



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# TESTOVÁNÍ ŘEZIVOSTI NOVÝCH DRUHŮ VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH DESTIČEK

ON THE TESTING OF NEW CUTTING INSERTS PERFORMANCE

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Kašpar

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2022

## Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. David Kašpar**  
Studijní program: Strojírenská technologie  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.**  
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### Testování řezivosti nových druhů vyměnitelných břitových destiček

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor stávající technologie podélného soustružení a loupání ocelových tyčí. Analýza vyměnitelných břitových destiček pro tuto aplikaci. Popis inovovaných břitových destiček. Experimentální testy, jejich vyhodnocení.

#### Cíle diplomové práce:

Rozbor stávající technologie podélného soustružení a loupání ocelových tyčí (průřez třísky, silové zatížení).

Analýza vyměnitelných břitových destiček pro tuto aplikaci, jejich opotřebení.

Popis inovovaných břitových destiček.

Experimentální testy nových břitových destiček, jejich vyhodnocení.

#### Seznam doporučené literatury:

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Praha. MM publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.

PÍŠKA, M. a kol. Speciální technologie obrábění. Učební text pro FSI, ISBN 978-80-214-4025-8, CERM, Brno, 2009, s. 248.

SCHRADER, G. F., ELSHENNAWY, A. K., DOYLE, L. E. Manufacturing processes and materials. [cit. 15. 10 2021]. Dostupné na World WideWeb:

<http://books.google.cz/books?id=Nz2wXvmkAF0C&pg=PT214&dq=metal+casting+materials+isbn&hl=cs&ei=bnLJT>

SKORDARIS, G. et al. Effect of PVD film's residual stresses on their mechanical properties, brittleness, adhesion and cutting performance of coated tools. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 18 (2017), pp. 145–151.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá obráběcí metodou loupání tyčí, používanou pro odstranění povrchových nepřesností a vad válcovaných a kovaných polotovarů kruhového průřezu. V teoretické části práce jsou uvedeny procesy třískového obrábění při loupání tyčí a charakteristika loupacího procesu. V praktické části jsou prováděny krátkodobé zkoušky řezivosti stávajících typů břitových destiček, vyhodnocení a zjištění jejich nedostatků. Dále jsou v práci provedeny krátkodobé zkoušky řezivosti nových typů břitových destiček a jejich vyhodnocení. Z dosažených výsledků jsou doporučeny břitové destičky pro testování v provozních podmínkách, které je následně provedeno. V práci jsou obsaženy také návrhy pro zlepšení výroby.

### **Klíčová slova**

Loupání tyčí, loupací hlava, břitová destička, opotřebení, řezné síly, drsnost povrchu

## **ABSTRACT**

The thesis is focused on bar peeling method which is used to eliminate surface defects of rolled and forged cross-section circular products. The theoretic part deals with bar peeling processes. In the practical part are performed short-term tests of current types of inserts, evaluation and identification of their shortcomings. Short-term tests of new types of inserts are also performed and evaluated. For the final testing in operating conditions, which is then performed are recommended the best inserts. Suggestions for improving production are also included.

### **Key words**

Bar peeling, peeling head, insert, wear, cutting forces, surface roughness

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KAŠPAR, David. *Testování řezivosti nových druhů vyměnitelných břitových destiček*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140108>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 66 s. Vedoucí práce Miroslav Piška.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Testování řezivosti nových druhů vyměnitelných břitových destiček vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

