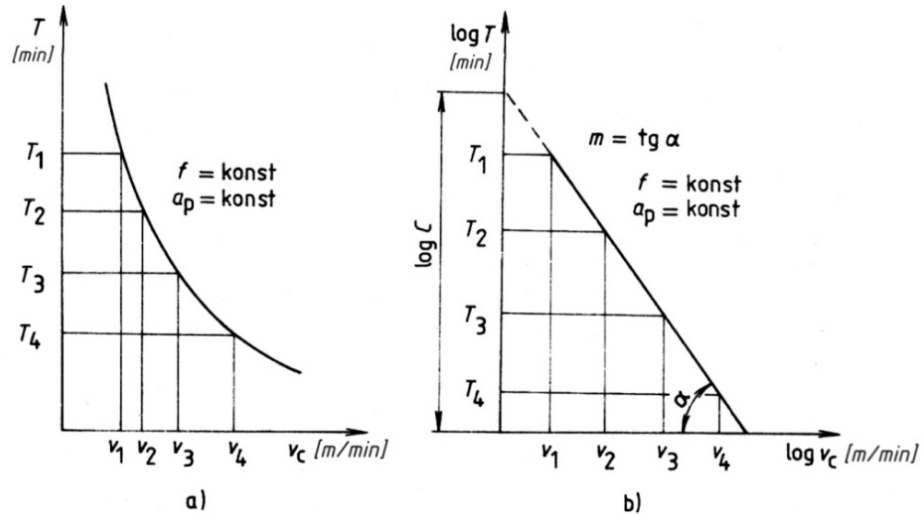
nástrojové oceli: $m = 8$ až 10 [-],
rychlořezné oceli: $m = 5$ až 8 [-],
slinuté karbidy: $m = 2,5$ až 5 [-],
řeznou keramiku: $m = 1,5$ až $2,5$ [-].

Ze všech parametrů řezných podmínek má nejvýraznější vliv na trvanlivost řezná rychlost. S rostoucí řeznou rychlostí trvanlivost klesá a stejná míra opotřebení

je dosažena v kratším čase. Průběh závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti lze obecně vyjádřit křivkou (viz obr.17). která je dána vztahem:

$$C_T = T \cdot v_c^m = T_1 \cdot v_{c1}^m = T_2 \cdot v_{c2}^m = T_n \cdot v_{cn}^m \quad [-] , \quad (11)$$

z toho
$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^m , \quad (12)$$



Obr. 17 - Závislost trvanlivosti nástroje na řezné rychlosti (a - přirozené souřadnice, b - logaritmické souřadnice) [12]

Pokud je známa hodnota trvanlivosti T_1 odpovídající určité řezné rychlosti v_1 , lze podle tohoto vztahu určit trvanlivost T_2 pro jinou řeznou rychlost v_2 , při jinak stejných podmínkách obrábění jako:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^m \quad [min], \quad (13)$$

Celkové kritérium ekonomického hodnocení obrábění udává životnost nástroje \check{Z} . Je to celkový součet trvanlivostí ostří při přestřování až do jeho vyřazení z provozu. Pro určení životnosti nástroje \check{Z} platí vztah:

$$\check{Z} = (n + 1) \cdot T , \quad (14)$$

kde T ... trvanlivost nástroje [min],

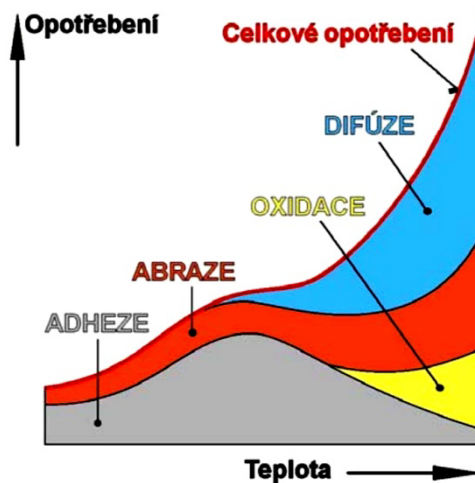
n ... počet přestřování [-]. [4][5][12] [28]

3.3.2 Mechanizmy opotřebení břitu nástroje

Opotřebování břitu nástroje je výsledkem kombinace několika zatěžujících faktorů, působících na břit při obrábění. V základu jde o mechanickou, tepelnou a

chemickou zátěž. Schopnost řezného materiálu odolávat těmto zatížením určuje, jakou formou je těmito mechanismy ovlivňováno opotřebení břitu. Působením těchto zatěžujících faktorů, vyvolaných vzájemnou interakcí nástroje a obrobku při řezání, vznikají následující mechanismy opotřebení břitu nástroje:

- abraze,
- adheze
- difuze
- oxidace,
- plastická deformace,
- křehký lom.



Obr. 18 – Vliv teploty na jednotlivé mechanismy opotřebení [7]

Abrazivní opotřebení je způsobené především působením tvrdých částic struktury obráběného materiálu na materiál břitu. Schopnost břitu odolávat abrazivnímu otěru je závislá hlavně na jeho tvrdosti a struktuře. Obecně se odolnost řezného materiálu vůči otěru zvyšuje s rostoucím podílem obsažených tvrdých částic.

Adhezní opotřebení vzniká působením vysokých místních tlaků především na čele nástroje. Vyskytuje se především při nízkých teplotách a malých řezných rychlostech. Toto opotřebení je způsobené vytrháváním částic břitu v důsledku adhezních spojů mezi břitem a obráběným materiálem. Typický je především pro nástroje z oceli. Vznik adhezních spojů vede k tvorbě nárůstků mezi třískou a břitem. Vlivem navařování a vytvrzování se může nárůstek na břitu vrstvit. Takto vzniklý nárůstkový břit často podporuje další tvorbu nárůstku nebo může poškodit původní břit vylomením nebo vydrolením.

Difuzní opotřebení vzniká působením chemických vlivů mezi materiály obrobku a nástroje při obrábění. O vzniku difuzního opotřebení rozhoduje chemické složení řezného materiálu, jeho afinita vůči materiálu obrobku a teplota. Zároveň se účinek difuze s rostoucí teplotou zvyšuje. Difundující atomy přecházejí do mřížky kovu nástroje a vytvářejí nové tuhé roztoky nebo chemické vazby. Vlastnosti vznikajících struktur jsou vždy horší než u původní struktury. Tím vzniká defektní vrstva o nižší pevnosti, která se postupně stírá a vzniká opotřebení. K difuznímu otěru například dochází při obrábění oceli nástroji z SK. Při tom dochází k transferu feritu oceli do nástroje a naopak atomy uhlíku putují do odřezávaných třísek díky sklonu k difuzi do železa. Navenek se to projevuje vznikem žlábků na čele nástroje.

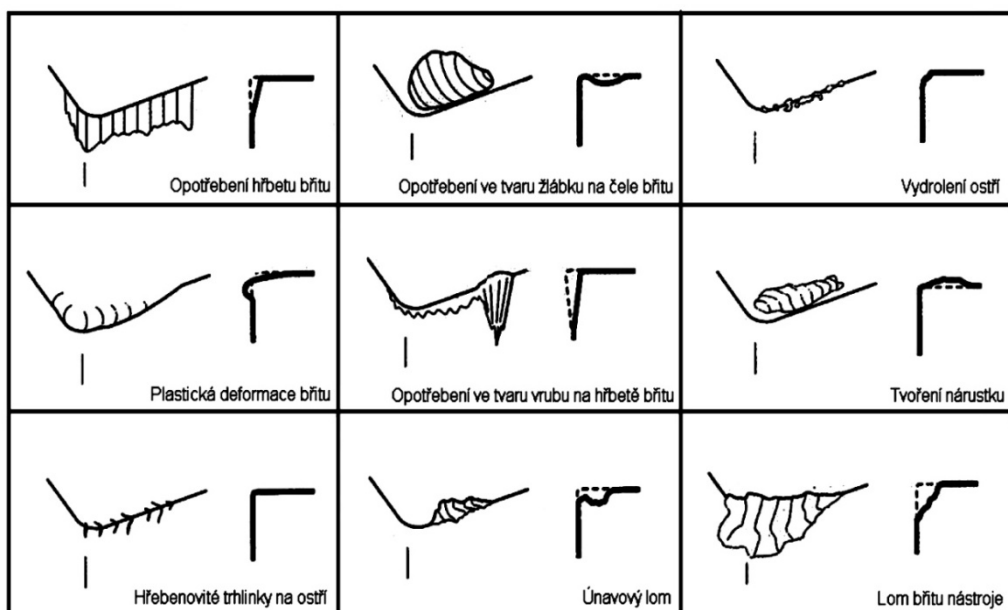
Oxidační opotřebení vzniká jako následek chemické reakce nástrojového materiálu s okolním vzduchem při vysokých teplotách řezného procesu. Oxidační opotřebení vzniká především v místě přerušení kontaktu odváděné třísky s břitem, kde má vzduch přístup k místu poblíž řezu. Působením oxidace vznikají v těchto místech břitu typické žlábků. U dnešních materiálů je ale tento jev poměrně vzácný.

Plastická deformace je následek nadměrně vysokých teplot spolu vysokými řeznými tlaky působícími na ostří nástroje. Deformace břitu se projeví vyboulením, což způsobí změnu geometrie nástroje. V důsledku toho nastává další zvyšování teploty a změny v odchodu třísek, což může rychle dosáhnout kritického stavu. Eliminace tohoto typu opotřebení lze dosáhnout změnou geometrie a zaoblení ostří.

Křehký lom břitu může být důsledek termomechanického působení. Kolísání teplot a střídavé mechanické namáhání řeznými silami má za následek únavu materiálu. Příčinou vzniku křehkého lomu může být i příliš vysoká pevnost a tvrdost obráběného materiálu spolu s vysokými řeznými parametry nebo vysoká křehkost materiálu nástroje. [8][7] [4] [28]

3.3.3 Druhy opotřebení břitu nástroje

Výsledek působení všech možných mechanismů opotřebení se navenek projevuje změnami podoby vlastností břitu. Podle podoby lze opotřebení rozčlenit zhruba na 9 druhů (viz obr.19).



Obr. 19 – Způsoby opotřebení břítu nástroje [28]

Opotřebení hřbetu břítu (viz obr. 20) se řadí mezi převážně abrazivní opotřebení. Je to nejčastější a také preferovaný způsob opotřebení, jelikož dává předpoklad pro stabilní a předvídatelnou trvanlivost nástroje. Rychlost opotřebení lze obecně omezit snížením řezné rychlosti nebo použitím tvrdšího řezného materiálu. Nadměrné opotřebení hřbetu vede v důsledku změny geometrie břítu ke zhoršení jakosti povrchu, nepřesnosti rozměrů obrobku a nárůstu řezných sil. [4][21]



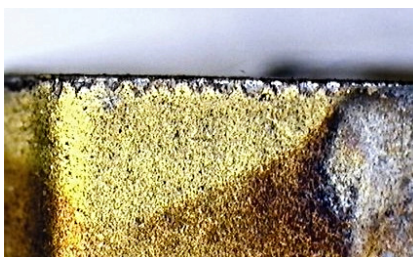
Obr. 20 - Opotřebení hřbetu břítu [20]

Opotřebení ve tvaru žlábků na čele neboli tzv. výmol (viz obr.21) vzniká vlivem abraze a difuze. Abrazivně působí tvrdé částice z ubíraného materiálu a difuzní pochody v místě mezi třískou a materiálem břítu, kde působí nejvyšší teplota. Protiopatřením je použití tvrdšího řezného materiálu s vyšší otěruvzdorností za vysokých teplot, menší afinitou vůči obráběnému materiálu, a také snížení řezné rychlosti nebo intenzivnější chlazení. Velký výmol způsobí změnu geometrie břítu, což může změnit tvar třísky a směr působení řezných sil. Velký výmol také snižuje pevnost břítu. [4][21]



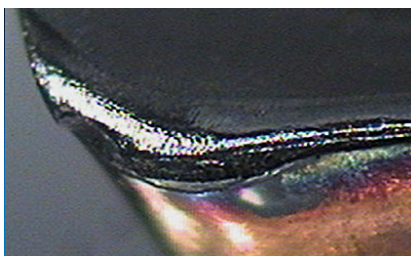
Obr. 21 - Opatřebení čela ve tvaru žlábků [20]

Vydrolování ostří je druh opotřebení, kdy nedochází k rovnoměrnému opotřebení, ale místo toho se břit vydroluje (viz obr.22). Příčinami jsou špičky napětí vedoucí k tomu, že se začnou z břitu oddělovat drobné částice. Tento jev se vyskytuje nejčastěji při obrábění s přerušovaným řezem. Odlupování materiálu a vznik trhlin může být předzvěstí lomu břitu. Vznik může ovlivnit především volba řezného materiálu a řezného prostředí. [4][21]



Obr. 22 - Vydrolené ostří [14]

Plastická deformace břitu (viz obr.23) je výsledkem kombinace působení nadměrných teplot a tlaků na břit při řezném procesu. Ty jsou zapříčiněny především vysokými řeznými rychlostmi, posuvy, hloubkou záběru a také vysokou tvrdostí materiálu obrobku. Typickým projevem je deformace břitu ve tvaru vyboulení, které způsobí další zvýšení teploty a může tak velmi brzy dosáhnout kritického stádia. Toto opotřebení lze omezit vhodnou volbou geometrie a zaoblení ostří. [4][21]



Obr. 23 - Plastická deformace břitu [20]

Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu (viz obr.24) se objevuje na hlavním nebo vedlejším hřbetu břitu. Na hlavním hřbetu vzniká adhezním působením nebo může souviset s oxidačním opotřebením. Vrub vzniká v místě kontaktu břitu s bokem třísky, což je místo, kde proniká vzduch do oblasti řezu. Vruby vzniklé na vedlejším hřbetu vznikají abrazivně působením tvrdých částic materiálu obrobku. Nadměrně velké opotřebení ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu břitu. [4][21]



Obr. 24 - Opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu [20]

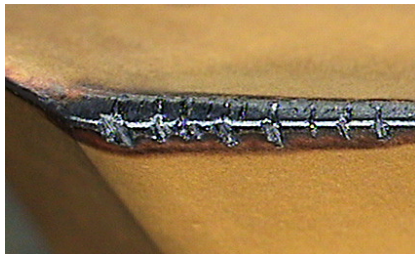
Tvoření nárůstku (viz obr. 25) je způsobeno navařováním částic odebíraného materiálu na čelo břitu za studena. Díky vysokým tvářecím tlakům se nárůstek vyznačuje vysokou pevností a tvrdostí, která je několikrát větší než je tvrdost materiálu třísky. Do jisté míry může nárůstek přebírat funkci břitu. Je však nestabilní a vlivem působících sil dochází k jeho částečnému odtrhávání. Po odtržení se celý děj tvorby opakuje s vysokou frekvencí (10^2 až 10^5 Hz). Následkem je zhoršení jakosti povrchu obrobku. Při odlomení celého nárůstku se zpravidla odtrhne i s částí břitu nástroje. Jeho tvorba je nejintenzivnější v oblasti teplot 300 až 400°C a při malých řezných rychlostech. Moderní materiály při správném použití již nemají k jeho tvoření příliš sklony, protože pracují nad touto oblastí. [4][21]



Obr. 25 - Nárůstek na břitu [14]

Hřbenové trhliny na ostří (viz obr. 26) jsou formou únavového opotřebení. Vznikají působením teplotních šoků, kterými jsou typicky vystaveny břity frézovacích nástrojů vlivem přerušovaného řezu. Vzniklé trhliny jsou orientovány

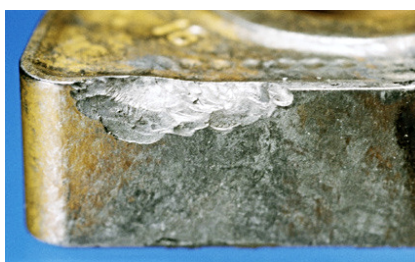
kolmo k ostří. Částice nástroje mezi trhlinami se mohou vylamovat a vyvolat náhlý lom břítu. Použití chladicích kapalin se při výskytu tohoto jevu nedoporučuje, protože opotřebení ještě podpoří díky zvýšením rozdílů teplot při záběru a výstupu břítu z řezu [4][21]



Obr. 26 - Hřebenovité trhliny na ostří [20]

Únavový lom břítu je následkem působení nadměrně velkých změn řezných sil, které by samy o sobě nebyly nebezpečné, ale v důsledku dlouhodobějšího působení mohou vyvolat porušení soudržnosti břítu. Lomové plochy vzniklé tímto mechanismem probíhají paralelně s ostřím.

Lom břítu (viz obr. 27) nástroje představuje náhlý konec trvanlivosti nástroje a může způsobit v důsledku značné škody. Vzniká v důsledku přetížení břítu mechanickým namáháním nebo vlivem malé houževnatosti řezného materiálu. Důvodem mohou být nadměrné řezné síly od vysokých posuvů a hloubek záběrů, tvorba nárůstku, nadměrné opotřebení nebo nárůst řezných sil vlivem tvrdých vměstků v materiálu obrobku (např. písek). [4][21]



Obr. 27 - Lom ostří [20]

3.4 Vliv procesních kapalin na trvanlivost nástroje

Procesní kapaliny snižují během procesu řezání teplotu břítu jednak snížením celkového množství tvorby tepla, má-li kapalina mazací schopnost a jednak účinkem chladícím. Kapalina odvádí teplo z nástroje, obrobku a vznikající třísky, což vede ke snížení teploty stykových míst břítu. Do jisté míry může i čistící účinek napomoci

snížení namáhání nástroje díky vyplavování třísek, které se tak nehromadí v okolí řezu, dále nezvyšují tření, neotupují dále nástroj a nebrání odvodu tepelné energie.

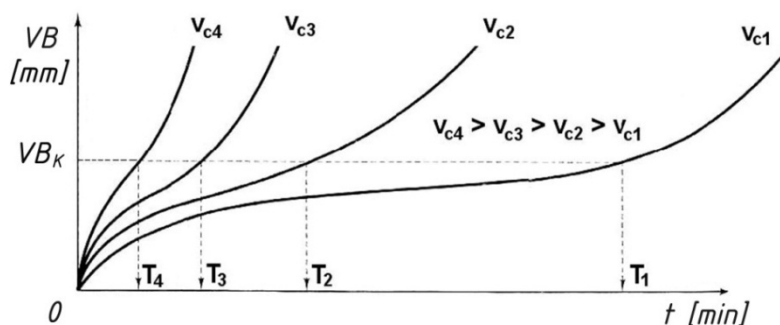
Obecně se nižší teplota dosažená s procesní kapalinou projeví nižší intenzitou otupování a v důsledku vyšší trvanlivostí řezného nástroje. Je však nutné přihlídnout k vlastnostem řezného materiálu charakteru obrábění. V případech použití řezných materiálů citlivých na tepelné šoky může být vliv procesních kapalin i výrazně negativní. Jedním z představitelů takového citlivého materiálu je řezná keramika. Především jde o případy obrábění s přerušovaným záběrem, kdy břit střídavě vstupuje a vystupuje z materiálu, při čemž chlazení způsobuje silné cyklické tepelné namáhání. Typickým příkladem je frézování. Použití procesních kapalin může u frézovacích nástrojů ze slinutých karbidů způsobit vznik hřebenových trhlinek, které mohou podpořit vydrolování ostří nebo i vyvolat náhlý lom břitu. V takových případech se proto použití chlazení nedoporučuje nebo je nutné zaručit dodávku kapaliny v dostatečné míře i v době záběru břitu například použitím vnitřního chlazení nástroje. U dokončovacích operací je však často použití kapalin žádoucí z důvodu mazacího účinku a zkrácení trvanlivosti nástroje nemusí být výrazné, jelikož je produkováno menší množství tepla. [14][4][28]

3.4.1 Zkoušky trvanlivosti nástroje

Zkoušky trvanlivosti nástroje mají význam buď pro určení vhodnosti nástrojového materiálu a geometrie břitu nástroje pro konkrétní způsob obrábění a obráběný materiál. Jiným označením pro ně je zkouška řezivosti nástroje. Lze jimi také zjistit vliv řezného prostředí na trvanlivost nástroje. Analogií jsou zkoušky obrobitelnosti materiálu. Podle způsobu provádění lze zkoušky rozdělit na krátkodobé nebo dlouhodobé.

Krátkodobé zkoušky trvanlivosti jsou založeny na opakovaném měření intenzity opotřebení břitu nového nástroje. Zkouška probíhá tak, že se opakovaně po předem stanovený čas obrábí materiál za konstantního posuvu a hloubky řezu, ale pokaždé různými řeznými rychlostmi. Zjišťuje se míra intenzity opotřebení v závislosti na řezné rychlosti, pro kterou obecně platí, že s narůstající řeznou rychlostí se zvyšuje intenzita opotřebení břitu nástroje. Hlavní výhodou této zkoušky je poměrně krátký čas nutný k jejímu provedení a její menší náklady.

Dlouhodobé zkoušky trvanlivosti se snaží popsat trvanlivost nástroje v závislosti na čase obrábění, na počtu obrobených kusů nebo na množství odebraného materiálu. Zkouška probíhá podobně jako u krátkodobých zkoušek, to znamená, že po předem stanovený časový úsek se opakovaně obrábí daný materiál. Pokaždé je změřena velikost opotřebení břitu nástroje. Zkouška však pokračuje až do dosažení zvolené hodnoty míry opotřebení hřbetu nástroje VB_K . Součet všech časů řezání korespondující se vzniklým opotřebením až na kritickou mez odpovídá trvanlivosti nástroje T . Tyto zkoušky se opakují pro různé řezné rychlosti, avšak s konstantním posuvem a hloubkou záběru. Průběhy opotřebení při zvolených řezných rychlostech jsou následně zaneseny do grafu (viz obr. 28). Zaznamenané hodnoty trvanlivostí a odpovídajících řezných rychlostí při zvolené kritériální hodnotě opotřebení VB_K lze následně přenést do grafu závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti (viz obr. 7), který lze vyjádřit Taylorovým vztahem jako funkce $T = f(v_c)$ (2). [13][28][7]



Obr. 28 - Průběh opotřebení nástroje v závislosti na čase pro různé řezné rychlosti [28]

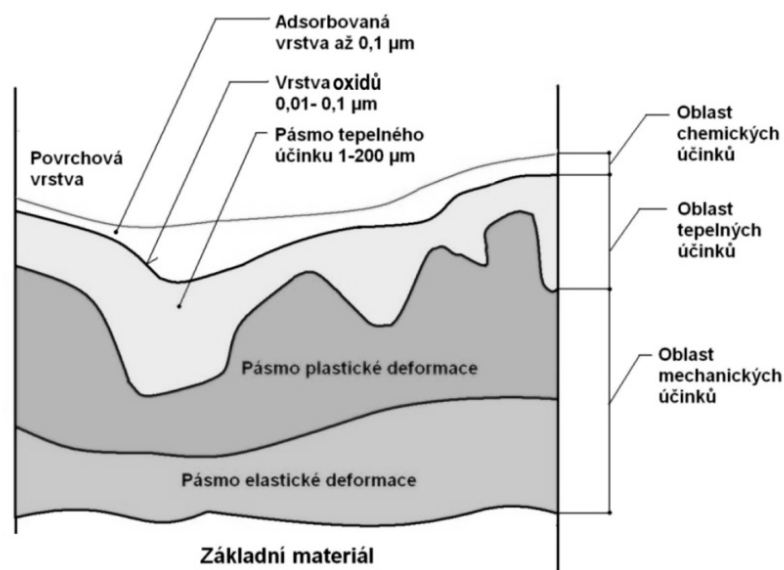
4 INTEGRITA POVRCHU

4.1 Definice pojmu integrita povrchu po obrábění

Povrchová vrstva materiálu obrobku vzniká jako výsledek interakce materiálu obrobku, nástroje a prostředí při určitých technologických podmínkách. Pojem integrita povrchu strojních součástí shrnuje charakteristiky povrchové plochy a povrchové vrstvy výrobku. Integrita povrchu sleduje vlastnosti povrchu výrobku v souvislosti s technologií a parametry vzniku součástí. Důsledky působení technologických metod na jakost povrchu hodnotí a dává do vztahu k požadavkům na budoucí funkci výrobku. Za složky integrity povrchu lze považovat:

- Geometrická přesnost
- Struktura povrchu
- Zbytková napětí
- Změny tvrdosti v povrchové vrstvě
- Změny struktury
- Tepelné změny a trhliny
- Chemické změny.

Díky vývoji nových řezných nástrojů a strojů, umožňujících použití vysokých řezných rychlostí, požadavkům na obrábění nových druhů materiálů, ale i vlivu ekologických a ekonomických tlaků (např. snaha preferovat tzv. suché obrábění) představuje integrita povrchu jeden z největších problémů v současné strojírenské výrobě. Výsledkem obráběcích procesů je povrchová vrstva s rozdílnými vlastnostmi, než má obráběný materiál (viz obr. 29). Její vlastnosti jsou ovlivňovány řadou faktorů, jako jsou vysoké teploty, deformační a chemické procesy. Ve výsledku mohou mít tyto vlivy na výrobky pro špičkové aplikace až katastrofické důsledky. Mimo jiné může jít o ovlivnění drsnosti, únavové pevnosti nebo korozních vlastností.