---

místo, datum

---

Bc. David Kašpar

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

---

---

**OBSAH**

ÚVOD .....	9
1 CHARAKTERISTIKA PROCESU LOUPÁNÍ TYČÍ.....	10
1.1 Princip loupacího stroje.....	10
1.2 Břitové destičky pro loupání tyčí .....	11
1.3 Řezné podmínky pro aplikaci loupání tyčí.....	15
2 PROCESY V TŘÍSKOVÉM OBRÁBĚNÍ .....	19
2.1 Tvary a dělení třísek .....	20
2.2 Opatření břitových destiček.....	21
2.3 Typy opotřebení .....	22
2.4 Slinuté karbidy .....	24
2.5 Povlakování slinitých karbidů .....	26
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	28
3.1 Obráběcí stroj .....	28
3.2 Obráběný materiál .....	28
3.3 Měřicí zařízení.....	29
3.4 Testování dosavadních břitových destiček.....	31
3.4.1 Řezné podmínky .....	32
3.4.2 Vyhodnocení krátkodobých zkoušek VBD – A, B.....	33
3.4.3 Kalibrační zkouška třením.....	35
3.5 Testování nových typů břitových destiček.....	38
3.5.1 Řezné podmínky .....	38
3.5.2 Vyhodnocení krátkodobých zkoušek VBD 1 – 10 .....	39
3.6 Testování v provozních podmínkách.....	53
4 DISKUSE .....	57
ZÁVĚR.....	61
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	62
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
SEZNAM PŘÍLOH.....	66

---

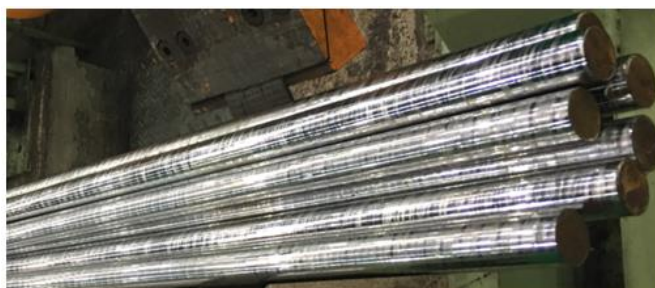


## ÚVOD

Obrábění válcovaných a kovaných tyčí pro další zpracování je důležitým procesem, na jehož produktivitu je kladen důraz ve vybraných hutních závodech. Efektivní proces, jak obrábět hutní materiály kruhového průřezu, se nazývá loupání tyčí. Válcované a kované tyče jsou obráběny v tolerancích h9, h10 a h11, což zvyšuje přidanou hodnotu, a tak pro zákazníky odpadají hrubovací procesy a mají tak jistotu, že jsou tyče zbaveny veškerých povrchových vad (obr. 0.1).

Výsledná produkce loupané oceli je dodávána do širokého průmyslového spektra. Nejvýznamnějším odběratelem loupáných tyčí je zejména v Evropě automobilový průmysl nebo také šroubárenský průmysl. Jenom největší česká hutní firma vyprodukuje ročně přibližně 500 kilotun tyčové oceli ročně, proto je kladen důraz na zefektivnění výroby a právě břitové destičky mají zásadní vliv na výrobu. Některé hutní společnosti mají snahu navyšovat výrobní kapacity produktů tyčové oceli a s tím jde ruku v ruce optimalizace loupacího procesu, pro kterou je řezivost břitových destiček základním stavebním kamenem. Loupání ocelových tyčí je metoda používaná pro širokou škálu materiálů. [17; 18]

Tato práce se zabývá analýzou břitových destiček pro obrábění materiálu 42CrMo4, zhodnocením stávajících používaných břitových destiček a zjištěním jejich nedostatků (obr. 0.2). Dále se práce zabývá testováním nových typů břitových destiček, které by mohly navýšit produktivitu stávajícího stavu v provozních podmínkách při obrábění vybraného materiálu. Testování zahrnuje rozbor silového zatížení, opotřebení, drsnosti povrchu a tvaru třísek. Výsledky této práce mohou vést k zefektivnění výroby loupacích linek při obrábění tohoto druhu oceli.



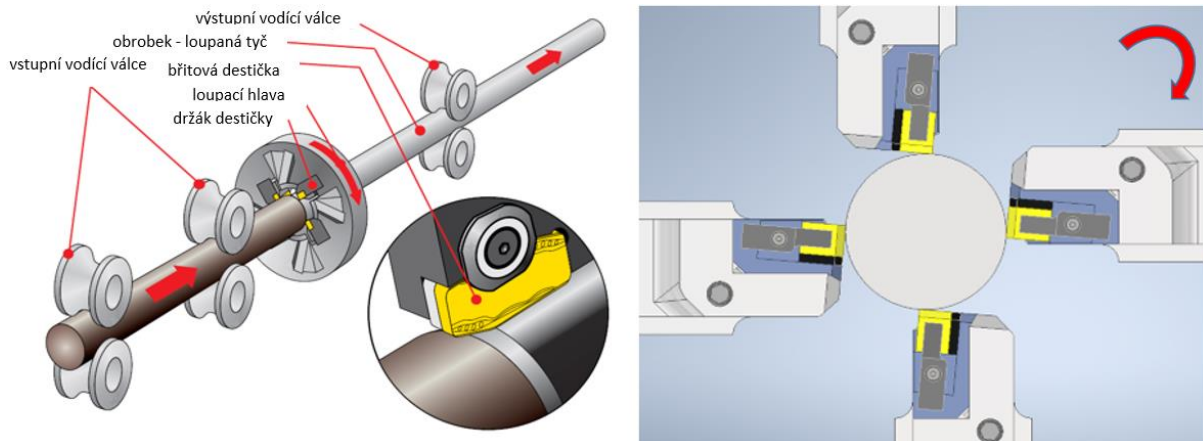
Obr. 0.1 Loupané tyče



Obr. 0.2 Břitová destička pro loupání tyčí

## 1 CHARAKTERISTIKA PROCESU LOUPÁNÍ TYČÍ

Loupání tyčí je speciální obráběcí metoda soustružení (obr. 1.1), která se používá v hutních závodech pro obrábění válcovaných, tažených a kovaných tyčí nebo trubek. Při obrábění dochází k odstranění zoxidovaného povrchu, povrchových nečistot a trhlin, vzniklých při hutní výrobě. Nejčastěji je loupána vrstva v hloubce 1 až 3 mm, aby bylo dosaženo hladkého povrchu, požadované jakosti, tvarové stálosti a rozměrové přesnosti v toleranci až h9. Materiály jsou pak vhodné k dalšímu zpracování. Loupání tyčí se provádí pro průměry od 10 do 650 mm a je charakteristické malým úběrem při vysokém posuvu. Tyto vlastnosti mají největší vliv na produktivitu, která je podmíněná vysokými nároky na stroje a nástroje. [1; 2; 4]

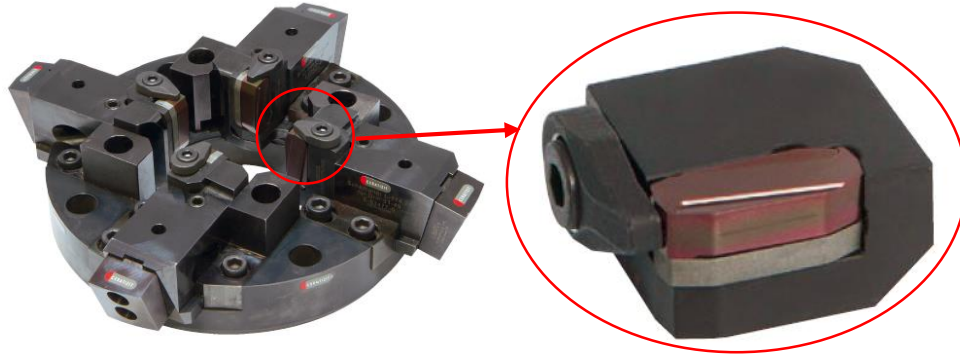


Obr. 1.1 Schéma a popis loupané tyče v loupací hlavě [1].