Obr. 29 - Povrchová vrstva obrobku [31]

Vlastnosti povrchové vrstvy obrobku je možné posuzovat z hledisek:

- geometrie obrobeného povrchu
- fyzikálně-mechanické vlastnosti povrchové vrstvy
- fyzikálně-chemické vlastnosti povrchové vrstvy. [22][26][30][5]

4.1.1 Geometrie obrobeného povrchu

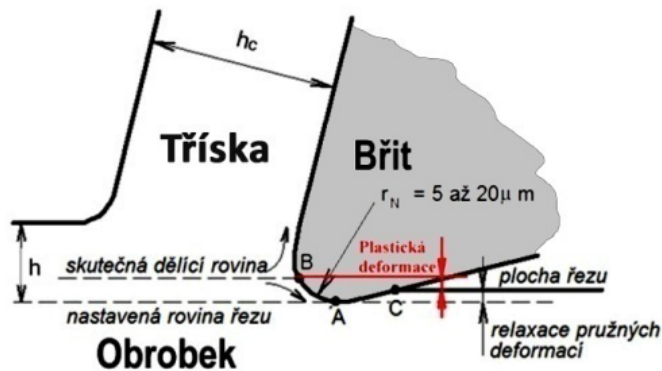
Skutečné plochy vyrobených součástí se liší od ideálních ploch předepsaných výkresem. Geometrické vlastnosti obrobeného povrchu zahrnují jednak tvarové a rozměrové nepřesnosti a jednak drsnost a mikrostrukturu povrchu. Přesnost rozměrů a tvaru je dána mimo jiné přesností stroje, homogenitou materiálu a tuhostí soustavy stroj-nástroj-obrobek.

Drsnost a mikrostruktura povrchu vzniklá obráběním je ovlivněna bezprostředně procesem řezání. Nejvýznamnější vliv na ně má řezná rychlost, posuv, geometrie nástroje, opotřebení břitu nástroje, tuhost soustavy S-N-O, vlastnost materiálu obrobku, působení řezného prostředí, vibrací apod. Prostorovou drsnost vzniklou obráběním, vyjádřenou v různých směrech orientace, je možno označit jako topografie obrobeného povrchu. [13][31][30]

4.1.2 Fyzikálně-mechanické vlastnosti povrchu

Odřezávání třísky je doprovázeno elastickou a plastickou deformací povrchové vrstvy materiálu a vznikem tepla. Plastické deformace vnější vrstvy mají za následek strukturní změny materiálu a zpevnění. Tyto změny jsou maximální na povrchu a jsou úměrné velikosti zbytkových pnutí po obrábění. Změny vlastností povrchových vrstev lze zkoumat například měřením mikrotvrdosti. Hloubka zpevnění a jeho intenzita je závislá na metodě obrábění a řezných podmínkách. Při hrubování dosahuje hloubky 0,2 až 0,5 mm, při dokončování 0,02 až 0,1 mm.

Míra plastické deformace a tím i velikost zbytkového pnutí obrobené plochy při obrábění jsou v největší míře ovlivněny geometrií nástroje. Konkrétně je nejvíce rozhodujícím velikost poloměru zaoblení ostří a úhel čela (viz obr.30).

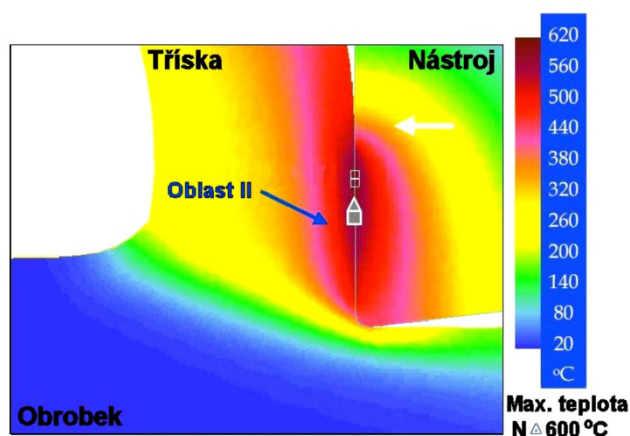


Obr. 30 - Vliv zaoblení ostří na plastickou deformaci povrchové vrstvy obráběného materiálu (BAC – styk břitu nástroje s plochou řezu; h – hloubka záběru; h_c – tloušťka odřezávané třísky; r_N – poloměr zaoblení ostří) [31]

Vznik deformací neodmyslitelně doprovází přeměna mechanické práce v teplo. S tím souvisí tepelná objemová dilatace materiálu. Při nízkých teplotách řezání vznikají v povrchové vrstvě napětí tlaková a ve spodních vrstvách napětí tahová. Při vysokých teplotách ohřátá povrchová vrstva ochlazením snižuje svůj objem, čemuž brání spodní studenější vrstva a vznikají tak v povrchu napětí tahová a ve spodní vrstvě pnutí tlaková. Pnutí v povrchu obrobků ovlivňuje například odolnost proti mechanickému opotřebení a mez únavy. Platí, že tlaková pnutí mez únavy zvyšují a jsou proto žádoucí. Naopak tahová napětí mez únavy snižují a mohou být příčinou únavových trhlin a lomů. Z tohoto hlediska je proto snahou hlavně při dokončovacích operacích omezit tepelné působení na vznikající obráběný povrch. [13][31][30]

4.1.3 Fyzikálně-chemické vlastnosti povrchu

Působení vysokých teplot může mít za následek také vznik fázových a strukturních změn materiálu. Tyto změny mohou být doprovázeny také trvalou objemovou změnou, což způsobí vznik pnutí. Teploty v místě styku čela nástroje a třísky mohou dosahovat hodnot běžně 600°C (viz obr.31), v závislosti na řezných podmínkách až 1200°C. Mezi další fyzikálně-chemické jevy, které zásadním způsobem ovlivňuje velikost teploty řezání, jsou chemické procesy spojené s reakcí částic pronikajících do povrchové vrstvy obráběného materiálu. Chemickým procesem ovlivňujícím povrchovou vrstvu může být například oxidace nebo oduhlíčení. [4][22][31]

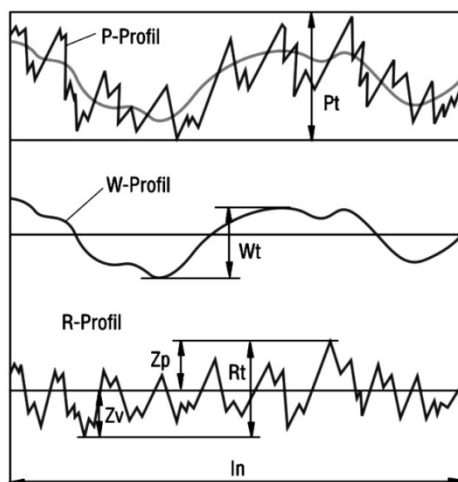


Obr. 31 – Teplotní pole v místě řezu [7]

4.2 Drsnost povrchu

Struktura povrchu představuje povrchový útvar, její posuzování se proto většinou řeší redukcí do roviny řezu, kolmé k rovině povrchu. Tím se získá profil struktury povrchu, který je základním zdrojem informací. Norma ČSN EN ISO 4287 definuje 3 základní geometrické parametry struktury (viz obr.32):

- P- profil - Základní profil,
 - nefiltrovaný profil struktury povrchu
- W- profil - Vlnitost povrchu,
 - odvozen od základního profilu odfiltrováním krátkovlnných složek
- R- profil - Drsnost povrchu
 - odvozena od základního profilu odfiltrováním dlouhovlnných složek.



Obr. 32 – Rozdělení profilů struktury povrchu [41]

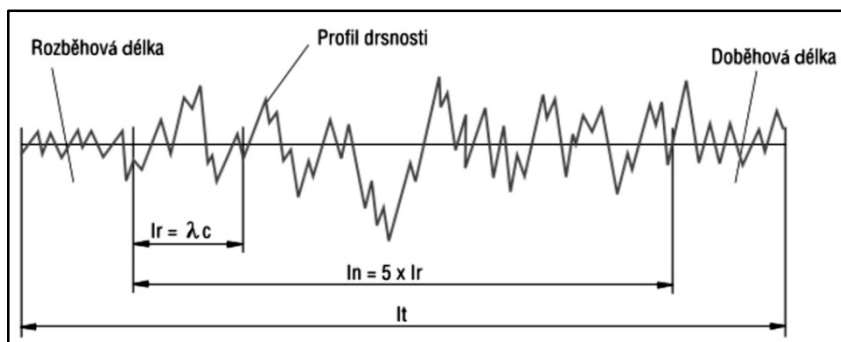
Složka s nejmenší roztečí je drsnost povrchu. Je to souhrn nerovností s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají na plochách součástí při výrobě a mají velký význam při jejich funkci nebo mají estetický účel. Drsnost při obrábění je dána velikostí nerovností, které na povrchu zanechal břit nástroje po svém průchodu. Do hodnocení drsnosti se nezahrnují náhodné vady povrchu, vznikající ojediněle, vadami materiálu, poškozením a podobně (např. rysky, trhlinky, důlky apod.).

Podle způsobu obrábění může mít povrch materiálu buď periodickou nebo aperiodickou drsnost. U pravidelné orientace nerovností záleží na směru měření drsnosti povrchu, kdežto u nepravidelné na směru měření nezáleží. Při měření drsnosti s pravidelnou strukturou se měří vždy maximální drsnost, což je většinou směr kolmý na hlavní řezný pohyb.

Profil povrchu je měřen a vyhodnocován v určité délce. Při zjišťování drsnosti se rozlišují 3 měřené délky (viz obr.33):

- l_r - Základní délka [mm]
 - Délka použitá pro rozpoznání nerovností, charakterizující vyhodnocovaný profil. Musí být dostatečně velká, aby měřené parametry byly dostatečně významné, ale ne tolik, aby se neprojevil nepodstatné detaily.
- l_n - Vyhodnocovaná délka [mm]
 - Délka použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Může obsahovat jednu nebo několik základních délek. Běžně se používá 5 základních délek, v jiném případě se musí počet vyznačit.

- l_t - Celková délka [mm]
 - Délka pohybu snímače drsnoměru. Skládá se z vyhodnocované délky a dráhy pro rozjezd a doběh snímače.



Obr. 33 – Měřené délky [41]

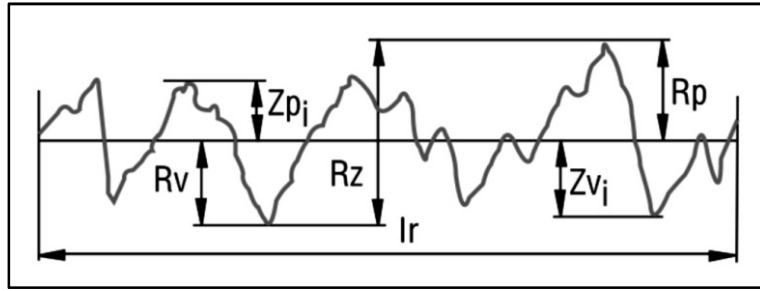
Na měřené délce se po odfiltrování složky vlnitosti určují výškové parametry drsnosti (viz obr.34). Způsob filtrace nežádoucích složek profilu udává opět norma. Výškových parametrů drsnosti je celá řada, ale běžně užívanými jsou:

- R_p - Nejvyšší výška výstupku [μm]
 - Nejvyšší výška výstupku profilu Z_p v rozsahu základní délky l_r .
- R_v – Největší hloubka prohlubně [μm]
 - Největší hloubka prohlubně profilu Z_p v rozsahu základní délky l_r .
- R_z - Nejvyšší výška profilu [μm]
 - Součet nejvyššího výstupku Z_p a nejnižší prohlubně Z_v v rozsahu základní délky l_r .
- R_t - Celková výška profilu [μm]
 - Součet nejvyššího výstupku Z_p a nejnižší prohlubně Z_v v rozsahu vyhodnocované délky l_n .
- R_a - Střední aritmetická úchylka profilu [μm]
 - Aritmetický průměr absolutních hodnot výšek všech bodů v rozsahu základní délky. (viz obr.35)
 - Pro výpočet platí vzorec:

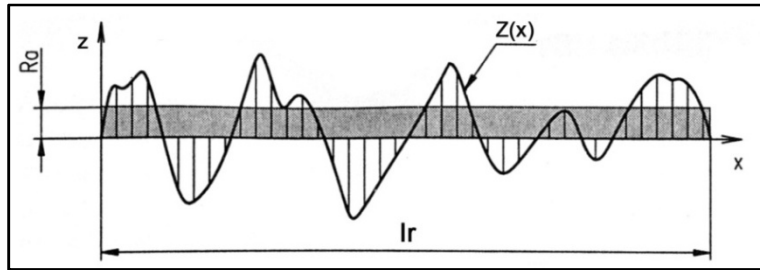
$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad [\mu\text{m}] \quad , \quad (15)$$

kde : l_r ... základní délka [mm],

$Z(x)$... hodnoty výšky profilu [μm].



Obr. 34 – Výškové parametry profilu R_p , R_v , R_z [41]

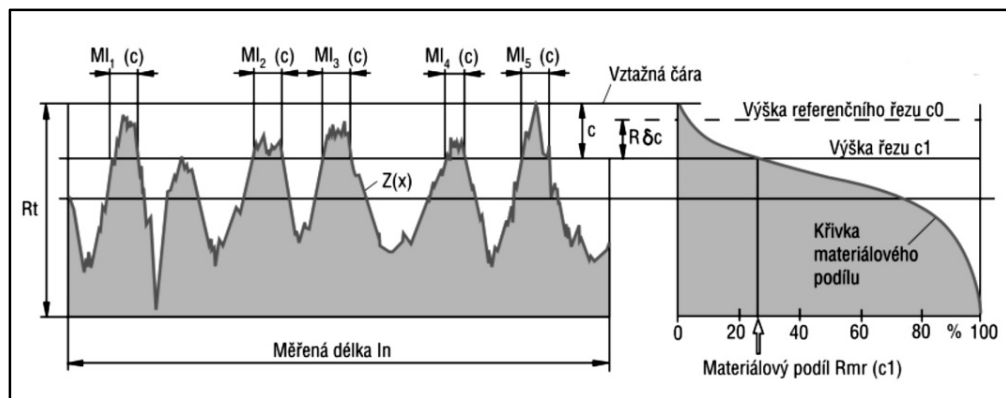


Obr. 35 – Určení výškového parametru R_a [12]

Další způsob hodnotící drsnost povrchu je pomocí tzv. materiálového podílu profilu drsnosti (viz obr.36). Křivka materiálového podílu se taky jinak pojmenovává jako křivka nosného podílu nebo také Abbottova křivka. Představuje vyjádření podílu materiálu jako funkci hladiny výšky profilu. Souvisejícím parametrem je:

- $Rmr(c)$ – Materiálový poměr profilu drsnosti (nosný podíl) [%]
 - Procentuální podíl součtu délek materiálových přímek $MI(c)$ v dané výšce profilu c k vyhodnocované délce l_n (viz obr.33)
 - Pro výpočet platí vzorec:

$$Rmr(c) = \frac{100}{l_n} \sum_{i=1}^m MI_i(c) = \frac{MI(c)}{l_n} [\%], \quad (16) [6][27][41] [28]$$



Obr. 36 – Křivka materiálového podílu a způsob určení parametru Rmr [41]

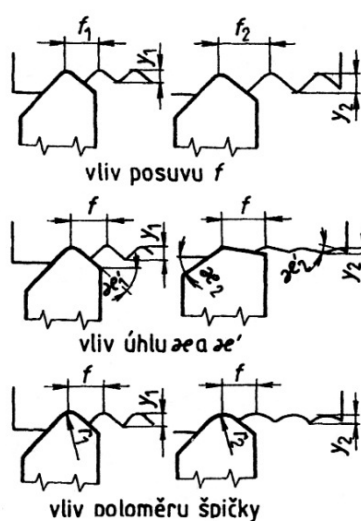
4.2.1 Vliv řezných podmínek na drsnost povrchu

Nejvíce ovlivňuje drsnost povrchu obrobků použitá metoda a technologické podmínky obrábění. Každá metoda obrábění má charakteristickou výslednou strukturu profilu povrchu. U třískových metod obrábění nese výsledná struktura většinou určitý stupeň pravidelnosti, který má za následek odlišné hodnoty drsnosti v různých směrech. Výsledný stupeň drsnosti povrchu při obrábění ovlivňuje zejména:

- zvolená metoda obrábění
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu
- velikosti posuvu
- tvar a geometrie břitu nástroje
- řezná rychlost
- tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrobek
- řezné prostředí.

Posuv má na drsnost povrchu největší vliv a platí, že se snižující se rychlostí posuvu drsnost obrobené plochy klesá (viz obr.37).

U **geometrie břitu** nástroje má největší vliv na drsnost obrobené plochy zejména úhel nastavení hlavního ostří κ_r , úhel nastavení vedlejšího ostří κ'_r a velikost zaoblění špičky nástroje r (viz obr. 37). Větší úhly mají za následek větší drsnost. Se vzrůstajícím poloměrem špičky naopak drsnost klesá.



Obr. 37 - Vliv posuvu, úhlů nastavení ostří a poloměru špičky nástroje na drsnost obrobené plochy. (f – posuv; r – poloměr zaoblění špičky nástroje, κ – úhel nastavení hlavního ostří; κ' – úhel nastavení vedlejšího ostří; y – hloubka nerovnosti) [9]

Velikost **řezné rychlosti** má na drsnost malý vliv. Větší drsnost však může vznikat při použití nižších řezných rychlostí, z důvodu větší možnosti tvorby nárůstku.

Malá **tuhost soustavy** stroj-nástroj- obrobek může mít za následek vznik chvění, které negativně ovlivní drsnost.

Řezné prostředí může pozitivně ovlivnit drsnost obrobku, pokud se jedná o medium disponujícím mazacím účinkem. Kapaliny s mazacím účinkem omezí tření bříty nástroje o obrobenou plochu a omezují tvorbu nárůstku. [10][13][9]

4.2.2 Metody měření drsnosti povrchu

Vyhodnocení drsnosti povrchu lze provést různými metodami. V zásadě se tyto způsoby dají rozdělit na:

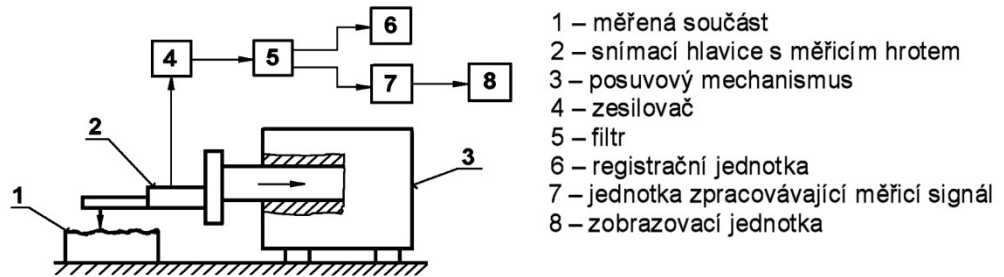
- kvalitativní metody
- kvantitativní metody.

Kvalitativní metody jsou založeny na hodnocení obrobeného povrchu srovnáváním s etalonovým povrchem, jehož drsnost známe. Pro porovnávání slouží vzorkovnice povrchů, které jsou vyrobeny různými druhy opracování a různými stupni drsnosti. Porovnávání probíhá bez číselného vyhodnocení. Nejjednodušším způsobem porovnávání drsnosti povrchu je přímé posouzení lidskými smysly, pomocí zraku a hmatu. Zásadou je používat stejný nebo alespoň podobný materiál a stejnou trajektorii obrábění součásti i etalonu. Pro přesnější vyhodnocení se používá lupa nebo porovnávací mikroskop. V zorném poli takového mikroskopu jsou vidět současně posuzovaná plocha a i plocha etalonu. Přesnost této metody je malá, proto slouží jen pro běžné a rychlé posouzení povrchu v dílenském provozu. Velkou roli hraje také zkušenost osoby, která povrch posuzuje.

Kvantitativní metody hodnocení se provádí pomocí měřících přístrojů, tzv. profilometrů, které vyjádří drsnosti číselnou hodnotou. Profilometry pracují nejčastěji na mechanickém nebo optickém principu.

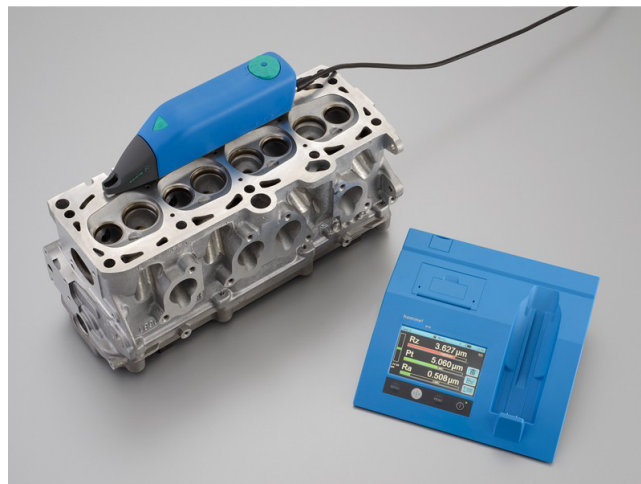
Přístroje s mechanickým principem (viz obr.38), pracují na základě dotykového snímání profilu povrchu. Snímání povrchu má na starosti raménko se snímacím hrotem, se kterým pohybuje posuvový mechanismus určitou konstantní

rychlostí, nejčastěji pomocí elektromotoru. Snímaný mechanický signál se u moderních přístrojů transformuje na elektrický a ten je dále zpracováván a vyhodnocován pomocí softwaru.



Obr. 38 – Princip měření dotykovým profilometrem [27]

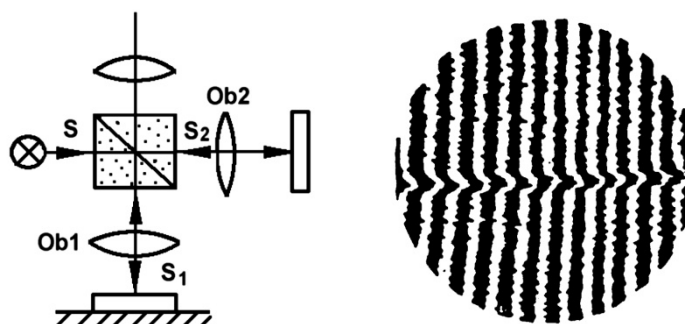
Použité převodníky pracují na principu piezoelektrickém, magnetoelektrickém, indukčním nebo interferometrické s využitím laseru. Profilometry mohou být laboratorní, kde se součást umísťuje na stůl nebo mohou být přenosné (viz obr.39).



Obr. 39 - Přenosný dotykový drsnoměr [41]

Optické profilometry mohou využívat principu interference světla. K tomu slouží interferenční mikroskopy. Jsou to nejcitlivější přístroje pro hodnocení velmi jemně opracovaných povrchů. Jedná se o dvojité mikroskopy. Paprsek ze světelného zdroje zde prochází polopropustné zrcadlo, které ho rozkládá na dva. Jedna část paprsku pokračuje dále na měřený povrch a pak odrazem zpět do okuláru. Druhá část se odrazí od zrcadla přímo do okuláru. Tam se paprsky interferují (spojují). V okuláru přístroje jsou potom vidět rovnoběžné proužky, které jsou případnou

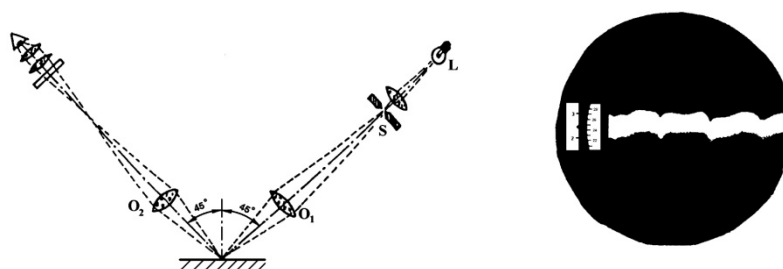
nerovností v tom místě vychýleny (viz obr.40). Vychýlení proužků se změří a pomocí vlnové délky světla se přepočítá a zjistí hodnoty profilu povrchu.



Obr. 40 - Metoda interferenční – princip funkce interferenčního mikroskopu a obraz v okuláru (S - paprsek světla, S_1 – paprsek, který jde na měřený povrch S_2 – paprsek jdoucí na odrazné zrcadlo, Ob_1 a Ob_2 – objektivy) [27]

Další optická metoda měření drsnosti pracuje na základě světelného řezu. Pro toto měření se používají nejčastěji dvojitě mikroskopy Schmalz. Kontrolovaný povrch je v tomto případě osvětlován rovnoběžným svazkem paprsků pod úhlem nejčastěji 45° a pozoruje se měřícím mikroskopem pod úhlem kolmým na směr světelných paprsků osvětlující povrch (viz obr.41). Obraz profilu šikmého řezu nerovností plochy má většinou tvar světlozelené stužky v tmavém poli mikroskopického obrazu. Naměřené hodnoty se pak musí přepočítat do směru kolmého k měřenému povrchu.

Na optickém principu pracuje také metoda využívající pro měření drsnosti povrchu odraz světla do fotobuňky, která umožňuje registraci světelného toku v odražené části.[13][27][30]



Obr. 41 – Metoda světelného řezu – princip a obraz v okuláru [27]

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5 NAVRŽENÍ METODIKY A POPIS EXPERIMENTŮ

5.1 Popis použitých zařízení, přístrojů a nástrojů

Nástrojařská frézka FNG 32

Obráběcí práce při experimentech byly provedeny na nástrojařské frézce FNG 32 (viz obr. 42), vyrobená firmou TOS Olomouc, s.r.o., která je vybavena číslicovým odečítáním polohy od firmy Heidenhain s.r.o. (viz obr. 43). Tento obráběcí stroj je určen pro frézovací, vrtací, vyvrtávací, závitové a obrážecí operace v kusové a malosériové výrobě. Jeho vřeteno lze naklápět v rozsahu $\pm 90^\circ$. Otáčky vřetene i rychlost posuvů umožňují plynulou změnu rychlosti. Pro rychlé upínání nástrojů je stroj vybaven pneu-hydraulickým systémem upínání nástroje s kuželem ISO 40. Součástí stroje je mazací agregát s dávkovači, systém pro oběh procesní kapaliny, svítidlo a kryt pracovního prostoru.



Obr. 42 – Nástrojařská frézka FNG 32



Obr. 43 – Ovládací panel frézky a číslicový indikátor polohy Heidenhain

Základní technické specifikace frézky FNG 32 [32]

- Výkon hlavního motoru: 4,0 [kW]
- Rozsah otáček vřetene: 50 až 4000 [min⁻¹]
- Maximální zatížení stolu: 350 [kg]
- Pracovní zdvihy:
 - podélný (X) 600 [mm]
 - příčný (Y) 400 [mm]
 - svislý (Z) 400 [mm]
- Pracovní posuvy:
 - rozsah (X,Y) 15 až 1000 [mm/min]
 - rozsah (Z) 6 až 400 [mm/min]
- Maximální zatížení stolu: 350 [kg]
- Hmotnost: 2500 [kg]
- Půdorysná plocha: 2070x2120 [mm]
- Výška: 2115 [mm]

Fréza Narex 2460.12 ø63

Použitým frézovacím nástrojem při experimentech byla čelní negativní fréza Narex 2460.12 o průměru 63mm s lůžky pro 5 vyměnitelných břitových destiček (viz obr. 44).



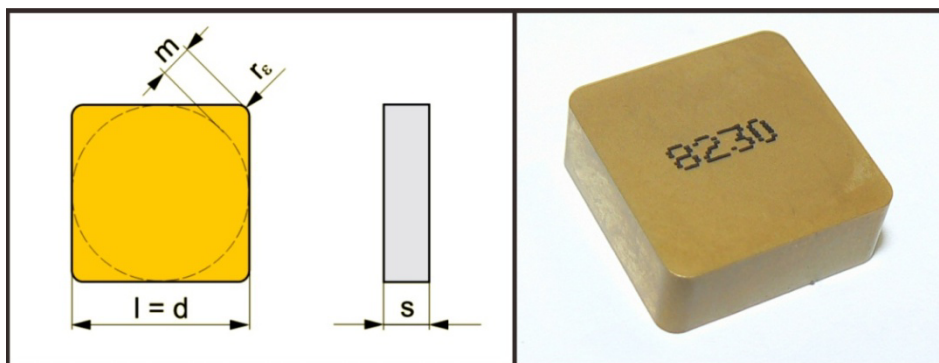
Obr. 44 – Fréza Narex 2460.12 ø63mm

Vyměnitelná břitová destička TPUN 160304 S26

Frézovací nástroj byl pro experimenty vždy osazen jednou vyměnitelnou břitovou destičkou ze slinutých karbidů SNUN 1204012 s povlakem 8230. od firmy Pramet Tools, s.r.o. (viz obr. 46)



Obr. 45 – Balení VBD SNUN 120412; 8230



Obr. 46 - Vyměnitelná břitová destička SNUN 120412; 8230 [19]

Základní parametry použité břitové destičky SNUN 120412 [17] :

- l 12,7 [mm]
- d 12,7 [mm]
- s 4,76 [mm]
- m 2,3 [mm]
- r_{ϵ} 1,2 [mm]

Podrobnější technické informace viz příloha č. 9.

Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

Pro měření koncentrace procesních kapalin při jejich přípravě byl použit přenosný refraktometr Brix 0-18% ATC od výrobce Exacta Optech s přesností $\pm 0,15\%$ (viz obr. 47).



Obr. 47 - Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

Nástrojová lupa Brinell

Velikost opotřebení vyměnitelných břitových destiček bylo měřeno přímou metodou pomocí nástrojové lupy Brinell (viz obr.48) Zvětšení této lupy je 24x a stupnice je rozdělena po 0,05mm.



Obr. 48 - Nástrojová lupa Brinell

Souprava pro přívod procesní kapaliny

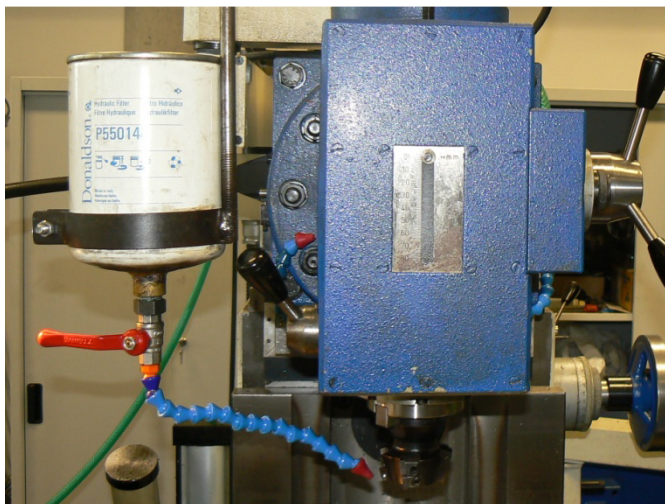
K dopravě procesní kapaliny k místu řezu bylo při zkouškách trvanlivosti nástroje použito externí čerpadlo s vlastní nádobou na procesní kapalinu (viz obr. 49). Toto čerpadlo bylo napojeno na rozvod procesní kapaliny na frézce FNG 32. Toto zařízení zjednodušilo nároky na výměnu procesní kapaliny a snížilo nároky na její množství. Nasměrování kapaliny do místa řezu byl využit modulární systém flexibilních hadic LOC- LINE Flexi.



Obr. 49 – Čerpadlo s nádobou na procesní kapalinu

Při obrábění pro analýzu vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu bylo využito gravitačního přívodu kapaliny z nádoby vybavené kulovým ventilem.

Nádoba byla upevněná na vřeteníku frézky FNG 32 a umístěná nad úrovní místa řezu. (viz obr. 50) .



Obr. 50 – Nádoba pro gravitační přívod procesní kapaliny

Mikroskop Arsenal SZP 3112-T

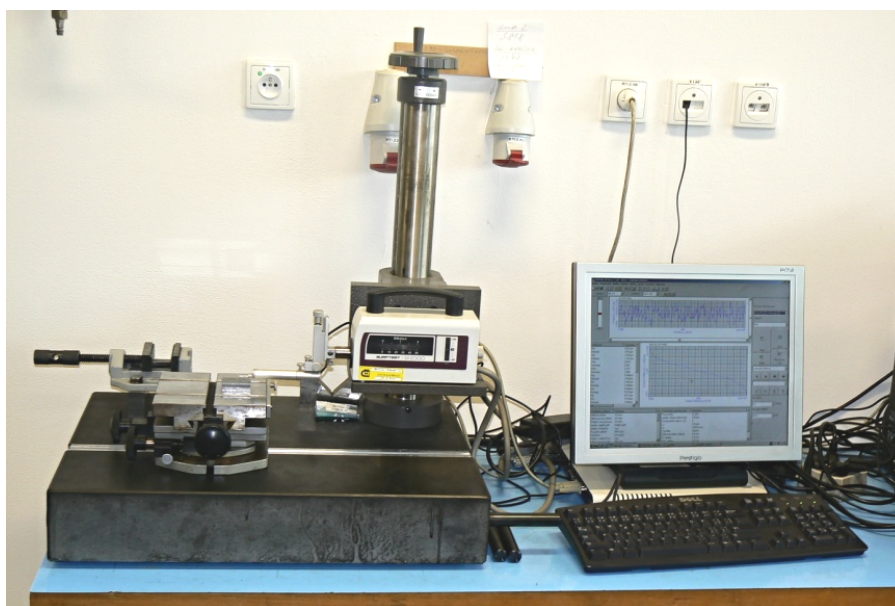
Pro nafocení snímků opotřebených břitových destiček byl použit mikroskop Arsenal SZP 3112-T vybavený laboratorní kamerou LOBO 3MP (viz obr. 51). Výstup z kamery byl napojen na stolní počítač Dell, kde byl obrazový záznam kamery zobrazen a zpracován pomocí softwaru Minisee.



Obr. 51 - Mikroskop Arsenal SZP 3112-T s kamerou LABO 3MP

Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2

Měření drsnosti povrchu vzorků bylo provedeno na dotykovém laboratorním profiloměru Mitutoyo SV-2000 N2 (viz obr. 52). Tento přístroj pracuje na principu dotykové metody snímání povrchu s transformací mechanického pohybu snímacího hrotu na elektrický signál. Zpracování naměřených dat bylo prováděno s využitím dodávaného softwaru Surfpak v připojeném stolním počítači Dell. Vyhodnocení parametrů drsnosti probíhá podle normy ČSN EN ISO 4287:1997. Výstupy programu jsou v datové a grafické podobě.



Obr. 52 - Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000 N2 s připojeným počítačem

5.2 Charakteristika použitého obráběného materiálu 14220

Pro experimenty byla použita konstrukční ocel ČSN 14220. Ekvivalentem podle současného evropského značení je ocel 16MnCr5. Jedná se o nízkolegovanou konstrukční mangan-chromovou ocel vhodnou k cementování a kyanování. Vyznačuje se dobrou obrobiteľností. Pro hladké obrábění se však ještě doporučuje zušlechťit na 690 až 880Mpa. Je dobře tvářitelná za tepla, po žhání na měkko i za studena a dobře svařitelná. Strojní součásti z ní vyrobené vynikají po zakalení velmi tvrdou cementovanou vrstvou a velkou pevností v jádře. Optimální zušlechťení je u strojních součásti do \varnothing 35 mm. Používá se pro výrobu menších hřídelí, šneků, ozubených kol, vačkových hřídelí, včetně obráběcích strojů, pístních čepů, per, zubových spojek apod. [37][36]

Základní mechanické vlastnosti oceli 14 220:

- Minimální mez kluzu $R_{e\ min}$ 590 [MPa],
- Min. mez pevnosti v tahu R_m 785 [MPa],
- Minimální tvrdost HB 239 [-].

Chemické složení oceli 14 220:

- Obsah C 0,14 až 0,19 [%]
- Obsah Mn 1,10 až 1,40 [%]
- Obsah Cr 0,80 až 1,10 [%]
- Obsah Si 0,17 až 0,37 [%]
- Max. obsah P 0,035 [%]
- Max. obsah S 0,035 [%]

Podrobnější technické informace viz příloha č. 10.

5.3 Charakteristika použitých procesních kapalin

Jako řezné prostředí pro experiment bylo použito 7 vodou mísitelných průmyslových procesních kapalin Zubora od výrobce Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG. Jednalo se o kapaliny 10 H Extra, 20 H Extra, 20 H Ultra, 65 H Extra, 65 H Ultra, 65 H Plus a Universal. Všechny kapaliny byly připraveny a použity v koncentraci 5%.

5.3.1 Procesní kapalina Zubora 10 H Extra

Zubora 10 H Extra je polosyntetická vodou mísitelná procesní kapalina na základě minerálních olejů s vysokým podílem polárních aditiv. Obsah složky minerálních olejů je 35%. Má velikou škálu použití díky obsahu AP a AW aditiv, což jsou přísady vysokotlaké a přísady proti oděru. Je vhodná pro centrální systémy chlazení i jednotlivé obráběcí stroje. Doporučuje se pro lehké i těžké třískové obrábění včetně třískového řezání. Hodí se pro obrábění všech železných slitin, včetně vysokopevnostní oceli, méně pak pro hliníkové slitiny. Používá se v koncentracích 5 až 10%. Po namíchání s vodou v koncentraci 5% dosahuje přibližně hodnoty $pH = 9,1$. Je dlouhodobě stabilní a chrání proti korozi. Její koeficient refrakce je 1,1. [33]

5.3.2 Procesní kapalina Zubora 20 H Extra

Zubora 20 H Extra je vodou mísitelná procesní kapalina na základě minerálních olejů. Má velký obsah polárních aditiv proti oděru a primárních aminů s vysokým bodem varu. Podíl minerálního oleje je 40%. Je vhodná pro všechny druhy třískového obrábění včetně broušení. Hodí se pro všechny druhy ocelí i pevné hliníkové slitiny s vysokým obsahem křemíku, méně pak pro většinu ostatních neželezných kovů. Používá se v koncentracích 5 až 10%. Při koncentraci 5% dosahuje přibližně hodnoty $\text{pH} = 9,3$. Je dlouhodobě stabilní a chrání proti korozi. Nemá tendenci k pění ani při vysokých koncentracích. Její koeficient refrakce je 1,1. [33]

5.3.3 Procesní kapalina Zubora 20 H Ultra

Zubora 20 H Ultra je polosyntetická vodou mísitelná procesní kapalina s podílem minerálního oleje 30%. Obsahuje vysokotlaká a polární aditiva. Je to velmi univerzální kapalina doporučená pro všechny druhy třískového obrábění vyjma broušení. Lze použít pro většinu obráběných materiálů. Podle aplikace se používá v koncentraci 5 až 10%. Při koncentraci 5% má přibližně hodnotu $\text{pH} = 9,1$. Má velmi dobrou provozní stabilitu a schopnost ochrany proti korozi. Její koeficient refrakce je 1,1. [33]

5.3.4 Procesní kapalina Zubora 65 H Extra

Zubora 65 H Extra je polosyntetická univerzální procesní kapalina bez obsahu boru a s poměrně nízkým obsahem minerálního oleje. Obsah minerálního oleje je pouze 5%. Neobsahuje žádné bakteriocidy. Hodí se pro všechny třískové druhy obrábění s definovanou geometrií břitu jak železných, tak neželezných materiálů. Používá se v koncentraci 5 až 10% dle způsobu použití. Koncentraci 5% odpovídá přibližně hodnota $\text{pH} = 9,6$. Dává dobrou ochranu proti korozi a je zvláště biologicky stabilní. Její koeficient refrakce je 1,7. [33]

5.3.5 Procesní kapalina Zubora 65 H Ultra

Zubora 65 H Ultra je polosyntetická univerzální procesní kapalina s obsahem EP přísad a 20% podílu minerálního oleje. Neobsahuje bor a bakteriocidy. Hodí se pro všechny třískové druhy obrábění s definovanou geometrií břitu. Vhodná je pro

všechny slitiny železa, hliníku i pro neželezné materiály. Používá se v koncentraci 5 až 10%. Koncentraci 5% odpovídá přibližně hodnota pH = 9,5. Má dobrou stabilitu i protikorozi účinek. Její refrakční koeficient je 1,2. [33]

5.3.6 Procesní kapalina Zubora 65 H Plus

Zubora 65 H Extra je polosyntetická univerzální procesní kapalina s poměrně nízkým obsahem minerálního oleje na úrovni 10%. Neobsahuje žádné bakteriocidy ani bor. Doporučená je pro lehké a středně těžké druhy obrábění včetně broušení. Vhodná je zejména pro běžnou ocel a litinu ale i většinu ostatních slitin. Používá se v koncentraci 3 až 7%. Při koncentraci 5% je její hodnota pH = 9,6. Má vynikající stabilitu i protikorozi účinek. Její refrakční koeficient je 1,7. [33]

5.3.7 Procesní kapalina Zubora Universal

Zubora Universal je procesní kapalina mísitelná s vodou určená pro všestranné použití. Jejím základem je minerální olej, který tvoří 45% podílu složení. Její oblast použití je především lehké a středně těžké obrábění a je velmi vhodná také pro broušení. Lze ji použít při obrábění ocelí, litin, hliníkových slitin a ostatních neželezných kovů. Pro obrábění nástroji s definovanou geometrií břitu je doporučené použití v koncentraci 5 až 7%, pro broušení potom 3 až 4%. Namíchaná směs má při koncentraci 5% hodnotou pH = 9,1. Provozní stálost a protikorozi účinky této kapaliny jsou velmi dobré. Její koeficient refrakce je 1,1. [34]

5.4 Způsob přípravy procesních kapalin

Všechny použité procesní kapaliny byly dodány v podobě koncentrátů v plastových kanystrech. Pro využití při experimentech je bylo nutné smístit s vodou pro vytvoření roztoku se stanovenou koncentrací. U všech kapalin byla zvolena koncentrace 5%. Pro přípravu byla využita čistá voda z vodovodního řadu s neutrální hodnotou pH (tj. pH = 7).

Míchání roztoků bylo prováděno v čistých plastových kanystrech o objemu 10 litrů. Koncentrát se nejprve odlil do odměrky, čímž se odměřilo přibližné množství pro namíchání procesní kapaliny o požadované koncentraci. Poté se odměřený koncentrát přiléval za stálého míchání do kanystru s vodou.

Přesné koncentrace procesní kapaliny bylo dosaženo pomocí měření ručním refraktometrem (viz obr. 25) ohledem na korekční faktor produktu. Při stanovování koncentrace bylo nutné naměřenou hodnotu násobit opravným koeficientem pro konkrétní procesní kapalinu podle vztahu:

$$r = \frac{c}{K} [\%], \quad (17)$$

kde r ...hodnota na refraktometru [%],

C ... požadovaná koncentrace [%],

K ... koeficient refrakce kapaliny [-].

Podle toho byly z refrakčních koeficientů vypočítány hodnoty na refraktometru pro jednotlivé kapaliny (viz tab.1). Po dosažení správné koncentrace byla následně kapalina přelita do nádoby chladičho zařízení, odkud byla dopravována k místu řezu. Koncentrace kapalin byla kontrolována i v průběhu obrábění, aby nedošlo díky odlišné koncentraci k ovlivnění výsledků.

Procesní kapalina:	K [-]	r [%]
Zubora 10 H Extra	1.1	4.5
Zubora 20 H Extra	1.1	4.5
Zubora 20 H Ultra	1.1	4.5
Zubora 65 H Extra	1.7	2.9
Zubora 65 H Ultra	1.2	4.2
Zubora 65 H Plus	1.7	2.9
Zubora Universal	1.1	4.5

Tab. 1 – Jednotlivé koeficienty refrakce a hodnoty na refraktometru pro požadovanou koncentraci $C = 5\%$

Aby nedošlo k znečištění a vzájemnému ovlivnění procesních kapalin, byl před jejich výměnou chladič systém důkladně vyčištěn a vypláchnut čistou vodou. Použité kapaliny byly uskladněny v plastových kanystrech a připraveny pro následnou ekologickou likvidaci.

5.5 Způsob vyhodnocování výsledků

Vyhodnocení výsledků opakovaného měření bylo provedeno pomocí statických výpočtů. Základním bodem bylo určení střední hodnoty z naměřených veličin dle vztahu:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (18)$$

kde x_i ... jednotlivé naměřené hodnoty,
 n počet měření.

Dále se jednalo o výpočet směrodatné odchylky s , definované jako:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (19)$$

Statistický interval spolehlivosti je definovaný jako interval, v rámci kterého další výsledky měření budou umístěné s předpokládanou pravděpodobností. Vypočítá se jako střední hodnota \pm její variace:

$$x_{max} = \bar{x} + t \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}}, \quad (20)$$

$$x_{min} = \bar{x} - t \cdot \frac{s}{\sqrt{n-1}}, \quad (21)$$

kde t ... konstanta pro zvolenou úroveň spolehlivosti 95, 99 nebo 99,9%.

V tomto případě byla zvolena úroveň spolehlivosti 95%, kde pro počet měření:

$n = 5$ je konstanta $t = 2,78$,

$n = 10$ je konstanta $t = 2,26$,

$n = 20$ je konstanta $t = 2,09$.

5.6 Metodika zkoumání vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje

Obsahem této kapitoly je popis metodiky měření vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje při čelním frézování konstrukční oceli. Je zde popis přípravy, postupu a způsobu získávání dat z měření.

Použité zařízení, přístroje a nástroje:

- Nástrojařská frézka FNG 32
- Fréza Narex 2460.12 $\phi 63$
- Vyměnitelná břitová destička SNUN 120412; 8230
- Souprava pro přívod procesní kapaliny
- Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC
- Nástrojová lupa Brinell
- Mikroskop Arsenal SZP 3112-T

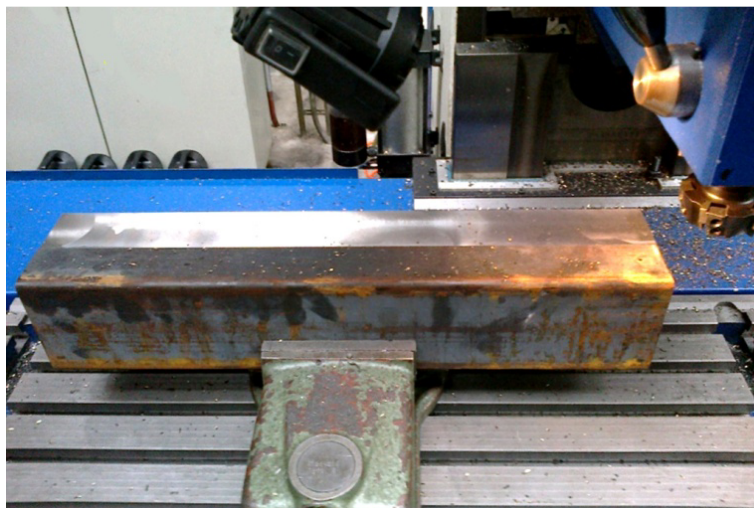
5.6.1 Příprava měření

Příprava frézky FNG 32

Před uvedením frézky FNG 32 do chodu, byl stroj zkontrolován. Byly doplněny provozní kapaliny (mazací oleje a tuky), aby bylo zajištěno promazání pohyblivých částí stroje. Dále byl přiveden stlačený vzduch do systému upínání nástroje a do vřetene byla upnuta fréza osazená jednou břitovou destičkou SNUN 120414; 8230. Ke stroji byla dále připojena externí souprava s čerpadlem pro přívod procesní kapaliny zakončená škrťícím ventilem a nastavitelnou kloubovou hadicí s tryskou. Následně byl k pracovnímu stolu frézky pomocí T-upínek připevněn strojní svěrák.

Příprava materiálu pro obrábění

Pro experiment byl použit materiál 14 220.3 v podobě polotovaru čtvercového průřezu 80x80mm s délkou 520mm. Polotovar byl symetricky upnut do strojního svěráku na pracovním stole frézky (viz obr.53). Před vlastním zahájením experimentů bylo provedeno orovnění povrchu polotovaru, aby se odstranila tvrdá povrchová kůra a vyrovnal povrch pro zamezení ovlivnění výsledků.



Obr. 53 - Polotovar pro měření trvanlivosti nástroje upnutý ve svěráku na stole frézky FNG 32

5.6.2 Postup měření trvanlivosti

Volba řezných podmínek

Při volbě řezných podmínek pro měření trvanlivosti nástroje bylo cílem najít takové řezné podmínky, které umožní objektivní posouzení vlivu procesních kapalin. To znamená, že bylo snahou zvolit parametry řezných podmínek, tak aby byla dosahována trvanlivost nástroje vhodná pro analýzu měření. Zároveň bylo potřeba řezné podmínky zvolit tak, aby trvanlivost nástroje nebyla příliš vysoká, což by mělo za následek pouze zbytečně velkou spotřebu materiálu a časovou náročnost zkoušky.

Použitá fréza byla osazena jednou břitovou destičkou SNUN 120412 s povlakem 8230. Otáčky řezného nástroje byly podle několik předem provedených měření zvoleny na hodnotu $n = 2200 \text{ min}^{-1}$, což pro použitý průměr nástroje odpovídá řezné rychlosti $v_c = 435 \text{ m.min}^{-1}$. Použit byl nesousledný způsob frézování. Velikost posuvu na zub byla zvolena $f_z = 0,1 \text{ mm}$, což u nástroje s jedním zubem odpovídá rychlosti posuvu $v_f = 220 \text{ mm.min}^{-1}$. Hloubka záběru nástroje pak stanovena na hodnotu $a_p = 1 \text{ mm}$ a šířka záběru $b = 40 \text{ mm}$.