Loupané tyče jsou nejčastěji z uhlíkové oceli, konstrukční oceli, ale i žáruvzdorné, korozivzdorné nebo nástrojové oceli. Díky tomu se tento, už tak náročný proces, kdy jsou zejména kované tyče často nesymetrické, stává ještě obtížnější. Nástroje a stroje jsou podrobeny vysokým tlakům, které mají za následky vznik vibrací a problémy se stabilitou. Proti konvekčnímu soustružení je dosahováno vyšších posuvů, vysokého úběru třísek, rozměrové přesnosti, vysoké kvality obrobeneho povrchu, což vede k redukci dokončovacích operací a zejména vyšší produktivity a s tím spojené nižší výrobní náklady díky kratším výrobním časům. V průběhu loupacího procesu tyče získávají na povrchu spirálovitý vzor. [1; 2; 4]

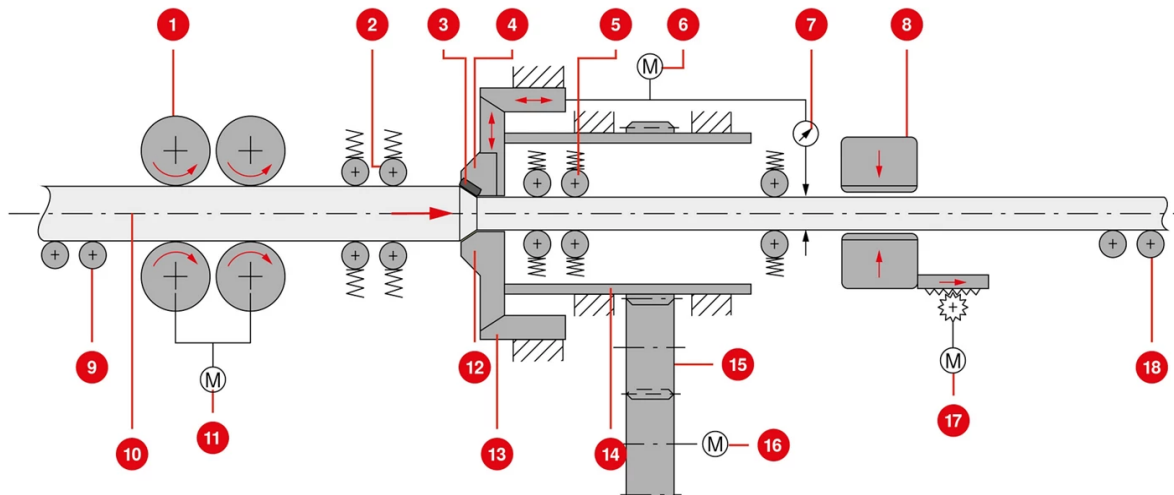
### 1.1 Princip loupacího stroje

Během loupací operace je obrobek upnutý mezi vstupní čelisti přiváděn do podávacích válců, které jsou poháněny prostřednictvím zasouvacího mechanismu pomocí elektromotoru, který se nachází na zadní straně podávacích válců. Podávací válce dávají obrobku lineární pohyb a obrobek je tak přímočaře posouván zasouvacím mechanismem při vysokém tlaku do rotující loupací hlavy s řeznými nástroji (obr. 1.2), kde probíhá úběr třísek za použití velkého přísunu chladicí kapaliny. [1; 4]



Obr. 1.2 Loupací hlava [1].

Loupací hlava získává sílu a pohyb prostřednictvím hlavního elektromotoru. Břitové destičky jsou v loupací hlavě upnuty v držáku nebo v kazetách, které jsou upnuty v držáku. Nejčastěji bývají 4. Destičky mohou být několika typů a také vedeny za sebou pro hrubovací a dokončovací operace. Každá břitová destička je při řezném procesu v záběru. Díky rotujícímu řeznému pohybu loupací hlavy a posuvovému pohybu obrobku dochází k oddělování třísky a obrobek tak dostává vzhled lesklé tyče. Dále se pak tyč posouvá ven z procesu, kde je kontrolována měřícím zařízením a následně přesouvána do skladovacího zařízení. Na obr. 1.3 je zobrazeno schéma loupacího stroje. [1; 4]