Zvolené řezné podmínky:

- Řezná rychlost: $v_c = 435$ [m.min⁻¹]
- Otáčky: $n = 2200$ [min⁻¹]
- Počet zubů: $z = 1$ [-]
- Posuv na zub. $f_z = 0,1$ [mm]
- Rychlost posuvu: $v_f = 220$ [mm.min⁻¹]
- Hloubka záběru: $a_p = 1$ [mm]
- Šířka: $b = 40$ [mm]

Způsob měření trvanlivosti nástroje

Způsob měření trvanlivosti řezného nástroje byl navržen tak, že se vyhodnocoval čistý čas, kdy byl nástroj v řezu až do doby dosažení mezní velikosti opotřebení. Pro náš experiment s použitou vyměnitelnou břitovou destičkou, jsme stanovili jako mezní velikost opotřebení hodnotu $VB_{KRIT} = 0,6 \text{ mm}$.

Pracovní postup probíhal tak, že do nástroje byla usazena nová břitová destička. Pomocí posuvů stroje bylo najeto na požadovanou hloubku $a_p = 1 \text{ mm}$ a do

polohy šířky záběru, která odpovídala šířce záběru $b = 40\text{mm}$. Spustily se otáčky vřetene, následně byl zapnut pracovní posuv stolu ve směru osy X ve smyslu pro nesousledné frézování a byl spuštěn přívod procesní kapaliny. Když nástroj začal pracovat, zastavil se pracovní posuv a na ovládacím panelu pro odčítání polohy stroje jsme vynulovali souřadnice ve všech třech osách. Opět jsme pustili pracovní posuv v podélné ose X a odfrézovali vrstvu materiálu. Po přejetí celého obrobku byla vyjmuta z lůžka frézy vyměnitelná břitová destička a přímo u stroje byla pomocí nástrojové lupy Brinell změřena velikost opotřebení hřbetu nástroje. Před vlastním měřením bylo vždy nutné řeznou destičku řádně očistit a případně odstranit nárůstky, které by zkreslily výsledek měření. Očištěná břitová destička byla vložena do lupy a okulárem se zaostřilo na hřbet nástroje pro odečtení hodnoty velikosti opotřebení VB. Velikost opotřebení se odečetla pomocí stupnice vyobrazené v okuláru. Tento údaj byl zaznamenán.

Před vrácením destičky do frézy bylo lůžko nástroje důkladně vyčištěno, aby nedošlo ke špatnému usazení destičky. Následně se celý postup obrábění a měření hodnoty opotřebení opakoval až do dosažení zvoleného kritéria opotřebení hřbetu. Během obráběcího procesu byl sledován chod stroje z hlediska hluku a vibrací a v případě vzniku anomálie od ustáleného průběhu bylo frézování přerušeno a provedena kontrola opotřebení VBD. Díky tomuto postupu bylo možné poměrně přesně stanovit dobu, při které opotřebení nástroje dosáhne mezní hodnoty.

Naměřené hodnoty byly zaznamenávány do tabulek. Při dosažení mezní hodnoty VB_{KRIT} byla vypočtena trvanlivost nástroje jako podíl celkové ujeté dráhy nástroje a rychlosti posuvu nástroje. Zjištěné hodnoty byly dále zpracovány do grafů a byly staticky zpracovány výsledky.

Pro každou procesní kapalinu bylo provedeno 5 měření, aby měly výsledky dostatečnou vypovídající schopnost a bylo možné provést statistické vyhodnocení. Každé měření bylo provedeno s novým břitem. Podoba vzniklého opotřebení břitu byla následně vyfotografována pomocí kamery na laboratorním mikroskopu Arsenal SZP 3112-T.

5.7 Metodika zkoumání vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu

Tato kapitola obsahuje popis metodiky měření vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli. Je zde popis přípravy, postupu a způsobu získávání dat z měření.

Použité zařízení, přístroje a nástroje:

- Nástrojařská frézka FNG 32
- Fréza Narex 2460.12 ø63
- Vyměnitelná břitová destička SNUN 120412; 8230
- Nádoba pro přívod procesní kapaliny
- Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC
- Nástrojová lupa Brinell
- Profiloměr Mitutoyo Surfrest SV-2000
- Stolní počítač s programem Surfpak v1.1

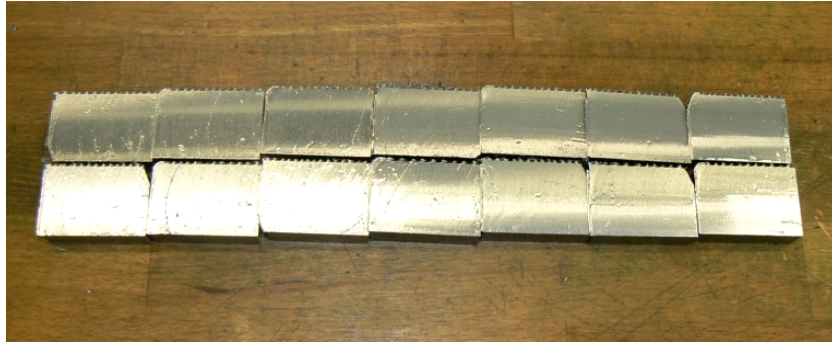
5.7.1 Příprava měření

Příprava frézky FNG 32

Pro zkoumání vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu byla použita nástrojařská frézka FNG 32 ve stejné podobě jako při zkouškách trvanlivosti nástroje. Jediným rozdílem bylo použití jednoduššího spádového způsobu přívodu procesní kapaliny pomocí nádoby upnuté na vřeteníku stroje (viz obr.50).

Příprava materiálu pro obrábění

Stejně jako při zkouškách trvanlivosti nástroje byl použit materiál 14 220.3, ale s rozdílem, že byly pro experiment připraveny malé vzorky ve tvaru kvádro o rozměrech přibližně 50x30x10 . K dělení materiálu byla použita pásová pila Pilous AGR 300 PLUS H.F. Připraveno bylo celkem 14 takovýchto polotovarů tak, aby bylo možné obrobit 2 vzorky pro každou procesní kapalinu (viz obr.54).



Obr. 54 – Zkušební vzorky pro měření vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu

5.7.2 Postup při obrábění vzorků

Volba řezných podmínek

Řezné podmínky při obrábění vzorků pro posouzení vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu byly zvoleny především tak, aby během obrábění nedocházelo k znatelnému opotřebení břitu nástroje, které by zkreslilo výsledky. Z tohoto důvodu byly zvoleny výrazně nižší hodnoty řezné rychlosti než při zkouškách trvanlivosti. Zvolena byla řezná rychlost $60 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Hloubka záběru i posuv na zub však zůstaly zachovány na stejné hodnotě jako při zkouškách trvanlivosti. Opět byla použita fréza osazená jednou břitovou destičkou SNUN 120412.

Zvolené řezné podmínky:

- Řezná rychlost: $v_c = 60$ [m.min⁻¹]
- Otáčky: $n = 300$ [min⁻¹]
- Počet zubů: $z = 1$ [-]
- Posuv na zub. $f_z = 0,1$ [mm]
- Rychlost posuvu: $v_f = 30$ [mm.min⁻¹]
- Hloubka záběru: $a_p = 1$ [mm]

Postup při obrábění

Do frézovacího nástroje byla upnuta nová břitová destička. Do svěráku byl upnut zkušební vzorek a pomocí posuvu bylo najeto na požadovanou hloubku záběru $a_p = 1 \text{ mm}$ před vzorek, tak aby se osa frézy pohybovala při obrábění nad středem vzorku. Poté byla vynulována počítadla odměřovacího zařízení. Do nádoby pro procesní kapalinu byla nalita jedna z kapalin. Poté byly nastaveny zvolené řezné

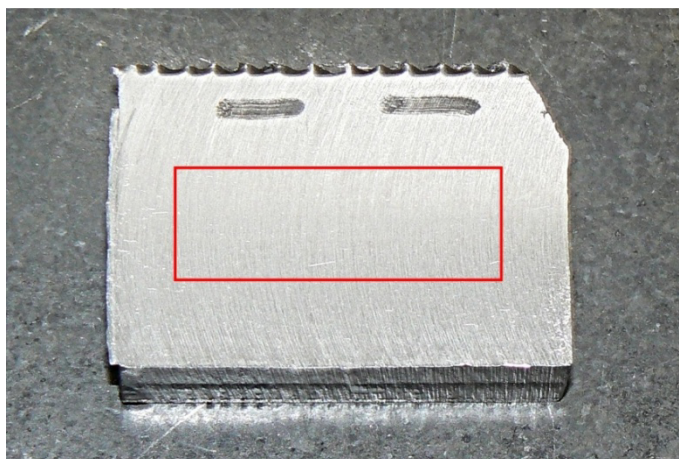
podmínky, spuštěny otáčky vřetena a strojní posuv podélné osy X. Ještě než se břit nástroje dostal do záběru, byla otevřením kulového ventilu na nádobě přivedena procesní kapalina do místa řezu (viz obr.55). Po obrobení celé délky vzorku ve chvíli, kdy začátek frézy vyjel ze záběru, byl vypnut posuv. Abychom nepoškodili povrch vzorku, sjeli jsme svislým posuvem Z se stolem pod úroveň záběru nástroje a vyjeli rychloposuvem podélné osy X zpátky do výchozí pozice. Následně jsme opatrně vyjmuli vzorek. Po výměně vzorku a najetí zpět na zvolenou hloubku záběru jsme stejný postup opakovali pro druhý vzorek. Poté jsme vyčistili nádobu i potrubí od zbytků procesní kapaliny pomocí čisté vody a nádobu naplnili další posuzovanou procesní kapalinou. Celý postup jsme takto opakovali pro všech 7 procesních kapalin.



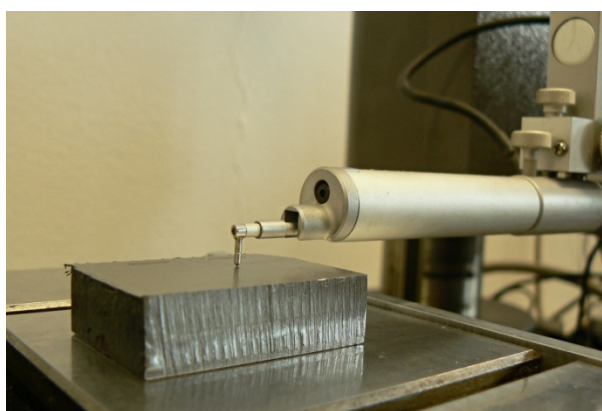
Obr. 55 – Obrábění vzorku pro měření drsnosti povrchu

5.7.3 Postup měření drsnosti

Měření drsnosti povrchu na vzorcích bylo provedeno na laboratorním profiloměru Mitutoyo Surf-test SV-2000 (viz obr.52). Obrobený vzorek byl umístěn na stolek přístroje, tak aby posuv snímače přístroje souhlasil se směrem posuvu obráběcího nástroje. Proto, aby byla drsnost vyhodnocována pokud možno ve směru kolmém na hlavní řezný pohyb při obrábění, bylo měření prováděno ve střední oblasti vzorku (viz obr.56). Délka pohybu diamantového hrotu byla 4,8 mm a rychlost jeho pohybu 0,5 mm/s. Z toho byla vyhodnocovaná délka 4 mm.

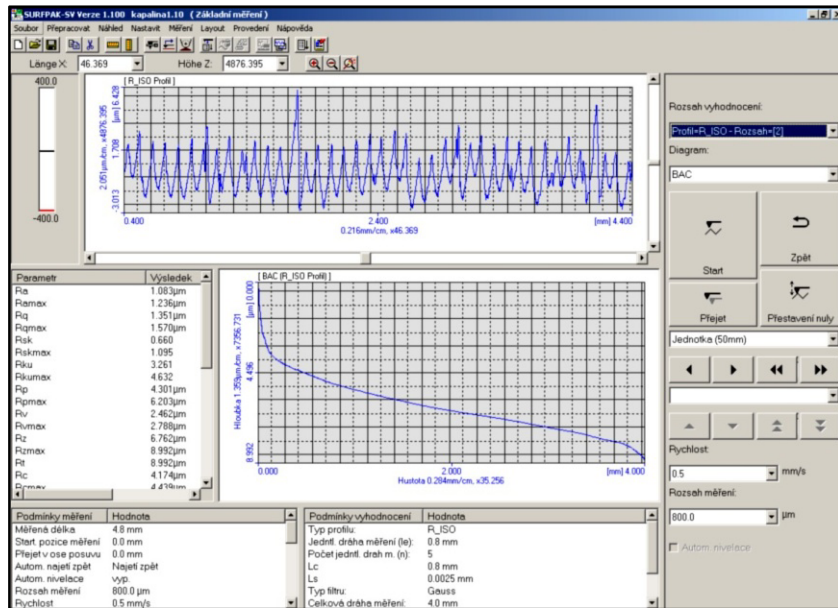


Obr. 56 - Obrobený vzorek s vyznačeným místem měření drsnosti



Obr. 57 - Snímač profiloměru Mitutoyo Surftest SV-2000 v pracovní poloze při měření drsnosti vzorku

Naměřené hodnoty byly zpracovány a zaznamenávány pomocí softwaru Surfpak na připojeném stolním počítači (viz obr. 58). Na každém vzorku bylo provedeno 10 měření v různých místech. Pro každou kapalinu tedy bylo provedeno 20 měření pro zajištění statistické přesnosti výsledku. Pro účely hodnocení drsnosti povrchu byly zvoleny normované parametry střední aritmetické úchylny povrchu R_a , nejvyšší výšky profilu R_z . A dále ještě nenormovaný parametr C_{TP50} , který udává hloubku profilu, ve které je materiálový podíl 1:1 (50% kovového materiálu a 50% vzduchu). Naměřené hodnoty byly dále zpracovány, zapsány do tabulek a použity pro tvorbu grafů.



Obr. 58 - Ukázka grafického výstupu softwaru Surfpak v1.1

6 ZJIŠTĚNÍ VLIVU POSUZOVANÝCH PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST NÁSTROJE A DRSNOST POVRCHU

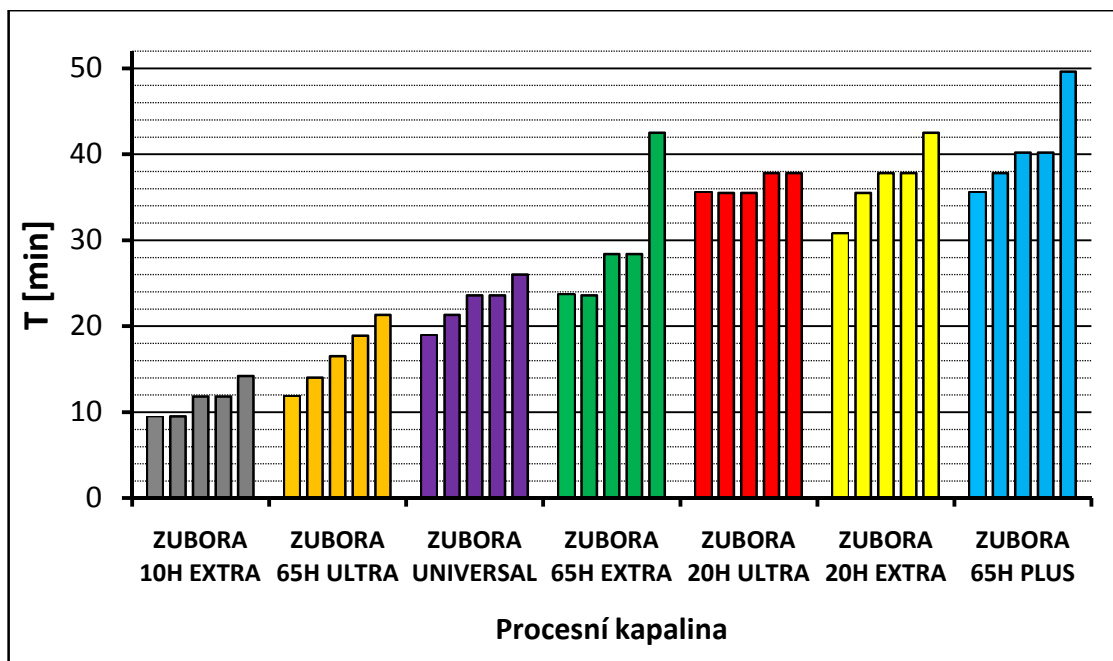
6.1 Porovnání procesních kapalin z hlediska vlivu na trvanlivost nástroje

V první části práce byl posuzován vliv procesních kapalin Zubora na trvanlivost nástroje. Úkolem bylo vyhodnocení a porovnání účinnosti jednotlivých procesních kapalin. Měření bylo prováděno při řezné rychlosti $v = 435$ m/min, posuvu na zub $f_z = 0,1$ mm, hloubce záběru $a_p = 1$ mm a šířce záběru $b = 40$ mm. Použita byla vyměnitelná břitová destička s povlakem SNUN 120412; 8230. Zvoleno bylo kritérium opotřebením hřbetu nástroje $VB_{KRIT} = 0,6$ mm. Pro každou procesní kapalinu bylo provedeno 5 zkoušek trvanlivosti a z výsledků byla vypočítána jejich průměrná hodnota. Všechny naměřené hodnoty včetně grafů časového průběhu opotřebením a snímků opotřebením břitu při jednotlivých zkouškách trvanlivosti jsou v příloze 1 až 7.

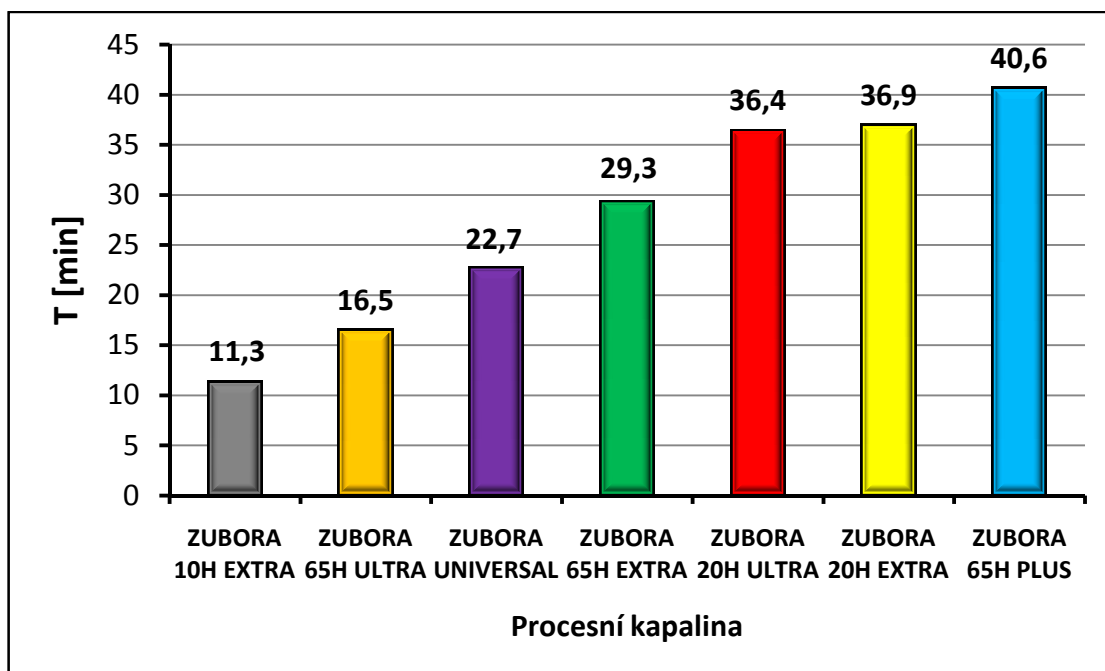
Průměrné hodnoty trvanlivostí břitu nástroje při použití jednotlivých procesních kapalin jsou uvedeny v tabulce č.2. Graf č.1 uvádí seřazené hodnoty naměřené při jednotlivých zkouškách trvanlivosti. V grafu č.2 jsou pak kapaliny seřazeny podle průměrné trvanlivosti od nejnižší po nejvyšší hodnoty. Tabulka č.3 pak uvádí ještě procentuální srovnání výsledků vůči procesní kapalině s nejvyšší dosaženou trvanlivostí.

Procesní kapalina:	číslo měření					průměrná trvanlivost	
	1	2	3	4	5	T [min]	(±)
Zubora 10 H Extra	9.4	11.8	14.2	9.5	11.8	11.3	2.8
Zubora 20 H Extra	30.7	35.5	37.8	42.5	37.8	36.9	6.0
Zubora 20 H Ultra	35.5	37.8	35.5	35.5	37.8	36.4	1.8
Zubora 65 H Extra	23.6	42.5	28.4	28.4	23.6	29.3	10.8
Zubora 65 H Ultra	18.9	11.8	14	21.3	16.5	16.5	5.3
Zubora 65 H Plus	49.6	35.5	37.8	40.2	40.2	40.6	7.5
Zubora Universal	26	23.6	23.6	18.9	21.3	22.7	3.7

Tab. 2 – Naměřené hodnoty trvanlivosti břitů



Graf č.1 – Grafické zobrazení naměřených hodnot trvanlivosti za použití různých procesních kapalin



Graf č.2 - Průměrná hodnota trvanlivosti VBD (z pěti měření) při frézování za použití různých procesních kapalin

Procesní kapalina	T [min]	zhoršení T [%]
Zubora 65 H Plus	40.6	-
Zubora 20 H Extra	36.9	9
Zubora 20 H Ultra	36.4	10
Zubora 65 H Extra	29.3	28
Zubora Universal	22.7	44
Zubora 65 H Ultra	16.5	59
Zubora 10 H Extra	11.3	72

Tab. 3 – Procentuální snížení trvanlivosti nástroje u jednotlivých kapalin v porovnání s nejlepší procesní kapalinou

Z výsledků je patrné, že při zvolených řezných podmínkách dosáhla nejlepšího výsledku procesní kapalina Zubora 65 H Plus s průměrnou hodnotou trvanlivosti 40,6 minut. Nejhoršího výsledku bylo potom dosaženo s kapalinou Zubora 10 H Extra s poklesem trvanlivosti na hodnotu 11,3 minut, což činí rozdíl 72%.

Závěr: Při porovnání vlivu procesních kapalin Zubora na průměrnou trvanlivost nástroje bylo dosaženo nejlepšího výsledku s kapalinou 65 H Plus. Při použití kapalin 20 H Extra a 20 H Ultra trvanlivost klesla o 10%. Kapaliny 65 H Extra, Universal a 65 H Ultra dosáhly trvanlivosti nižší v rozsahu 28% až 59%. Nejhoršího výsledku dosáhla kapalina 10 H Extra s poklesem trvanlivostí o 72%.

6.2 Porovnání procesních kapalin z hlediska jejich vlivu na drsnost povrchu

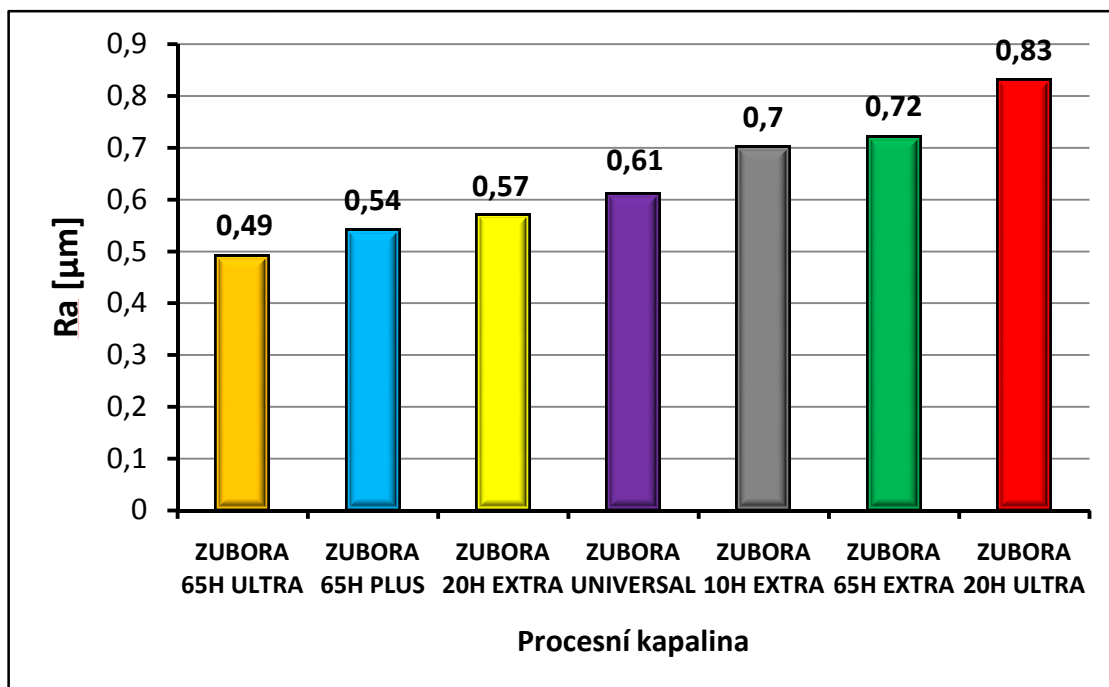
V této části práce byl porovnáván vliv jednotlivých procesních kapalin na drsnost obrobeného povrchu. Cílem bylo vyhodnotit procesní kapalinu s nejlepším účinkem na drsnost obrobeného povrchu. Drsnost povrchu byla hodnocena na vzorcích obrobených nástrojem s jednou břitovou destičkou při řezné rychlosti $v = 60$ m/min a posuvu na zub $f_z = 0,1$ mm. Hodnoceny byly parametry střední aritmetická úchylna profilu R_a , nejvyšší výška profilu R_z a dále ještě nenormovaný parametr C_{TP50} , který udává hloubku profilu, ve které je materiálový podíl 1:1. Pro každou procesní kapalinu bylo provedeno 20 opakovaných měření drsnosti a výsledky byly statisticky zpracovány. Všechny naměřené hodnoty včetně grafu zahrnujícího všechny hodnocené parametry drsnosti jsou obsaženy v příloze 8.

Hodnocení parametru drsnosti R_a

Průměrné hodnoty dosažené střední aritmetické úchylny profilu R_a při použití jednotlivých procesních kapalin jsou uvedeny v tabulce č.4. V grafu č.3 jsou kapaliny seřazeny podle průměrné dosažené hodnoty R_a od nejnižší po nejvyšší hodnoty. Tabulka č.5 pak uvádí ještě procentuální srovnání výsledků vůči procesní kapalině s nejnižší dosaženou drsností.

Procesní kapalina:		průměrná drsnost	
		R_a [μm]	(\pm)
	Zubora 10 H Extra	0.70	0.12
	Zubora 20 H Extra	0.57	0.03
	Zubora 20 H Ultra	0.83	0.03
	Zubora 65 H Extra	0.72	0.04
	Zubora 65 H Ultra	0.49	0.03
	Zubora 65 H Plus	0.54	0.06
	Zubora Universal	0.61	0.04

Tab. 4 – Naměřené hodnoty parametru drsnosti R_a



Graf č.3 - Průměrná hodnota parametru drsnosti Ra při frézování za použití různých procesních kapalin

Procesní kapalina	Ra [µm]	zhoršení Ra [%]
Zubora 65 H Ultra	0.49	-
Zubora 65 H Plus	0.54	10
Zubora 20 H Extra	0.57	16
Zubora Universal	0.61	24
Zubora 10 H Extra	0.70	43
Zubora 65 H Extra	0.72	47
Zubora 20 H Ultra	0.83	69






Tab. 5 - Procentuální zhoršení parametru Ra u jednotlivých kapalin v porovnání s nejlepší procesní kapalinou

Naměřené hodnoty ukazují, že nejlepšího výsledku dosáhla kapalina Zubora 65H Ultra s průměrnou hodnotou parametru drsnosti povrchu Ra = 0,49 µm. Nejhoršího výsledku bylo pak dosaženo s kapalinou Zubora 20 H Ultra se zvýšením parametru Ra na hodnotu 0,83 µm, což činí rozdíl 69%.

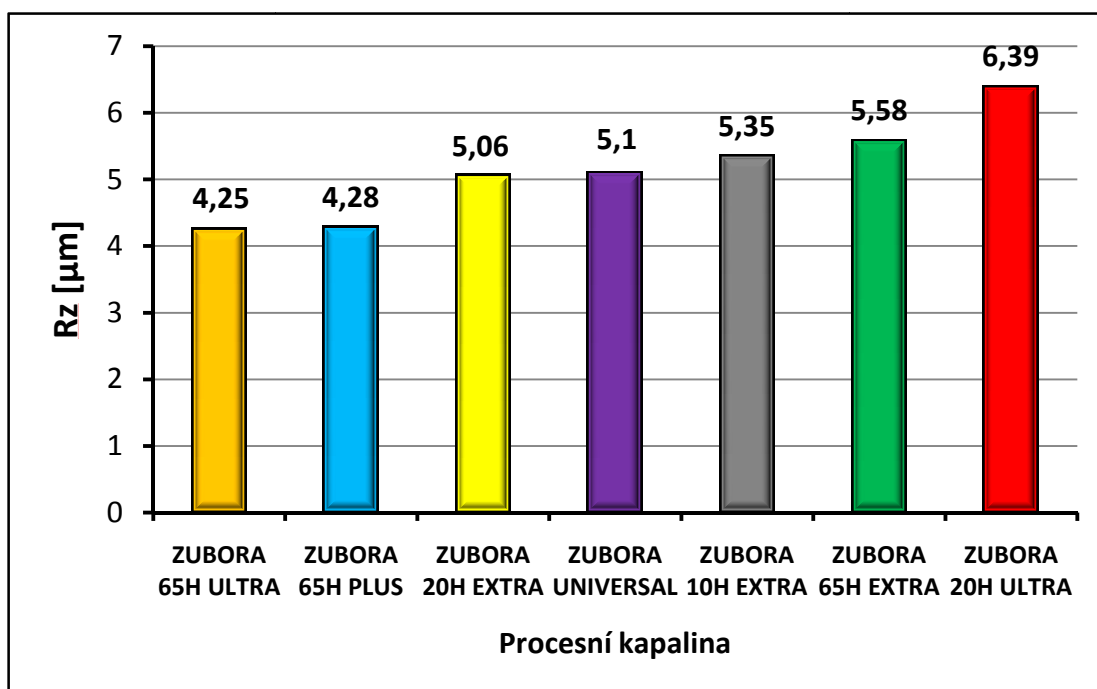
Závěr: Při analýze vlivu procesních kapalin Zubora na průměrnou drsnost povrchu Ra bylo dosaženo nejlepšího výsledku s kapalinami 65H Ultra, 65H Plus, 20H Extra. U kapalin Universal, 10H Extra a 65H Extra došlo ke zhoršení v rozsahu 24 až 47%. Nejhoršího výsledku dosáhla kapalina 20 H Ultra s parametrem drsnosti vyšším o 69%.

Hodnocení parametru drsnosti Rz

Průměrné hodnoty dosažené nejvyšší výšky profilu Rz při použití jednotlivých procesních kapalin jsou uvedeny v tabulce č.6. V grafu č.4 jsou kapaliny seřazeny podle průměrné dosažené hodnoty Rz od nejnižší po nejvyšší hodnoty. Tabulka č.7 pak uvádí ještě procentuální srovnání výsledků vůči procesní kapalině s nejnižší dosaženou drsností.

Procesní kapalina:		průměrná drsnost	
		Rz [μm]	(\pm)
	Zubora 10 H Extra	5.35	0.73
	Zubora 20 H Extra	5.06	0.66
	Zubora 20 H Ultra	6.39	0.50
	Zubora 65 H Extra	5.58	0.24
	Zubora 65 H Ultra	4.25	0.76
	Zubora 65 H Plus	4.28	0.31
	Zubora Universal	5.10	0.48

Tab. 6 – Naměřené hodnoty parametru drsnosti Rz



Graf č .4 - Průměrná hodnota parametru drsnosti Rz při frézování za použití různých procesních kapalin

Procesní kapalina	Rz [μm]	zhoršení Rz [%]
Zubora 65 H Ultra	4.25	-
Zubora 65 H Plus	4.28	1
Zubora 20 H Extra	5.06	19
Zubora Universal	5.10	20
Zubora 10 H Extra	5.35	26
Zubora 65 H Extra	5.58	31
Zubora 20 H Ultra	6.39	50

Tab. 7 - Procentuální zhoršení parametru Rz u jednotlivých kapalin v porovnání s nejlepší procesní kapalinou

Naměřené hodnoty ukazují, že nejlepšího výsledku dosáhly téměř shodně kapaliny Zubora 65 H Ultra a 65 H Plus s průměrnou hodnotou parametru drsnosti povrchu $Rz = 4,3 \mu\text{m}$. Nejhoršího výsledku bylo dosaženo s kapalinou Zubora 20 H Ultra se zvýšením parametru Rz na hodnotu $6,39 \mu\text{m}$, což činí rozdíl 50%.

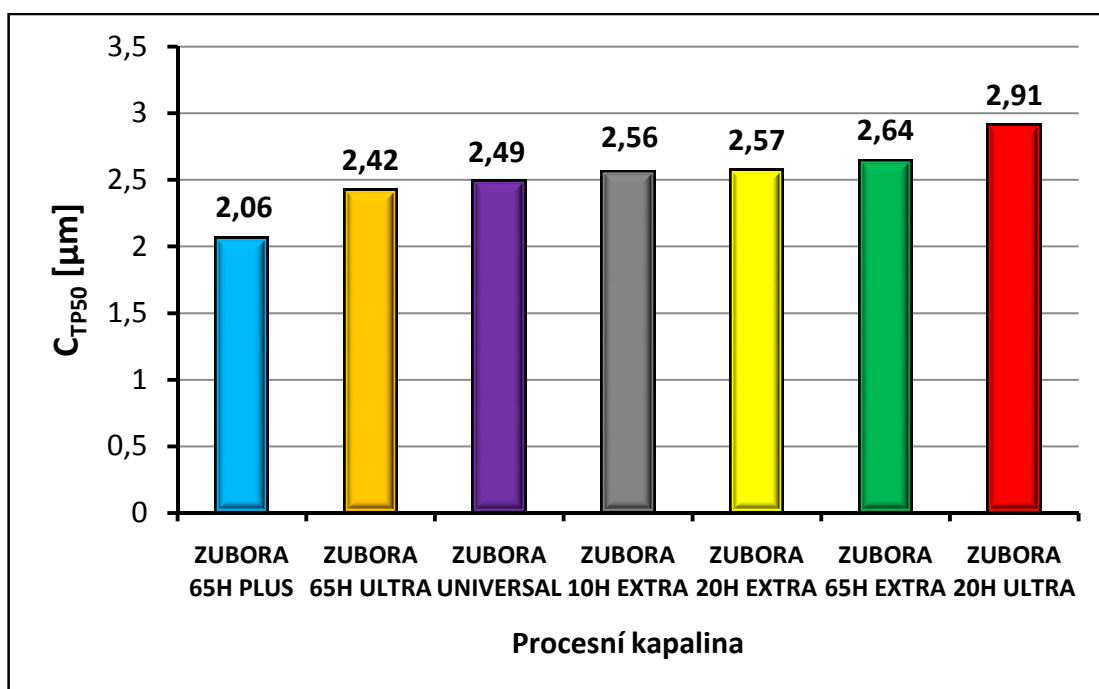
Závěr: Při analýze vlivu procesních kapalin Zubora na parametr drsnosti povrchu Rz bylo dosaženo nejlepšího výsledku s kapalinami 65 H Ultra a 65 H Plus. Při použití kapalin 20 H Extra, Universal, 10 H Extra a 65 H Extra došlo ke zhoršení v rozsahu 19 až 31%. Nejhoršího výsledku dosáhla kapalina 20 H Ultra s parametrem drsnosti vyšším o 50%.

Hodnocení parametru drsnosti C_{TP50}

Průměrné hodnoty dosaženého parametru nosného podílu profilu drsnosti C_{TP50} při použití jednotlivých procesních kapalin uvádí tabulka č.8. V grafu č.5 jsou kapaliny seřazeny podle průměrné dosažené hodnoty C_{TP50} od nejnižší po nejvyšší hodnoty. Tabulka č.9 pak uvádí ještě procentuální srovnání výsledků vůči procesní kapalině s nejnižším dosaženým parametrem nosného podílu profilu drsnosti.

Procesní kapalina:	průměrná drsnost	
	C_{TP50} [μm]	(\pm)
Zubora 10 H Extra	2.56	0.35
Zubora 20 H Extra	2.57	0.47
Zubora 20 H Ultra	2.91	0.24
Zubora 65 H Extra	2.64	0.16
Zubora 65 H Ultra	2.42	0.75
Zubora 65 H Plus	2.06	0.20
Zubora Universal	2.49	0.26

Tab. 8 – Naměřené hodnoty parametru drsnosti C_{TP50}



Graf č.5 - Průměrná hodnota parametru nosného podílu C_{TP50} při frézování za použití různých procesních kapalin

Procesní kapalina	C_{TP50} [μm]	zhoršení C_{TP50} [%]
Zubora 65 H Plus	2.06	-
Zubora 65 H Ultra	2.42	17
Zubora Universal	2.49	21
Zubora 10 H Extra	2.56	24
Zubora 20 H Extra	2.57	25
Zubora 65 H Extra	2.64	28
Zubora 20 H Ultra	2.91	41

Tab. 9 - Procentuální zhoršení parametru C_{TP50} u jednotlivých kapalin v porovnání s nejlepší procesní kapalinou

Naměřené hodnoty ukazují, že nejlepšího výsledku dosáhla kapalina Zubora 65 H Plus s průměrnou hodnotou parametru nosného podílu $C_{TP50} = 2.06 \mu\text{m}$. Rozdíly mezi jednotlivými kapalinami však byly poměrně malé. Nejhoršího výsledku bylo dosaženo s kapalinou Zubora 20 H Ultra se zvýšením parametru C_{TP50} na hodnotu $2,91 \mu\text{m}$, což činí rozdíl 41%.

Závěr: Při analýze vlivu procesních kapalin Zubora na nosný podíl profilu povrchu C_{TP50} dosáhla nejlepšího výsledku kapalina 65 H Plus. U kapalin 65 H Ultra, Universal, 10 H Extra, 20 H Extra a 65 H Extra došlo ke zhoršení v rozsahu 17 až 28%. Nejhoršího výsledku dosáhla kapalina 20 H Ultra s parametrem nosného podílu vyšším o 41%.

7 SHRNUTÍ A ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ

Tato diplomová práce byla zaměřena na posouzení vlivu sedmi procesních kapalin Zubora od výrobce Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG při čelním frézování konstrukční oceli. Kapaliny byly zkoušeny z hlediska vlivu na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu. Za tímto účelem byly v teoretické části práce shrnuty dostupné informace o způsobech frézování, problematice opotřebení nástrojů, vlastnosti procesních kapalin a poznatky o integritě povrchu a způsobech měření drsnosti povrchu. Dále byla navržena metodika pro zkoumání trvanlivosti nástroje a drsnosti povrchu při čelním frézování konstrukční oceli.

V první části experimentu byl zkoumán vliv procesních kapalin na trvanlivost nástroje. Pro posouzení byl zvolen nesousledný způsob frézování při řezné rychlosti $435 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a posuvu $0,1\text{mm}$ na zub. Jako nástroj byla použita fréza osazená jednou vyměnitelnou břitovou destičkou s povlakem SNUN 120412; 8230. Obráběným materiálem byla konstrukční ocel ČSN 14220. Úkolem bylo porovnat účinek jednotlivých kapalin a vyhodnotit kapalinu s nejlepším výsledkem.

- Při porovnání vlivu procesních kapalin Zubora na průměrnou trvanlivost nástroje bylo dosaženo nejlepšího výsledku s kapalinou 65 H Plus. Při použití kapalin 20 H Extra a 20 H Ultra trvanlivost klesla o 10%. Kapaliny 65 H Extra, Universal a 65 H Ultra dosáhly trvanlivosti nižší v rozsahu 28% až 59%. Nejhoršího výsledku dosáhla kapalina 10 H Extra s poklesem trvanlivostí o 72%.

Druhou částí experimentu byl zjišťování vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu. Pro posouzení byl zvolen parametry střední aritmetická úchylka profilu R_a , nejvyšší výška profilu R_z a dále ještě nenormovaný parametr C_{TP50} , který udává hloubku profilu, ve které je materiálový podíl 1:1. Nejprve byly každou kapalinou obrobena 2 vzorky z konstrukční oceli ČSN 14 220. Následně bylo pomocí profiloměru na každém vzorku provedeno 10 měření. Každý parametr tak byl statisticky zpracován z 20ti naměřených hodnot. Cílem bylo vyhodnocení kapaliny s nejlepším vlivem na drsnost povrchu.

- Při analýze vlivu procesních kapalin Zubora na průměrnou drsnost povrchu Ra bylo dosaženo nejlepšího výsledku s kapalinami 65H Ultra, 65H Plus, 20H Extra. U kapalin Universal, 10H Extra a 65H Extra došlo ke zhoršení v rozsahu 24 až 47%. Nejhoršího výsledku dosáhla kapalina 20H Ultra s parametrem drsnosti vyšším o 69%.
- Při analýze vlivu procesních kapalin Zubora na parametr drsnosti povrchu Rz bylo dosaženo nejlepšího výsledku s kapalinami 65H Ultra a 65H Plus. Při použití kapalin 20H Extra, Universal, 10H Extra a 65H Extra došlo ke zhoršení v rozsahu 19 až 31%. Nejhoršího výsledku dosáhla kapalina 20H Ultra s parametrem drsnosti vyšším o 50%.
- Při analýze vlivu procesních kapalin Zubora na nosný podíl profilu povrchu C_{TP50} dosáhla nejlepšího výsledku kapalina 65H Plus. U kapalin 65H Ultra, Universal, 10H Extra, 20H Extra a 65H Extra došlo ke zhoršení v rozsahu 17 až 28%. Nejhoršího výsledku dosáhla kapalina 20H Ultra s parametrem nosného podílu vyšším o 41%.
- Při posouzení všech třech vyhodnocovaných parametrů drsnosti povrchu, byla jako nejlepší vyhodnocena kapalina Zubora 65 H Ultra, která dosáhla nejlepších hodnot parametrů Ra a Rz a druhé nejlepší hodnoty při posuzování hodnoty nosného podílu parametru C_{TP50} . Z toho lze usuzovat, že tato kapalina disponuje nejlepší mazací schopností ze všech testovaných kapalin.

Po zhodnocení všech výsledků měření mohu pro čelní frézování konstrukční oceli do průmyslové praxe doporučit kapalinu Zubora 65 H Plus, a to díky nejvyššímu vlivu na trvanlivost nástroje a velmi dobrým výsledkům při posuzování vlivu na drsnost povrchu.

V návaznosti na tuto práci by bylo příhodné posoudit účinky sledovaných kapalin také při jiných technologiích obrábění, pro odlišné druhy materiálů a také porovnat s účinky jiných řezných prostředí. Pro průmyslové využití by bylo záhodné posoudit mimo jiné také provozní stálost a náklady spojené s užíváním posuzovaných procesních kapalin.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MADL, J. Řezné kapaliny v současné technologii obrábění. In: *Sborník vědeckých prací*. 1. vyd. Ekologie obrábění, Strojírenská technologie knihovnička, 2000, s. 9 - 18. ISBN 80-7044-232-8.
- [2] LICEK, R., POPOV, A. *Modern fluids and tool materials for turning of construction steel. Manufacturing Engineering*. Rec. M. Havrila aj. roč. 10, červen 2011, č. 2., s. 42 - 44. ISSN 1335-7972.
- [3] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [4] SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástroje*. 2005.601 s.
- [5] HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80-7044-616-1.
- [6]. ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. 1999. Praha: Český normalizační institut.
- [7] HUMÁR, A. *Technologie I: Technologie obrábění – 1. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia*. 1. vyd. Brno: VUT Brno. 2003. 138 s. Dostupné na: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [8] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1 vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [9] ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3. Metody, stroje a nástroje pro obrábění*, 1. díl, 2. vyd. Praha : Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [10] HLUCHÝ, M., HANĚK, V. *Strojírenská technologie 2. Koroze, základy obrábění, výrobní postupy*. 2. díl. Praha : Scientia, 1999. ISBN 80-7183-121-1.
- [11] ŘASA, J., HANĚK, V., KAFKA, J. *Strojírenská technologie 4. Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže*, 1. vyd. Praha : Scientia, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
- [12] KRÍŽ, R., VAVRA, P., *Strojírenská příručka – 7. Svazek*, 1.vyd. Praha : Scientia, 1996. ISBN 80-7183-024-0
- [13] DRÁB, V. *Technologie I*. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1985, 295 s. ISBN-., Dostupné na: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_skr.pdf
- [14] ZEMAN, P., Účinek řezného prostředí na trvanlivost břitu. *MM Průmyslové spektrum*, prosinec 2005, č. 12, str. 36. ISSN 1212-2572.
- [15] KRÍŽ, P., Syntetické obráběcí kapaliny pro budoucnost. *MM Průmyslové spektrum*, červenec 2011, č. 7, str. 26. ISSN 1212-2572.
- [16] CEJNAROVÁ, A., Jak správně zvolit chlazení pro obráběcí stroj. *MM Průmyslové spektrum*, květen 2005, č.5, str. 60. ISSN 1212-2572.
- [17] HOFMANN, P., Obrábění zasucha – ano, či ne?. *MM Průmyslové spektrum*, listopad 2001, č. 11, str. 58. ISSN 1212-2572.

- [18] STAVINOHA, Z ., *Mechatronika - Technologie – výukové materiály – Trvanlivost břítu. Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj*. Registrační číslo CZ.1.07/1.1.08/03.0009, Dostupné na: <http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=0&id=32871&revision=-1&instance=2>
- [19] Pramet Tools, s.r.o., *Katalog obrábění – Frézování 2014*. [online]. Šumperk [cit. 11.5.2015]. Ke stažení na: <http://www.dormerpramet.com/downloads/milling-2014-cz-sk.pdf>
- [20] Sandvik CZ s.r.o, *Technická příručka – 2011*. [online]. Praha, 2011. Ke stažení na: http://www.rpb.cz/katalog_sandvik_coromant
- [21] DE VOS, P., *Opotřebenění se nevyhneme!*. *MM Průmyslové spektrum*, červen 2012, č. 6, str. 56. ISSN 1212-2572.
- [22] BUMBÁLEK, B. *Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti pro její funkci*. [online]. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Dostupné na: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf
- [23] KŘÍŽ, A., *Vliv povrchu na užité vlastnosti výrobku*. *MM Průmyslové spektrum*, červenec 2011, č. 7, str. 50. ISSN 1212-2572.
- [24] Mitutoyo Česko, s.r.o., *Drsnoměry – Měření jakosti povrchu 2006*. [online]. Teplice [cit. 5.5.2015]. Dostupné na: http://gps.fme.vutbr.cz/stah_info/2609_mitutoyo_drsnomery.pdf
- [25] ŠVRČINA, J. *Podstata frézování – Praxe II a III – Frézování a CNC obrábění*. [online]. 2012 . Opava: SPŠU Opava. Dostupné na: <http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/sablony/Praxe II a III/VY 52 I NOVACE H-02-20.pdf>
- [26] MÁDL, J. *Integrita povrchu po obrábění*. In: *Sborník vědeckých prací*. [online]. Praha: ČVUT v Praze, 2008, Dostupné na: <http://www.fvt.tuke.sk/journal/pdf08/2-str-05-07.pdf>
- [27] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie – část I*. [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2004, 110s. Dostupné na: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [28] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II - 1. díl*. 1. vyd. [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007, 119 s. Dostupné na: http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf
- [29] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II - 2. díl*. 1. vyd. [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008, 142 s. Dostupné na: http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
- [30] BRYCHTA, J., *Integrita obrobeného povrchu a její charakteristické veličiny při třískovém řezání kovů a jejich slitin*. [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2012, Dostupné na: http://integrita.zcu.cz/download/skola1/ostrava_prez2.pdf
- [31] KŘÍŽ, A., *Integrita povrchu obrobku povrchu a její charakteristické veličiny při třískovém řezání kovů a jejich slitin*. [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014, Dostupné na: http://ateam.zcu.cz/download/profesor_1.pdf

- [32] Mikron Tool SA Agno., *Katalog – CrazyDrill Cool*. [online]. Switzerland [cit. 5.5.2015]. Dostupné na: http://www.mikron.com/fileadmin/customer/2_Pdfs/3_Mikron_Machining/Cutting-Tools/Products/Crazy_Drill/CrazyDrill_Cool_english.pdf
- [33] Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG., *Katalog – Zubora – Water-miscible cooling lubricants*. [online]. Eislingen, Germany [cit. 1.5.2015]. Dostupné na: http://zeller-gmelin.de/medias/sys_master/8804461183006/Zubora+en.pdf?contentType=application/pdf&realname=Zubora%20en
- [34] Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG., *Zubora Universal – technical data sheet lubricants*. [online]. Eislingen, Germany [cit. 1.5.2015]. Dostupné na: <http://toplubricants.ro/products/5.fluide%20pentru%20prelucrare%20metalelor/children/1.Uleiuri%20pentru%20racire%20emulsionabile%20cu%20apa/Divinol%20Zubora%20Universal%20TI-EN-2099BT.PDF>
- [35] TOS Olomouc s.r.o., *Produktový list – Nástrojařská frézka FNG 32*. [online]. Olomouc – Holany [cit. 5.5.2015]. Dostupné na: <http://www.tos-olomouc.cz/files/oc/produktove-informace/fng32.pdf>
- [36] Bohdan Bolzano s.r.o., *Přehled vlastností oceli 16MnCrS5*. [online]. Kladno [cit. 4.5.2015]. Dostupné na: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/oceli-k-cementovani-podle-en-10084/prehled-vlastnosti-oceli-16mncr5>
- [37] LOLEK, J., *Procesní kapaliny využívané na CNC strojích..* [Diplomová práce]. Brno, Vysoké učení technické v Brně., 2012. 60 s. Dostupné na: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53780
- [38] DOBEŠ, P., Současné trendy v oblasti kapalin pro obrábění. *MM Průmyslové spektrum*, květen 2007, č. 5, str. 54. ISSN 1212-2572. <http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasne-trendy-v-oblasti-kapalin-pro-obrabeni.html>
- [39] MALÝ, J., ZEMAN, P., Suché frézování materiálu Ti6Al4V vysokými rychlostmi. *MM Průmyslové spektrum*, prosinec 2006, č. 12, str. 50. ISSN 1212-2572. <http://www.mmspektrum.com/clanek/suche-frezovani-materialu-ti6al4v-vysokymi-rychlostmi.html>
- [40] Walter Tools S.A, de C.V., *Katalog – ValCool Metalworking fluids*. [online]. Germany [cit. 4.5.2015]. Dostupné na: <http://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/us/valcool/en-us/product-information-valcool-technical-info-2015-en.pdf>
- [41] HOMMEL CS s.r.o. *Systém měření drsnosti – parametry drsnosti*. [online]. Teplice [cit. 6.5.2015]. Dostupné na: http://www.hommel-etamic.cz/files/094_14-hommel-plakat-drsnost-1000x700mm.pdf