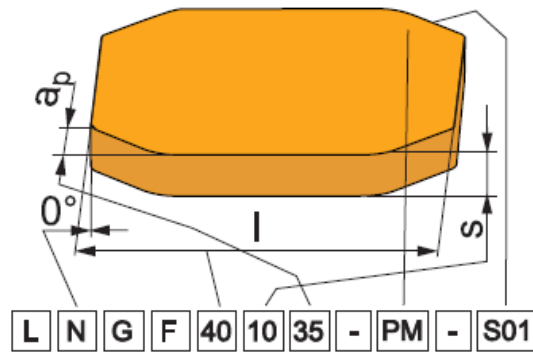


Legenda: 1. Zasouvací mechanismus; 2. Vstupní vodicí válečky; 3. Loupací destička; 4. Nástrojové saně; 5. Výstupní vodicí válečky; 6. Servomotor pro pohon nástrojů; 7. Měřící zařízení; 8. Vytahovací vozík; 9. Vstupní vodicí; 10. Osa obrábění; 11. Motor zasouvacího mechanismu; 12. Loupací hlava; 13. Konusový kroužek; 15. Převodovka; 16. Hlavní motor; 17. Motor vytahovacího vozíku; 18. Výstupní vodicí.

Obr. 1.3 Schéma loupacího stroje [1].

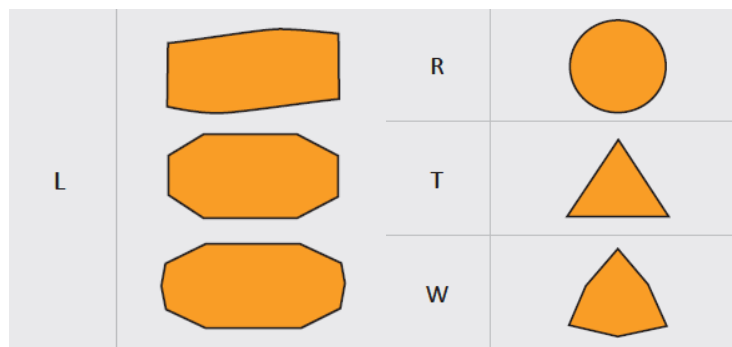
## 1.2 Břitové destičky pro loupání tyčí

Důležitým faktorem, ovlivňujícím účinnost obráběcího procesu, jsou břitové destičky. Břitové destičky mají různé geometrie, které vytvářejí třísky požadovaného tvaru, vhodné pro snadný odvod z loupací hlavy. Díky široké škále obráběných materiálů je stále vyšší důraz na inovace břitových destiček z hlediska složení materiálu, geometrie břitu nebo tvaru utvařeče. Břitové destičky pro aplikaci loupání tyčí jsou od tradičních břitových destiček pro podélné soustružení lehce odlišné svým tvarem a velikostí. Značení břitových destiček pro loupání tyčí je podle standardu ISO 13399. Příklad značení s označením je na obr. 1.4 [1; 2; 3]



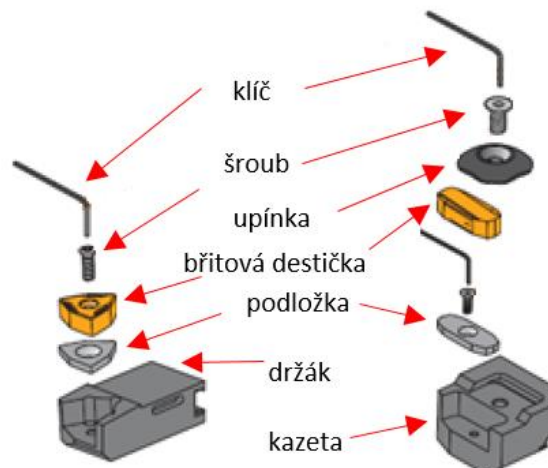
Obr. 1.4 Značení břitové destičky pro loupání tyčí [2].

Tvar břitové destičky značí první písmeno ve značení. Tvary obdélníkové břitové destičky pro loupání tyčí se značí nejčastěji písmenem L. Značení se však může lišit podle jednotlivých výrobců, např. Y, I, J, U. Na obr. 1.5 je zobrazeno značení podle [2].



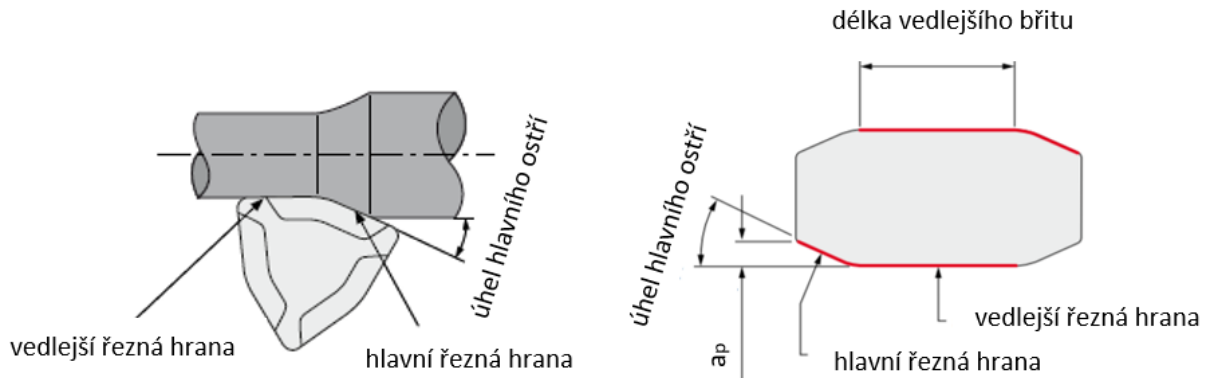
Obr. 1.5 Značení tvaru břitových destiček [2].

Upnutí břitových destiček v kazetě nebo přímo v držáku bývá nejčastěji řešeno dvěma způsoby (obr. 1.6), a to za použití šroubu skrz centrální díru v břitové destičce, nebo pomocí upínacího mechanismu shora nebo z boku. Upnutí pomocí šroubu zaručuje přesné polohování v lůžku v axiálním a radiálním směru. Jedná se o ekonomičtější řešení, než pomocí upínky, kde vyčnívající upínka může zabraňovat v odvodu třísek a to způsobuje opotřebení upínky, avšak upnutí pomocí šroubu je vhodné jen pro určitý tvar břitových destiček. Upnutí pomocí upínky bývá časově náročnější, avšak mnoho výrobců preferuje upínání pomocí kazet, kde jsou břitové destičky upnuty pomocí upínky. Při výměně destičky pak bývá vyměněna celá kazeta. [1; 2]



Obr. 1.6 Upínání břitových destiček v lůžku [2].

Obráběný průměr je nejčastěji zhotoven s jednou hloubkou řezu. Břítové destičky jsou často konstruovány tak, že hlavní řezná hrana (přední část) břitové destičky je hrubovací a je tak konstruována díky tvaru čelního utvařeče a různých zkosení pro vyšší odolnost proti opotřebení a lepší odvod třísek. Vedlejší řezná hrana (zadní část) je umístěna souběžně s osou obrobku a je konstruována pro dokončování a vytváření požadované přesnosti a drsnosti povrchu. Tyto destičky jsou používány pro úběry do 3 mm. Na obr. 1.7 je zobrazen popis břitových destiček. [1; 3; 4]

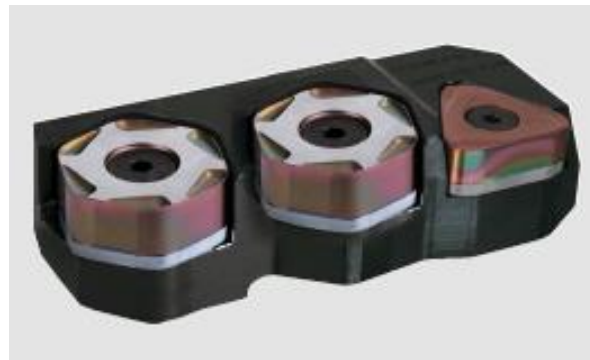


Obr. 1.7 Popis břitové destičky pro loupání tyčí [1].