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Měření trvanlivosti nástroje - Zubora 10 H Extra	3 strany
Příloha č. 2 - Měření trvanlivosti nástroje - Zubora 20 H Extra	3 strany
Příloha č. 3 - Měření trvanlivosti nástroje - Zubora 20 H Ultra	3 strany
Příloha č. 4 - Měření trvanlivosti nástroje - Zubora 65 H Extra	3 strany
Příloha č. 5 - Měření trvanlivosti nástroje - Zubora 65 H Ultra	3 strany
Příloha č. 6 - Měření trvanlivosti nástroje - Zubora 65 H Plus	3 strany
Příloha č. 7 - Měření trvanlivosti nástroje - Zubora Universal	3 strany
Příloha č. 8 - Měření drsnosti povrchu obrobku	3 strany
Příloha č. 9 - Technické údaje břitové destičky SNUN 120412; 8230	1 strana
Příloha č. 10 - Materiálový list oceli ČSN 14220	1 strana

Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje

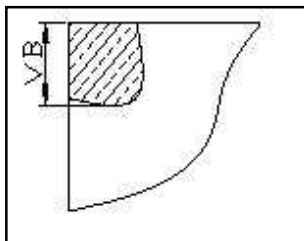
- procesní kapalina: ZUBORA 10 H EXTRA
 - obráběný materiál: ČSN 14220

datum měření: 15.10.14
 měření provedl: prof.Popov, Bc.Mlejnek

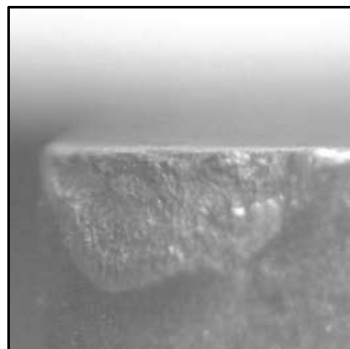
Podmínky měření

stroj:	FNG 32
nástroj:	čelní fréza NAREX 2460.12 D = 63mm, 1 VBD
druh a materiál VBD:	VBD PRAMET SNUN 120412; 8230
řezné podmínky:	$v_c = 435$ m/min, $n = 2200$ ot/min, $f_z = 0,1$ mm, $f_{min} = 220$ mm/min, $a_p = 1$ mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny:	5%
koeficient refrakce:	1.1
velkost na refraktometru:	4.5
kriterium opotřebení VBD:	0,6 mm

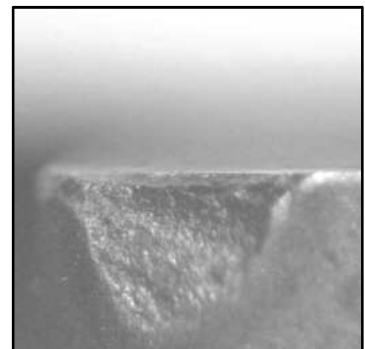
Schéma měření a fotografie opotřebené VBD



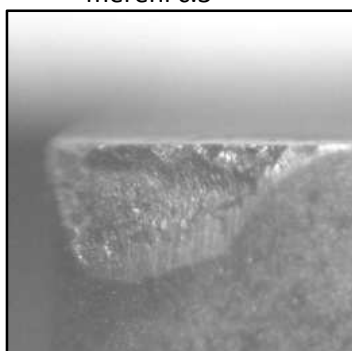
měření č.1



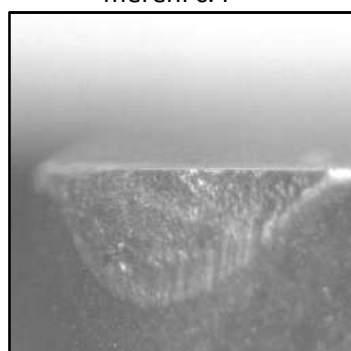
měření č.2



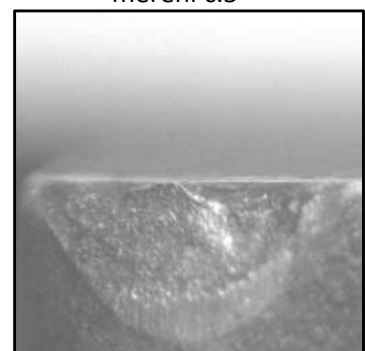
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - tabulka

měření č.1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.4
2080	9.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 9,5 min.

měření č.2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.35
2080	9.5	0.5
2600	11.8	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 11,8 min.

měření č.3		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.3
2080	9.5	0.4
2600	11.8	0.4
3120	14.2	0.6

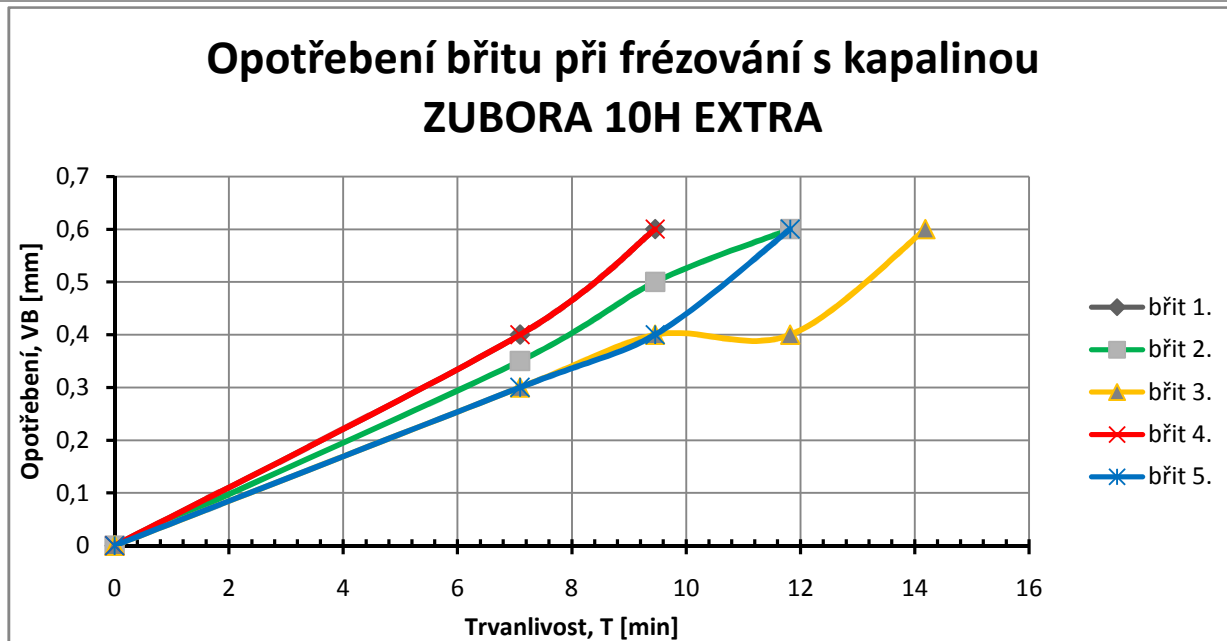
L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 14,2 min.

měření č.4		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.4
2080	9.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 9,5 min.

měření č.5		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.3
2080	9.5	0.4
2600	11.8	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 11,8 min.



Trvanlivost VBD

Střední hodnota trvanlivosti je **11,3 ± 2,8 min.**

Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje

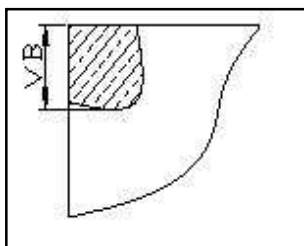
- procesní kapalina: ZUBORA 20 H EXTRA
 - obráběný materiál: ČSN 14220

datum měření: 15.10.14
 měření provedl: prof.Popov, Bc.Mlejnek

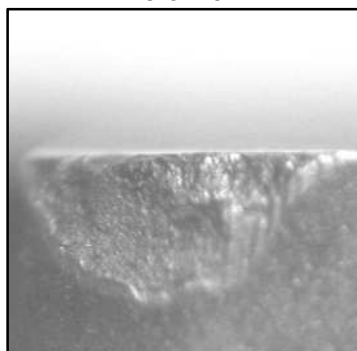
Podmínky měření

stroj:	FNG 32
nástroj:	čelní fréza NAREX 2460.12 D = 63mm, 1 VBD
druh a materiál VBD:	VBD PRAMET SNUN 120412; 8230
řezné podmínky:	$v_c = 435$ m/min, $n = 2200$ ot/min, $f_z = 0,1$ mm, $f_{min} = 220$ mm/min, $a_p = 1$ mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny:	5%
koeficient refrakce:	1.1
velkost na refraktometru:	4.5
kriterium opotřebení VBD:	0,6 mm

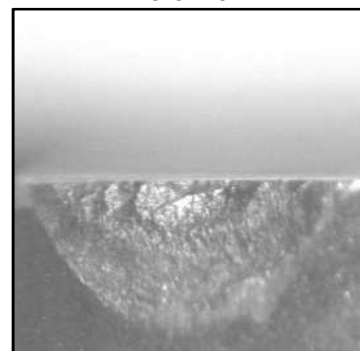
Schéma měření a fotografie opotřebené VBD



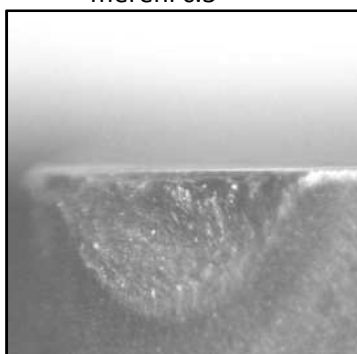
měření č.1



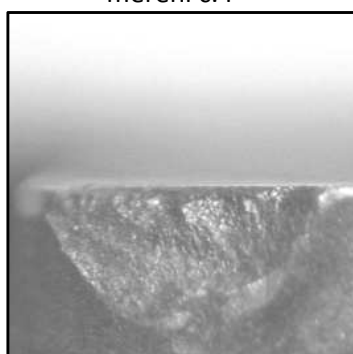
měření č.2



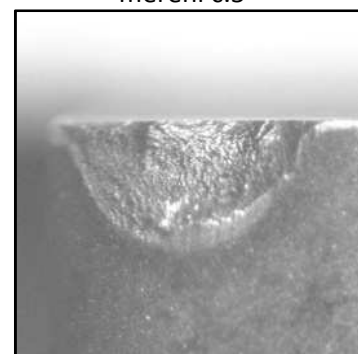
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - tabulka

měření č.1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.07
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.1
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.5
6760	30.7	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 30,7 min.

měření č.2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.05
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.15
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.3
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 35,5 min.

měření č.3		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.05
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.2
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.3
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.5
8320	37.8	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 37,8 min.

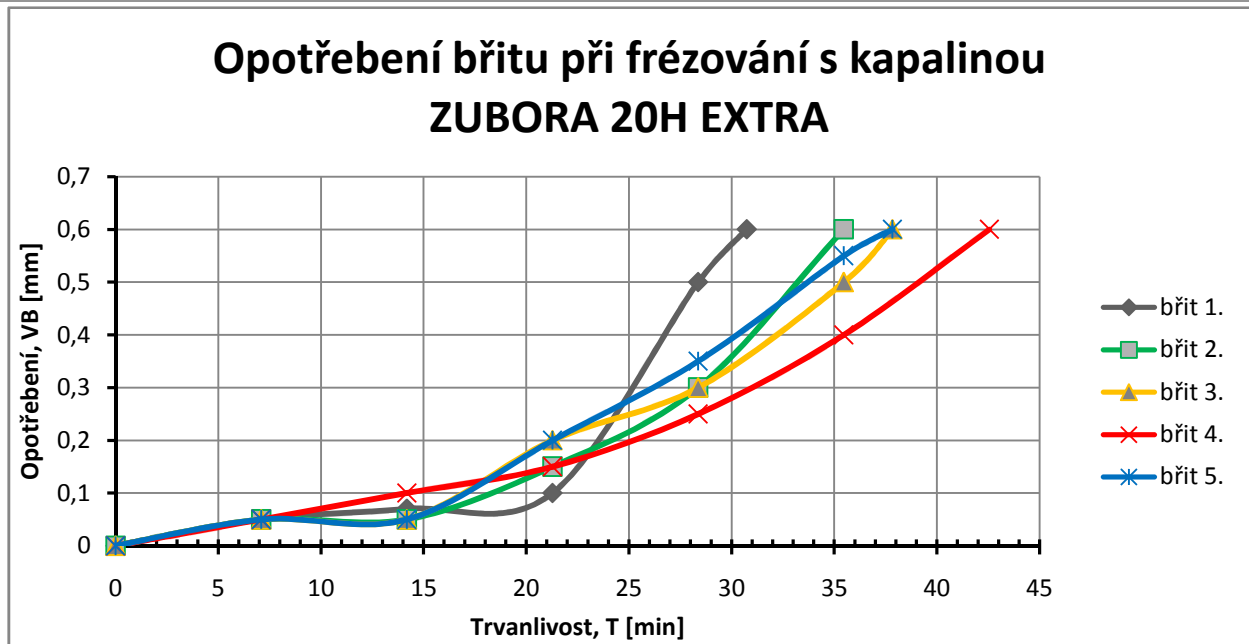
měření č.4		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.1
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.15
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.25
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.4
8320	37.8	
8840	40.2	
9360	42.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 42,5 min.

měření č.5		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.05
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.2
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.35
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.55
8320	37.8	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 37,8 min.

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední hodnota trvanlivosti je **36,9 ± 6 min.**

Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje

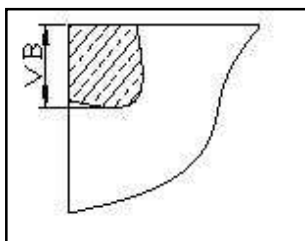
- procesní kapalina: ZUBORA 20 H ULTRA
 - obráběný materiál: ČSN 14220

datum měření: 15.10.14
 měření provedl: prof.Popov, Bc.Mlejnek

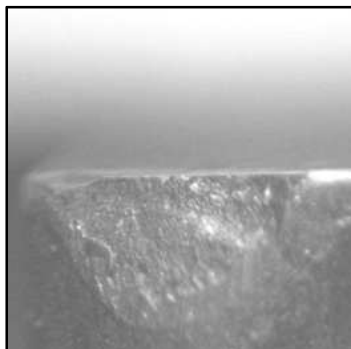
Podmínky měření

stroj:	FNG 32
nástroj:	čelní fréza NAREX 2460.12 D = 63mm, 1 VBD
druh a materiál VBD:	VBD PRAMET SNUN 120412; 8230
řezné podmínky:	$v_c = 435 \text{ m/min}$, $n = 2200 \text{ ot/min}$, $f_z = 0,1 \text{ mm}$, $f_{\text{min}} = 220 \text{ mm/min}$, $a_p = 1 \text{ mm}$
požadovaná koncentrace procesní kapaliny:	5%
koeficient refrakce:	1.1
velkost na refraktometru:	4.5
kriterium opotřebení VBD:	0,6 mm

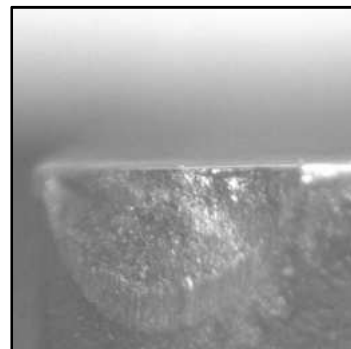
Schéma měření a fotografie opotřebené VBD



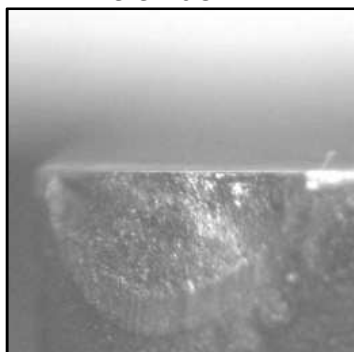
měření č.1



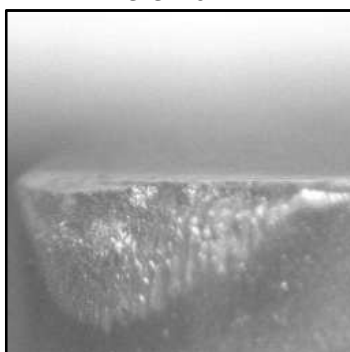
měření č.2



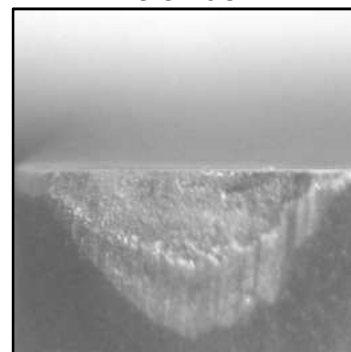
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - tabulka

měření č.1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.15
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.2
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.3
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 35,5 min.

měření č.2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.1
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.1
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.25
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.5
8320	37.8	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 37,8 min.

měření č.3		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.15
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.2
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.3
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 35,5 min.

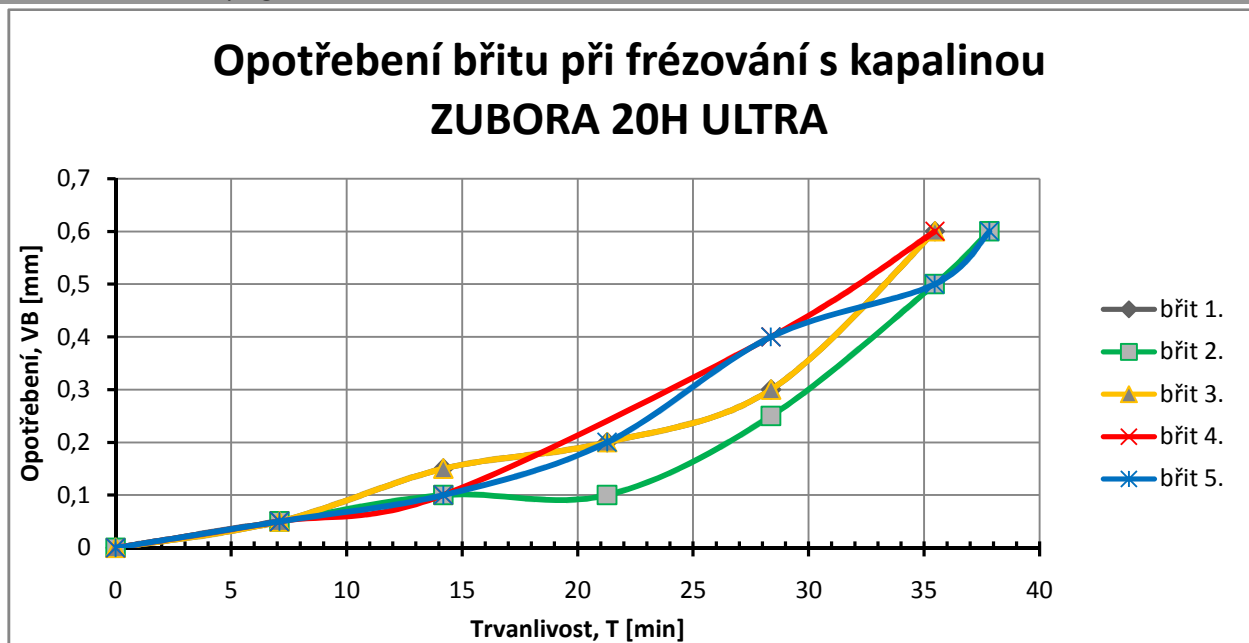
měření č.4		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.1
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.4
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 35,5 min.

měření č.5		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.1
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.2
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.4
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.5
8320	37.8	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 37,8 min.

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední hodnota trvanlivosti je **36,4 ± 1,8 min.**

Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje

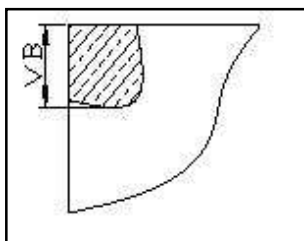
- procesní kapalina: ZUBORA 65 H EXTRA
 - obráběný materiál: ČSN 14220

datum měření: 15.10.14
 měření provedl: prof.Popov, Bc.Mlejnek

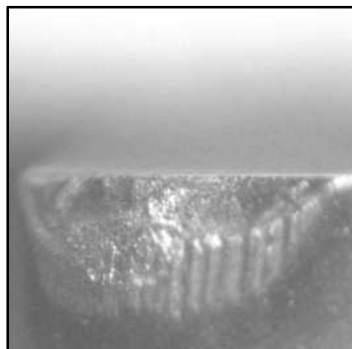
Podmínky měření

stroj:	FNG 32
nástroj:	čelní fréza NAREX 2460.12 D = 63mm, 1 VBD
druh a materiál VBD:	VBD PRAMET SNUN 120412; 8230
řezné podmínky:	$v_c = 435$ m/min, $n = 2200$ ot/min, $f_z = 0,1$ mm, $f_{min} = 220$ mm/min, $a_p = 1$ mm
požadovaná koncentrace procesní kapaliny:	5%
koeficient refrakce:	1.7
velkost na refraktometru:	2,9
kriterium opotřebení VBD:	0,6 mm

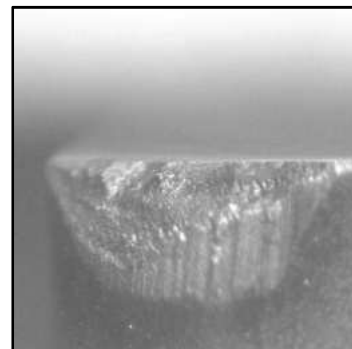
Schéma měření a fotografie opotřebené VBD



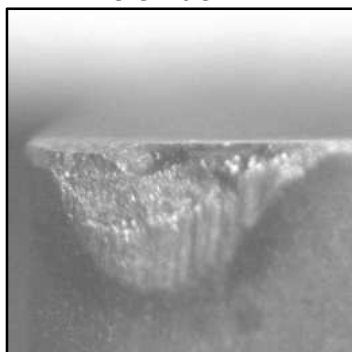
měření č.1



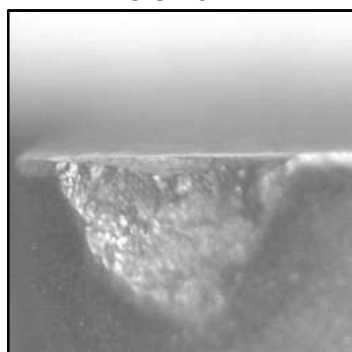
měření č.2



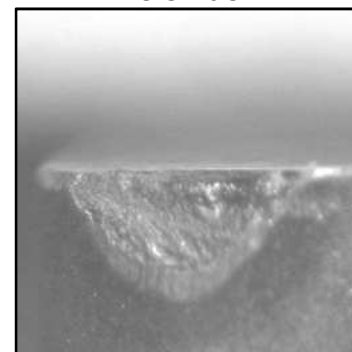
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - tabulka

měření č.1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.2
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.5
5200	23.6	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 23,6 min.

měření č.2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.1
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.15
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.2
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.25
6760	30.7	0.25
7280	33.1	0.25
7800	35.5	0.4
8320	37.8	0.4
8840	40.2	0.55
9360	42.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 42,5 min.

měření č.3		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.15
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.25
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.35
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 28,4 min.

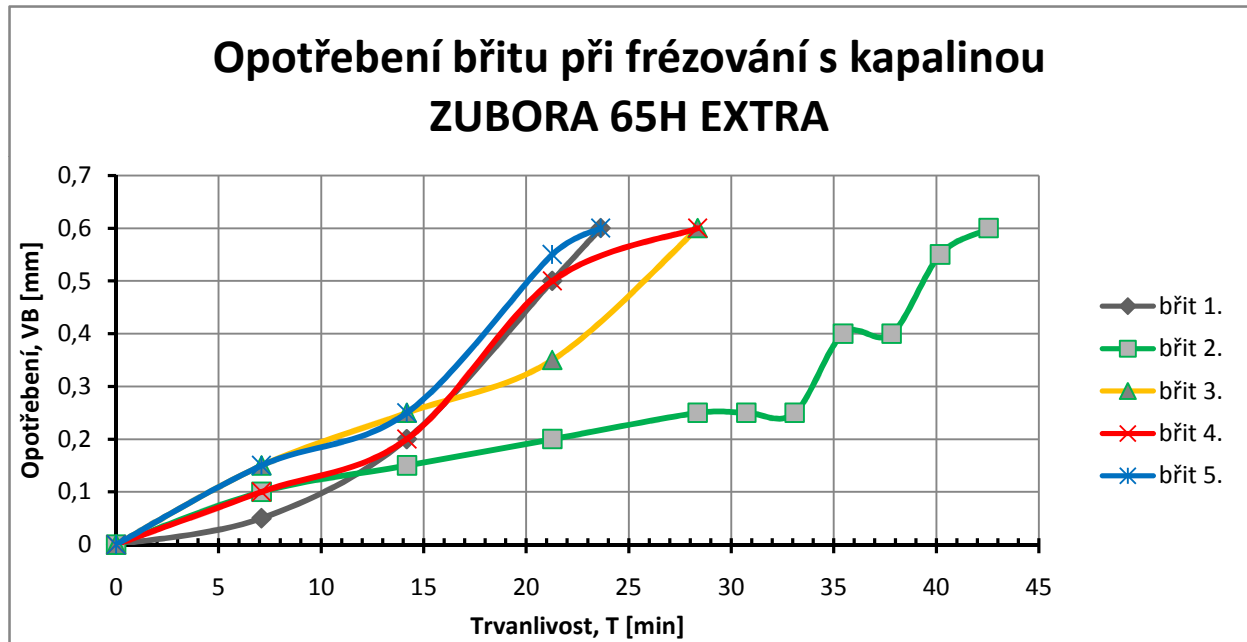
měření č.4		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.1
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.2
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.5
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 28,4 min.

měření č.5		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.15
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.25
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.55
5200	23.6	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 23,6 min.

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední hodnota trvanlivosti je **29,3 ± 10,8 min.**

Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje

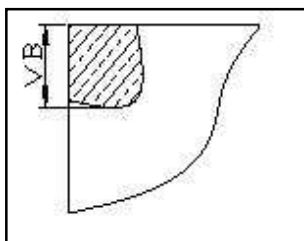
- procesní kapalina: ZUBORA 65 H ULTRA
 - obráběný materiál: ČSN 14220

datum měření: 15.10.14
 měření provedl: prof.Popov, Bc.Mlejnek

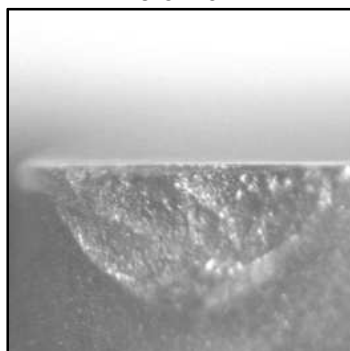
Podmínky měření

stroj:	FNG 32
nástroj:	čelní fréza NAREX 2460.12 D = 63mm, 1 VBD
druh a materiál VBD:	VBD PRAMET SNUN 120412; 8230
řezné podmínky:	$v_c = 435 \text{ m/min}$, $n = 2200 \text{ ot/min}$, $f_z = 0,1 \text{ mm}$, $f_{min} = 220 \text{ mm/min}$, $a_p = 1 \text{ mm}$
požadovaná koncentrace procesní kapaliny:	5%
koeficient refrakce:	1,2
velkost na refraktometru:	4,2
kriterium opotřebení VBD:	0,6 mm

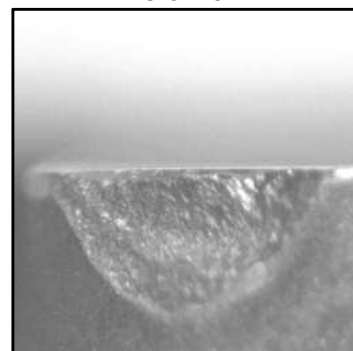
Schéma měření a fotografie opotřebené VBD



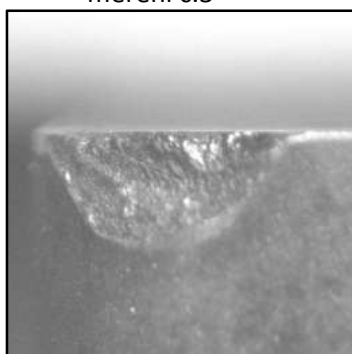
měření č.1



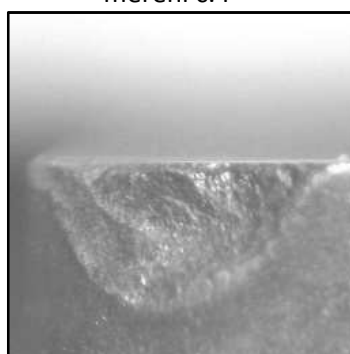
měření č.2



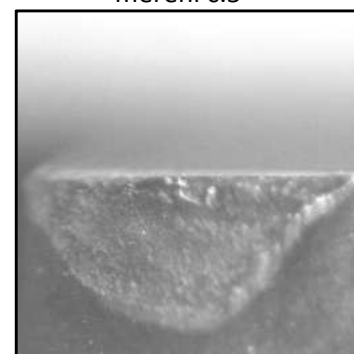
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - tabulka

měření č.1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.2
2080	9.5	0.3
2600	11.8	0.35
3120	14.2	0.4
3640	16.5	0.5
4160	18.9	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 18,9 min.

měření č.2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.3
2080	9.5	0.45
2600	11.8	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 11,8 min.

měření č.3		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.25
2080	9.5	0.35
2600	11.8	0.5
3120	14.2	0.6

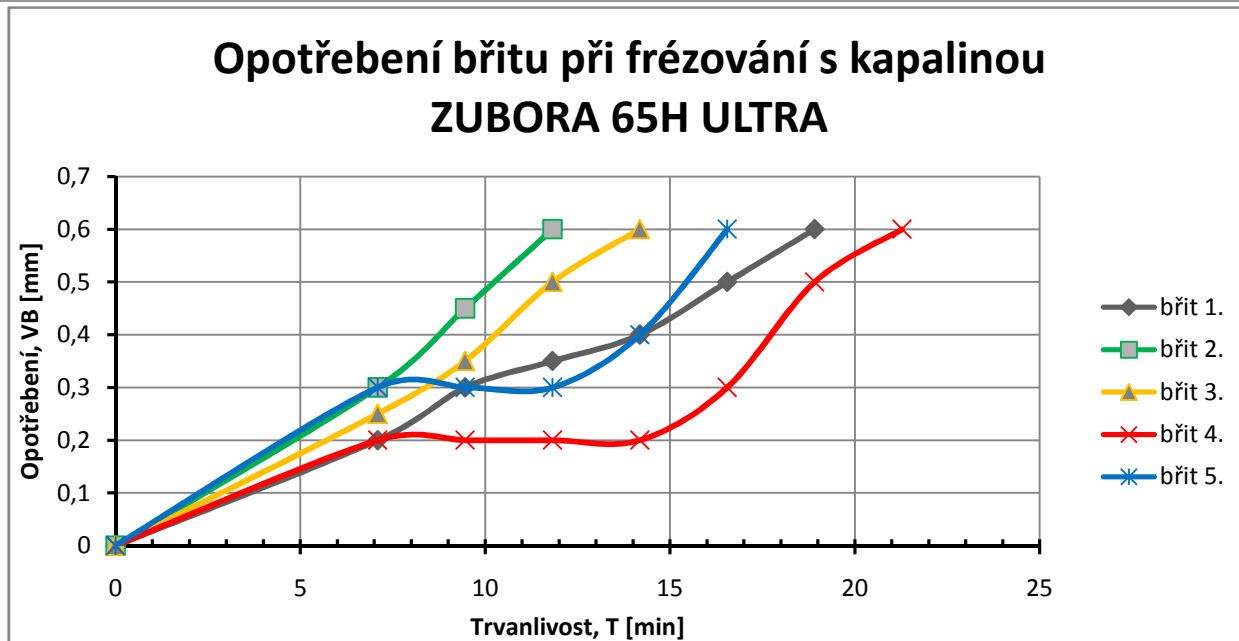
L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 14 min.

měření č.4		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.2
2080	9.5	0.2
2600	11.8	0.2
3120	14.2	0.2
3640	16.5	0.3
4160	18.9	0.5
4680	21.3	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 21,3 min.

měření č.5		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.3
2080	9.5	0.3
2600	11.8	0.3
3120	14.2	0.4
3640	16.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 16,5 min.



Trvanlivost VBD

Střední hodnota trvanlivosti je $16,5 \pm 5,3$ min.

Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje

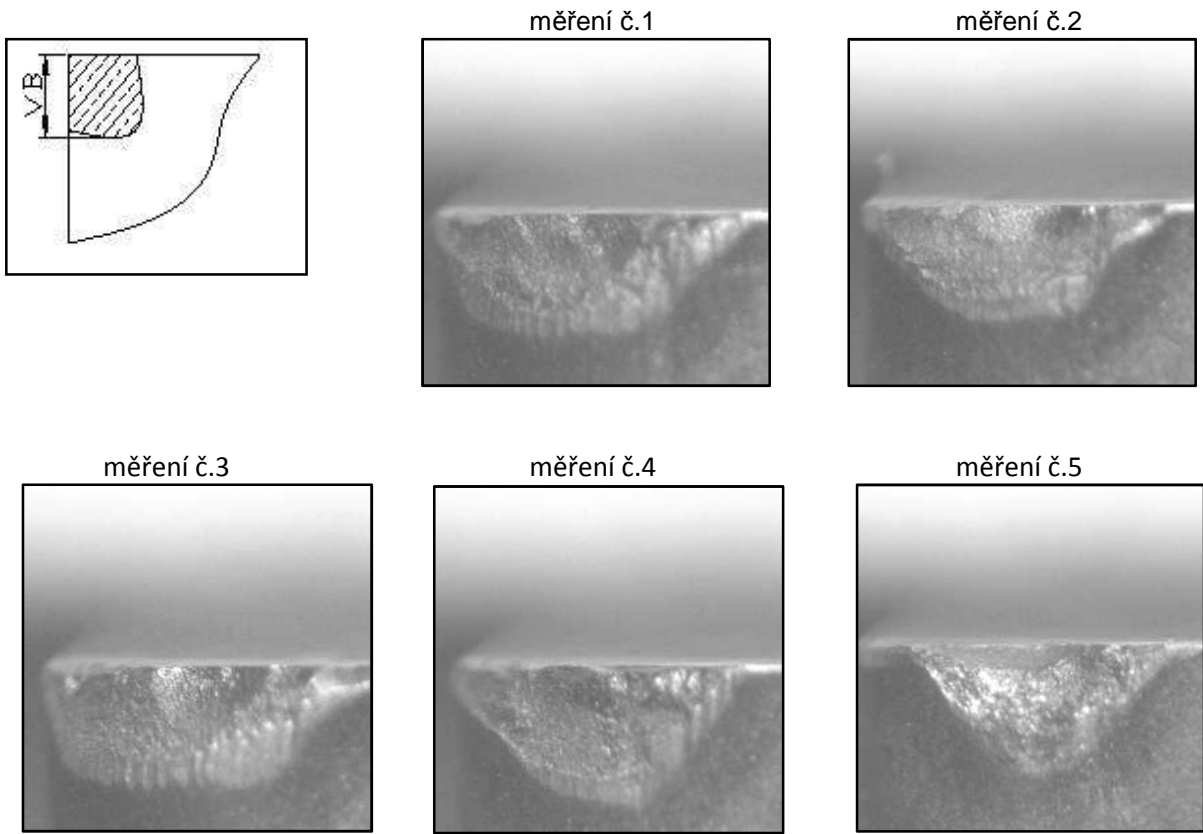
- procesní kapalina: ZUBORA 65 H PLUS
- obráběný materiál: ČSN 14220

datum měření: 15.10.14
 měření provedl: prof.Popov, Bc.Mlejnek

Podmínky měření

stroj:	FNG 32
nástroj:	čelní fréza NAREX 2460.12 D = 63mm, 1 VBD
druh a materiál VBD:	VBD PRAMET SNUN 120412; 8230
řezné podmínky:	$v_c = 435 \text{ m/min}$, $n = 2200 \text{ ot/min}$, $f_z = 0,1 \text{ mm}$, $f_{\text{min}} = 220 \text{ mm/min}$, $a_p = 1 \text{ mm}$
požadovaná koncentrace procesní kapaliny:	5%
koeficient refrakce:	1.7
velkost na refraktometru:	2,9
kriterium opotřebení VBD:	0,6 mm

Schéma měření a fotografie opotřebené VBD



Naměřené hodnoty - tabulka

měření č.1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.1
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.2
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.2
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.3
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.3
8320	37.8	
8840	40.2	
9360	42.5	0.4
9880	44.9	
10400	47.3	
10920	49.6	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 49,6 min.

měření č.2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.3
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.5
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 35,5 min.

měření č.3		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.05
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.2
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.2
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.25
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.5
8320	37.8	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 37,8 min.

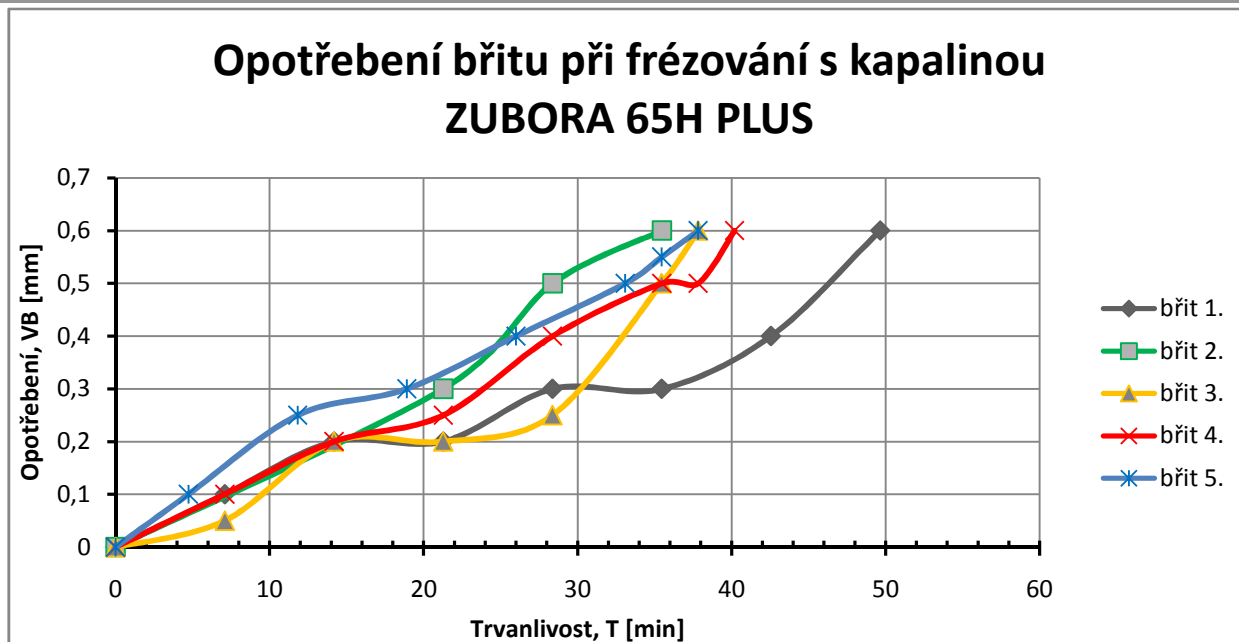
měření č.4		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.1
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.2
3640	16.5	
4160	18.9	
4680	21.3	0.25
5200	23.6	
5720	26.0	
6240	28.4	0.4
6760	30.7	
7280	33.1	
7800	35.5	0.5
8320	37.8	0.5
8840	40.2	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 40,2 min.

měření č.5		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	2.4	
1560	4.7	0.1
2080	7.1	
2600	9.5	
3120	11.8	0.25
3640	14.2	
4160	16.5	
4680	18.9	0.3
5200	21.3	
5720	23.6	
6240	26.0	0.4
6760	28.4	
7280	30.7	
7800	33.1	0.5
8320	35.5	0.55
8840	37.8	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 40,2 min.

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední hodnota trvanlivosti je $40,6 \pm 7,5$ min.

Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje

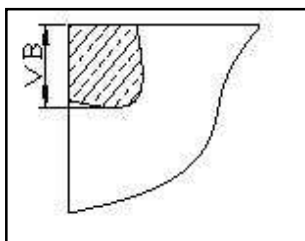
- procesní kapalina: ZUBORA UNIVERSAL
 - obráběný materiál: ČSN 14220

datum měření: 15.10.14
 měření provedl: prof.Popov, Bc.Mlejnek

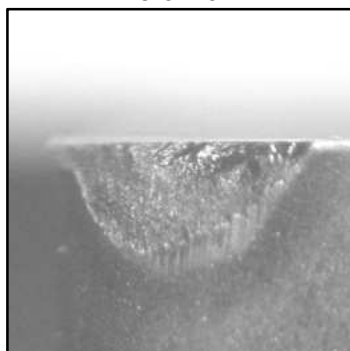
Podmínky měření

stroj:	FNG 32
nástroj:	čelní fréza NAREX 2460.12 D = 63mm, 1 VBD
druh a materiál VBD:	VBD PRAMET SNUN 120412; 8230
řezné podmínky:	$v_c = 435 \text{ m/min}$, $n = 2200 \text{ ot/min}$, $f_z = 0,1 \text{ mm}$, $f_{\text{min}} = 220 \text{ mm/min}$, $a_p = 1 \text{ mm}$
požadovaná koncentrace procesní kapaliny:	5%
koeficient refrakce:	1.1
velkost na refraktometru:	4.5
kriterium opotřebení VBD:	0,6 mm

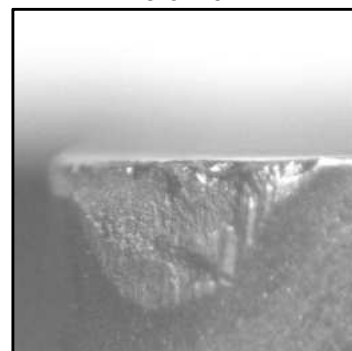
Schéma měření a fotografie opotřeбенé VBD



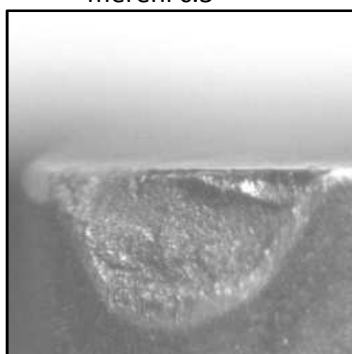
měření č.1



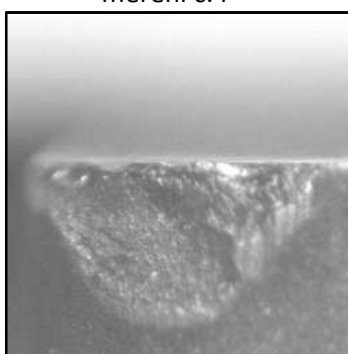
měření č.2



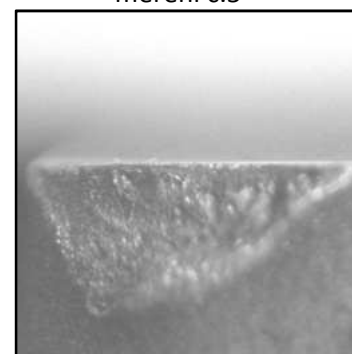
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - tabulka

měření č.1		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.1
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.25
3640	16.5	0.35
4160	18.9	0.4
4680	21.3	0.45
5200	23.6	0.5
5720	26.0	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 26 min.

měření č.2		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.1
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.2
3640	16.5	
4160	18.9	0.3
4680	21.3	0.5
5200	23.6	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 23,6 min.

měření č.3		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.15
2080	9.5	
2600	11.8	
3120	14.2	0.3
3640	16.5	
4160	18.9	0.4
4680	21.3	0.5
5200	23.6	0.6

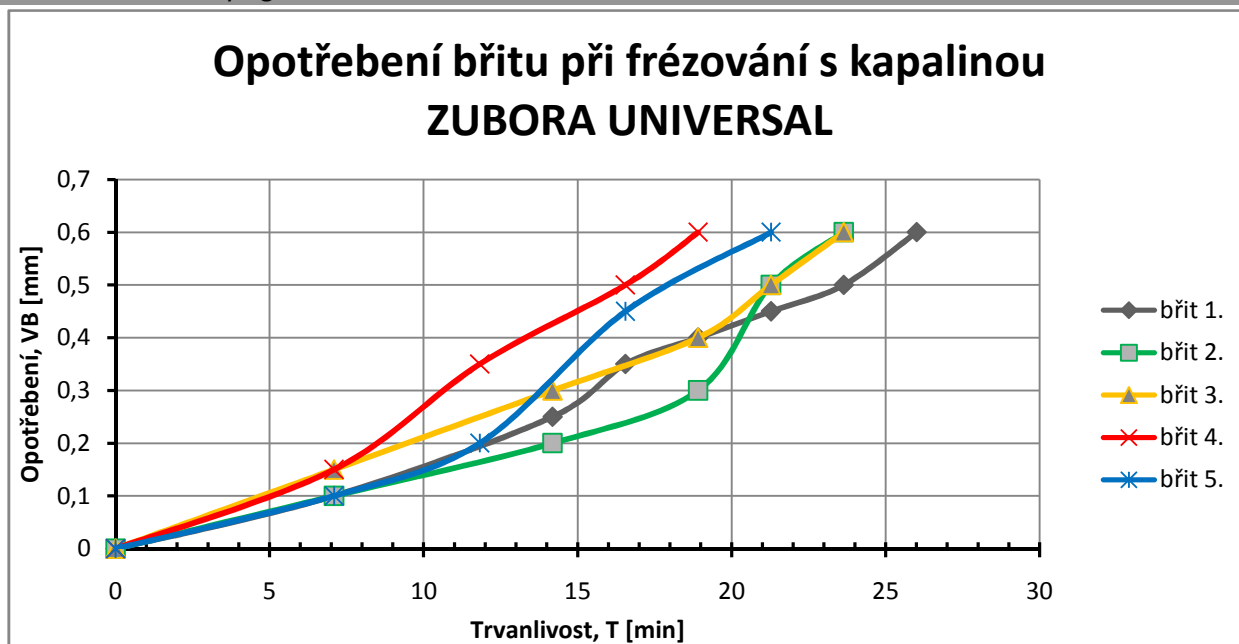
L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 23,6 min.

měření č.4		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.15
2080	9.5	
2600	11.8	0.35
3120	14.2	
3640	16.5	0.5
4160	18.9	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 18,9 min.

měření č.5		
L [mm]	T [min]	VB [mm]
0	0	0
520	2.4	
1040	4.7	
1560	7.1	0.1
2080	9.5	
2600	11.8	0.2
3120	14.2	
3640	16.5	0.45
4160	18.9	
4680	21.3	0.6

L dráha nástroje do místa měření
Zjištěna trvanlivost 21,3 min.



Trvanlivost VBD

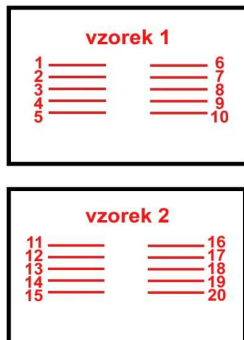
Střední hodnota trvanlivosti je $22,7 \pm 3,7$ min.

Vliv procesních kapalin od firmy Zeller+Gmelin GmbH & Co. KG na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při čelním frézování konstrukční oceli

Měření drsnosti povrchu obrobku

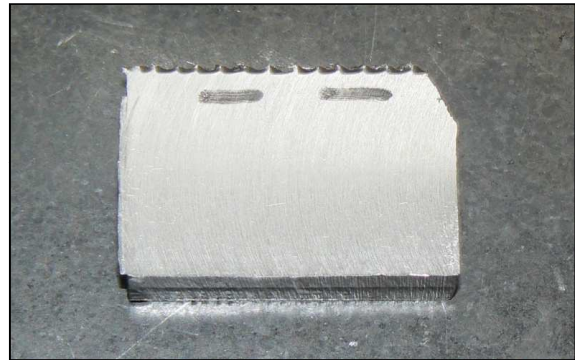
- obráběný materiál:	14 220.3	datum měření:	22.4.2015
- obráběcí stroj:	frézka FNG 32	měření provedl:	M.Mlejnek
- nástroj:	čelní fréza NAREX 2460.12 D = 63mm; 1 VBD		
- druh a materiál VBD:	VBD PRAMET SNUN 120412; 8230		
- řezné podmínky:	$v_c = 60$ m/min; $n = 300$ ot/min; $f_z = 0,1$ mm; $f_{min} = 30$ mm/min; $a_p = 1$ mm		
- procesní kapalina:	1. ZUBORA 10 H EXTRA 2. ZUBORA 20 H EXTRA 3. ZUBORA 20 H ULTRA 4. ZUBORA 65 H EXTRA 5. ZUBORA 65 H ULTRA 6. ZUBORA 65 H PLUS 7. ZUBORA UNIVERSAL		

Místa měření



- schématické znázornění měřených míst

Fotografie vzorku



- označení jednotlivých měřených úseků na obrobené ploše

Podmínky měření

Měření bylo provedeno dotykovou metodou pomocí přístroje Mitutoyo Surftest SV-2000.
Použité příslušenství: dotek č. 12AAB403 - standardní dotek (rádius 5 μ m, vrcholový úhel 90°)

Naměřené a vypočítané hodnoty parametrů drsnosti povrchu - tabulka

Zubora 20H ULTRA																						
číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	průměr (+,-)	
Ra [μm]	0.759	0.895	0.749	0.758	0.854	0.852	0.803	0.757	0.808	0.791	0.900	0.809	0.883	0.981	0.879	0.782	0.840	0.953	0.798	0.797	0.83	0.03
Rz [μm]	7.293	6.422	6.077	5.883	5.275	5.423	5.422	5.424	6.106	5.876	7.352	6.338	9.633	7.355	5.927	5.534	6.154	6.404	7.772	6.203	6.39	0.50
C _{TP50} [μm]	2.862	2.965	2.975	3.337	2.991	2.761	2.371	2.632	2.830	2.850	2.556	3.000	4.759	2.521	2.456	2.860	3.101	2.960	2.760	2.581	2.91	0.24

Zubora 65H EXTRA																						
číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	průměr (+,-)	
Ra [μm]	0.702	0.675	0.710	0.659	0.664	0.591	0.592	0.587	0.690	0.617	0.838	0.785	0.820	0.747	0.750	0.788	0.790	0.767	0.784	0.851	0.72	0.04
Rz [μm]	5.587	5.987	5.920	5.495	5.759	5.713	4.272	4.829	5.176	5.199	5.982	5.255	6.002	5.857	4.969	5.939	6.407	5.636	5.516	6.145	5.58	0.24
C _{TP50} [μm]	2.539	2.933	2.349	2.753	2.807	2.406	2.304	2.455	2.040	2.410	2.278	2.117	3.005	2.557	2.900	3.225	2.978	2.787	2.973	2.960	2.64	0.16

Zubora 10H EXTRA																						
číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	průměr (+,-)	
Ra [μm]	0.816	0.922	0.952	0.893	0.856	1.028	1.032	0.957	0.920	0.875	0.451	0.434	0.432	0.436	0.681	0.431	0.475	0.418	0.516	0.440	0.70	0.12
Rz [μm]	5.850	6.161	6.217	5.944	6.101	7.206	7.808	7.166	7.704	6.396	4.650	3.940	3.430	3.393	5.268	3.337	4.397	3.036	4.869	4.085	5.35	0.73
C _{TP50} [μm]	3.350	2.987	2.987	2.738	2.729	3.187	2.924	3.206	3.009	3.658	3.160	1.806	1.668	1.626	3.030	1.453	2.606	1.532	2.341	1.230	2.56	0.35

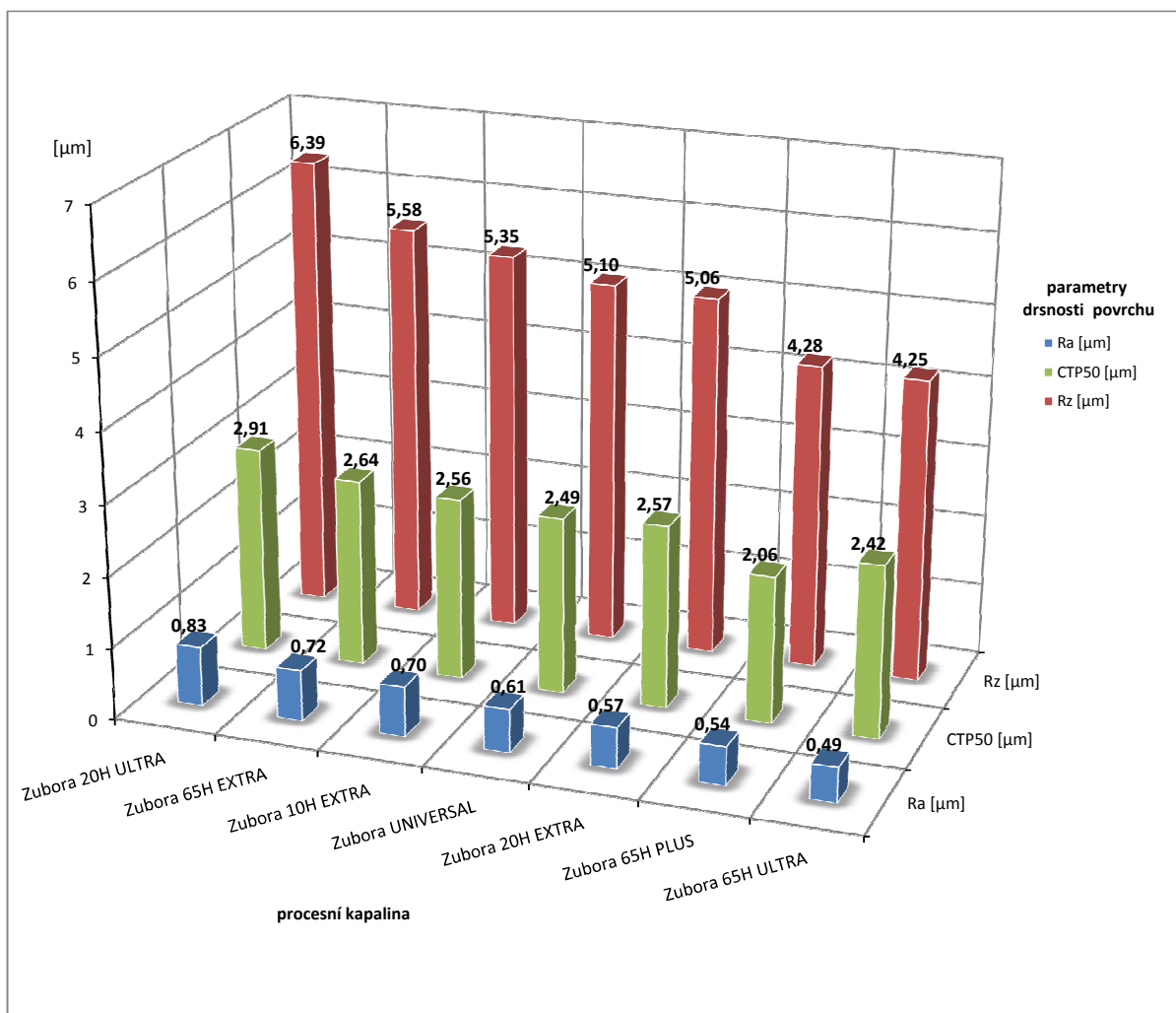
Zubora UNIVERSAL																						
číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	průměr (+,-)	
Ra [μm]	0.613	0.636	0.677	0.677	0.720	0.669	0.659	0.730	0.646	0.766	0.485	0.525	0.632	0.418	0.535	0.540	0.594	0.569	0.537	0.529	0.61	0.04
Rz [μm]	5.215	5.098	4.909	5.048	5.977	7.975	4.832	7.086	4.562	6.080	4.206	5.075	4.634	4.516	3.927	4.493	4.936	4.203	4.548	4.692	5.10	0.48
CTP50 [μm]	3.123	2.805	2.270	2.469	2.364	2.474	2.428	4.022	2.152	2.424	1.994	2.273	2.274	3.658	1.924	2.185	2.595	2.199	2.239	1.855	2.49	0.26

Zubora 20H EXTRA																						
číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	průměr (+,-)	
Ra [μm]	0.648	0.597	0.595	0.672	0.604	0.591	0.505	0.564	0.668	0.537	0.518	0.573	0.477	0.510	0.507	0.595	0.519	0.566	0.657	0.595	0.57	0.03
Rz [μm]	3.864	3.672	6.866	6.497	4.355	4.818	4.532	3.859	6.226	4.571	3.982	4.285	4.116	7.040	3.468	5.596	4.800	4.428	8.712	5.596	5.06	0.66
CTP50 [μm]	2.047	2.962	4.460	2.023	2.511	2.361	3.313	1.987	2.369	1.681	1.638	5.570	1.930	2.062	1.995	2.455	3.180	1.822	2.351	2.671	2.57	0.47

Zubora 65H PLUS																						
číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	průměr (+,-)	
Ra [μm]	0.585	0.557	0.426	0.444	0.371	0.421	0.512	0.424	0.442	0.424	0.581	0.600	0.636	0.568	0.733	0.635	0.602	0.580	0.687	0.568	0.54	0.05
Rz [μm]	3.914	3.816	3.534	3.630	3.259	3.997	4.232	3.986	3.465	3.493	4.502	4.416	5.266	4.559	5.154	5.151	4.648	4.485	5.002	5.152	4.28	0.31
CTP50 [μm]	1.626	2.254	1.914	2.055	2.040	1.466	1.877	1.557	1.888	1.210	2.378	2.509	2.770	2.155	1.845	2.235	2.747	1.909	2.450	2.398	2.06	0.20

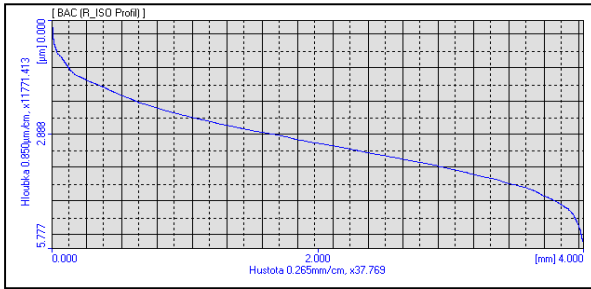
Zubora 65H ULTRA																						
číslo měření	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	průměr (+,-)	
Ra [μm]	0.448	0.612	0.508	0.587	0.489	0.372	0.484	0.467	0.550	0.524	0.548	0.512	0.537	0.459	0.455	0.473	0.445	0.385	0.374	0.486	0.49	0.03
Rz [μm]	3.741	4.325	4.471	4.675	4.846	3.393	4.070	3.360	3.870	3.794	4.037	3.603	4.019	3.467	3.337	9.962	6.705	2.830	2.819	3.761	4.25	0.76
CTP50 [μm]	2.882	2.259	1.874	2.232	1.902	1.864	1.891	1.404	1.994	1.377	7.535	1.648	1.864	1.700	1.825	1.752	1.356	1.347	4.877	4.777	2.42	0.75

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu - graf

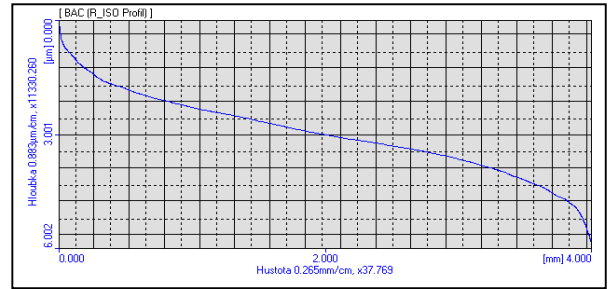


Křivky materiálového podílu

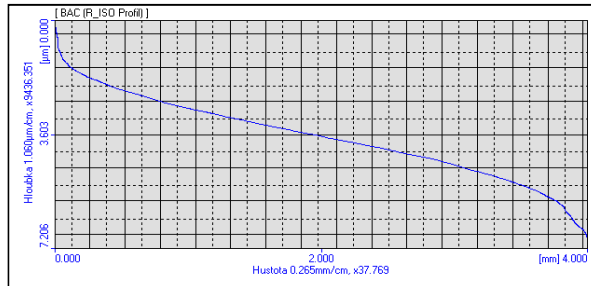
Zubora 20H ULTRA



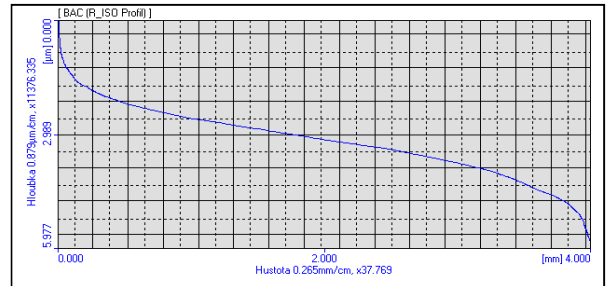
Zubora 65H EXTRA



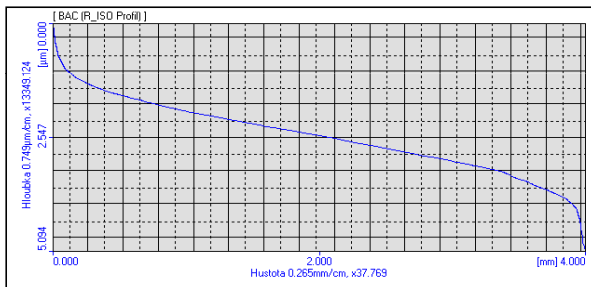
Zubora 10H EXTRA



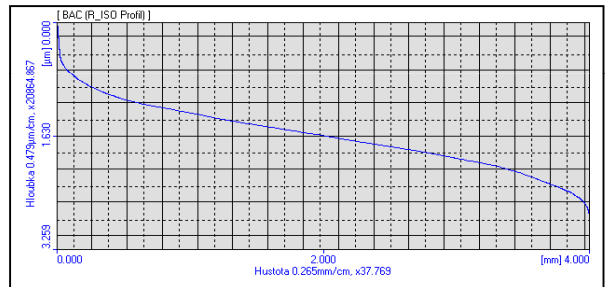
Zubora UNIVERSAL



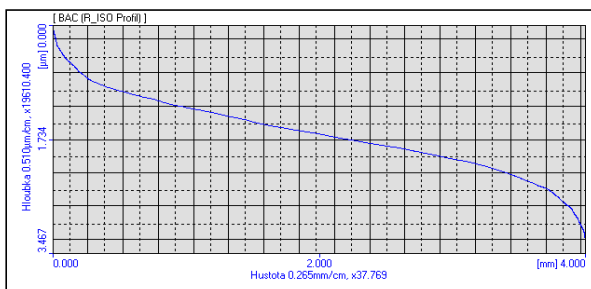
Zubora 20H EXTRA



Zubora 65H PLUS



Zubora 65H ULTRA



VYMĚNITELNÉ BŘITOVÉ DESTIČKY VYMĚNITELNÉ REZNÉ DOŠTIČKY										
	Velikost	l	d	s	m	r _e				
	1204	12,700	12,700	4,76	2,30	0,8				
	1504	15,875	15,875	4,76	2,80	1,2				
Utvařec Utvařac	ISO	ANSI	Materiály		Rádus	Posuv na zub	Hloubka řezu Hĺbka rezu			
			8016	8230	526	r _e	f _{min}	f _{max}	a _{p min}	a _{p max}
	SNUN 120408	SNUN 432	●			0,8	0,10	0,40	0,30	9,00
	SNUN 120412	SNUN 433	●	●		1,2	0,10	0,40	0,30	9,00
	SNUN 150412	SNUN 533	●	●		1,2	0,10	0,40	0,30	13,50

● skladovaný ○ neskladovaný všechny rozměry v / všetky rozmery v [mm]

pomenie poznámka	foto	Skupina obr. materiálu						Funkční diagram / Funkčný diagram	popis
		typ řez.	P	M	K	N	H		
	 Profili hlavního břitu Profili hlavního ostria zaoblené břity zaoblené rezní hrany	Lehké Lehké							Použito u VBD / Použitá při VRD: SNUN 120408, SNUN 120412 SNUN 150412 - standardní negativní řezná geometrie - prioritné jsou tyto VBD určené pro soustružení - vhodná pro obrábění materiálů skupin K a H, dále použitelná pro materiály skupiny P - pro frézky s úhlem nastavení 75° - pro velikost 12 jsou k dispozici rádiusy 0,8 a 1,2 - standardná negativní rezná geometrie - prioritne sú tieto VRD určené pre sústruženie - vhodná pre obrábění materiálů skupin K a H, použitelná aj pro materiály skupiny P - pre frézky s úhlem nastavení 75° - pre veľkosť 12 sú k dispozícii rádiusy 0,8 a 1,2 Rozsah řezných podmínek / Rozsah rezných podmienok:
								f _z (0,10) ÷ 0,40 [mm.zub ⁻¹] a _p 0,5 ÷ (9,0) 13,5 [mm]	

POVLAKOVANÉ MATERIÁLY PRO FRÉZOVÁNÍ - ŘADA 8200
POVLAKOVANÉ MATERIÁLY PRE FRÉZOVANIE - RADA 8200

Označení materiálu a mikrostruktura Označenie materiálu a mikroštruktúra	Aplikační oblasti Aplikačné oblasti	Skupina obráběných materiálů Skupina obráběných materiálů	Popis materiálu a doporučené užití Popis materiálu a doporučené použitie
8230 	10 20 30 40 	P M K N S H 	- vysoce univerzální řezný materiál - submikonový substrát typu H - nanostrukturní tenký povlak nanosený metodou PVD s vysokým obsahem Al - kombinuje dobrou oteruvzdornost spolu s dobrou provozní spolehlivostí - využitelný pro všechny skupiny obráběných materiálů - střední řezné rychlosti - i pro nestabilní záběrové podmínky - vysoko univerzálny rezný materiál - submikonový substrát typu H - nanoštruktúrnny tenký povlak nanosený metódou PVD s vysokým obsahom Al - kombinuje dobrú oteruvzdornosť spolu s dobrou reznou spoľahlivosťou - využiteľný pre všetky skupiny obráběných materiálů - středné rezné rychlosti - i pre nestabilné záběrové podmínky

Přehled vlastností oceli 16MnCr5 (16MnCrS5)									1.7131 (1.7139)																																																																																																																						
Druh oceli	Nizkolegovaná ušlechtilá mangan-chromová ocel k cementování																																																																																																																														
TDP	ČSN EN 10084																																																																																																																														
Dřívější označení	16MnCr5 (16MnCrS5) podle DIN 17210, 14 220 podle ČSN																																																																																																																														
Charakteristika	Nejčastěji používaná cementační ocel pro středně namáhané díly strojů a motorových vozidel. Prokaluje do hloubky ca 30 mm. Ve stavu kaleném a popuštěném je použitelná pro průměry do ca 35 mm. Je svařitelná a vhodně tepelně zpracovaná též dobře tvářitelná za studena. Přísadou bору (0,0008 až 0,0050%) se docílí zvýšené houževnatosti cementované vrstvy.																																																																																																																														
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S ¹⁾ max.	Cr	Mo	Ni	Al																																																																																																																						
	0,14-0,19	0,40	1,00 – 1,30	0,035	0,035	0,80 – 1,10	-	-	Při kontrolované velikosti austenitického zrna 0,015-0,050 (informativně; není uvedeno v normě).																																																																																																																						
Dovolené odchylky od složení tavby ve výrobku ⁴⁾	± 0,02	+ 0,03	± 0,04	+ 0,005	+ 0,005	± 0,05	-	-																																																																																																																							
Mechanické vlastnosti v jádře referenčního vzorku po kalení a popuštění při 150-200 °C (uvedené hodnoty nejsou součástí EN 10084) ²⁾	Průměr v mm	Re min. MPa			Rm MPa		A min %	Z min %	KCU min. J.cm ⁻²																																																																																																																						
	d ≤ 11	735			1030 – 1375		8	-	25																																																																																																																						
	11 < d ≤ 25	540			785 – 1080		9	-	30																																																																																																																						
	25 < d ≤ 40	490			685 - 930		10	-	30																																																																																																																						
Hodnoty tvrdosti HB pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost (S)			Žiháno na měkko (A)			Zpracováno na rozmezí tvrdosti (TH)		Zpracováno na fenticko-perlitickou strukturu (FP)																																																																																																																						
	max. 255			max. 207			156 - 207		140 - 187																																																																																																																						
	Stav po válcování			Stav po normalizaci			Žiháno na globulární cementit (vhodně pro tvárění za studena)																																																																																																																								
	ca 250 ⁵⁾			ca 220 ⁵⁾			max. 178 ⁵⁾																																																																																																																								
Prokalitelnost	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Druh</th> <th rowspan="2">Meze</th> <th colspan="12">Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm</th> </tr> <tr> <th colspan="12">Tvrdost v HRC</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">H</td> <td>max.</td> <td>47</td><td>46</td><td>44</td><td>41</td><td>39</td><td>37</td><td>35</td><td>33</td><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td> </tr> <tr> <td>min.</td> <td>39</td><td>36</td><td>31</td><td>28</td><td>24</td><td>21</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">HH</td> <td>max.</td> <td>47</td><td>46</td><td>44</td><td>41</td><td>39</td><td>37</td><td>35</td><td>33</td><td>31</td><td>30</td><td>29</td><td>28</td><td>27</td> </tr> <tr> <td>min.</td> <td>42</td><td>39</td><td>35</td><td>32</td><td>29</td><td>26</td><td>24</td><td>22</td><td>20</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">HL</td> <td>max.</td> <td>44</td><td>43</td><td>40</td><td>37</td><td>34</td><td>32</td><td>30</td><td>28</td><td>26</td><td>25</td><td>24</td><td>23</td><td>22</td> </tr> <tr> <td>min.</td> <td>39</td><td>36</td><td>31</td><td>28</td><td>24</td><td>21</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td> </tr> </thead> </table>														Druh	Meze	Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm												Tvrdost v HRC												H	max.	47	46	44	41	39	37	35	33	31	30	29	28	27	min.	39	36	31	28	24	21	-	-	-	-	-	-	-	HH	max.	47	46	44	41	39	37	35	33	31	30	29	28	27	min.	42	39	35	32	29	26	24	22	20	-	-	-	-	HL	max.	44	43	40	37	34	32	30	28	26	25	24	23	22	min.	39	36	31	28	24	21	-	-	-	-	-	-	-
Druh	Meze	Vzdálenost od plochy kaleného čela v mm																																																																																																																													
		Tvrdost v HRC																																																																																																																													
H	max.	47	46	44	41	39	37	35	33	31	30	29	28	27																																																																																																																	
	min.	39	36	31	28	24	21	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																	
HH	max.	47	46	44	41	39	37	35	33	31	30	29	28	27																																																																																																																	
	min.	42	39	35	32	29	26	24	22	20	-	-	-	-																																																																																																																	
HL	max.	44	43	40	37	34	32	30	28	26	25	24	23	22																																																																																																																	
	min.	39	36	31	28	24	21	-	-	-	-	-	-	-																																																																																																																	
Pásky prokalitelnosti																																																																																																																															
Popouštěcí křivka (referenční vzorek pr. 10 mm)																																																																																																																															
Technologické vlastnosti																																																																																																																															
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tvárění za tepla : 1100 až 900 °C																																																																																																																														
Tepelné zpracování	Normalizační žihání °C	Žihání na měkko °C	Isotermické žihání	Teplota cementace °C ^{a)}	Teplota kalení na jádro °C ^{b)}	Teplota kalení na povrch °C ^{b)}	Teplota popouštění °C ^{c)}	Teplota kalení pro Jominyho zkoušku °C																																																																																																																							
	880	650 až 700	850 až 950 650 1 hod.	880 až 980	860 – 900 olej, (voda)	780 až 820 olej, (voda)	150 až 200	870 (prodleva ca 0,5 h)																																																																																																																							
Uvedené podmínky jsou doporučené. a) při jednoduchém kalení se ocel kalí z teploty cementace nebo nižší (závisí na tvaru výrobku) b) druh ochlazovacího prostředku závisí na př. na tvaru výrobku a na podmínkách ochlazování. c) doba popouštění minimálně 1 hod.																																																																																																																															
Obrobitelnost	Pro dobrou obrobitelnost je výhodný stav FP. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 16MnCrS5 se zvýšeným obsahem S.																																																																																																																														
Stříhatelnost	Ocel 16MnCr5 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování.																																																																																																																														
¹⁾ Obsah síry u oceli 16MnCrS5 je 0,020 až 0,040% s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %. ²⁾ Prokazují se na referenčním vzorku uvedených průměrů. Slouží k průkazu dosažitelnosti mechanických hodnot v jádře po kalení a popuštění. Údaje jsou převzaty z literatury. Re – mez kluzu, Rm – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční měřená délka Lo = 5,65√So), Z – kontrakce, KCU – nárazová práce, zkušební těleso s U – vrubem (průměr ze tří zjištěných hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% střední hodnoty). ³⁾ pro ocel objednanou bez požadavku na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní. ⁴⁾ ± znamená, že u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí rozboru tavby, ale nikoli obě současně. ⁵⁾ Uvedené údaje jsou informativní a nejsou součástí EN 10084																																																																																																																															