Některé kazety, převážně takové, které jsou určeny pro hloubku řezu vyšší než 3 mm, jsou vybaveny hrubovací destičkou, která ubírá největší část hloubky řezu a za ní je umístěna dokončovací destička, která je umístěna pro finální úběr. Hloubka řezu je tak rozdělena na dílčí hloubky řezu pro každou destičku, např.  $a_p = 5 + 1,5$  mm (obr. 1.8.). Pro maximální úběry slouží např. i tandemové destičky, které jsou umístěny za sebou. Každá pak postupně ubírá určité množství materiálu, např.  $a_p = 5 + 3 + 1,5$  mm (obr. 1.9). [1; 2; 3]

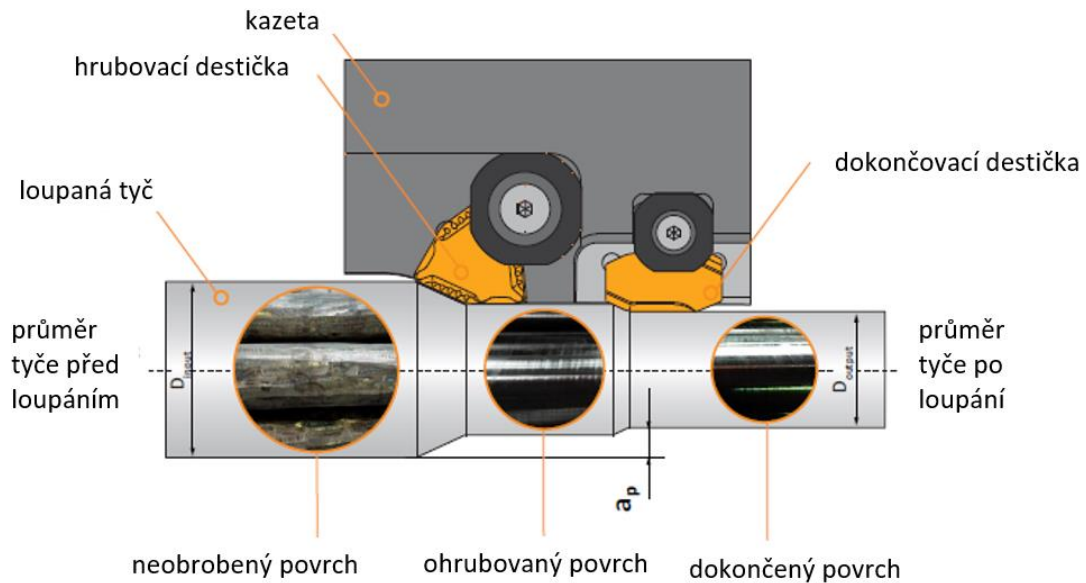


Obr. 1.8 Kazeta s dvěma břitovými destičkami [1].



Obr. 1.9 Kazeta s třemi břitovými destičkami [1].

Celková hloubka řezu je tedy rozdíl mezi průměrem obrobku a obrobené tyče podělen dvěma. Při rozdělení dílčích hloubek řezu je třeba tyto hodnoty vzít v úvahu při analýzách řezných podmínek hrubovacích a dokončovacích břitových destiček (obr. 1.10). Největší vliv na řezné síly a tvar průřezu třísky má úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$ . Jeho zmenšení způsobuje užší třísku, při daném posuvu a hloubce řezu. V kap. 1.3 je tento jev zobrazen na obr. 1.15. [1; 9]



Obr. 1.10 Celková hloubka řezu [2].

Pro výběr břitové destičky je třeba brát v potaz následující kritéria, jako jsou složení a vlastnosti obráběného materiálu, průměr obrobku, hloubka řezu a požadavek na kvalitu povrchu. Nejdůležitějším kritériem pro výběr břitové destičky je tedy obráběný materiál. Široká škála materiálového složení může však vést k odchýlení od předepsaných doporučení a je tak třeba provádět praktické experimenty. Pro různé případy použití byly vyvinuty různé druhy geometrie a složení povlakovaného slinutého karbidu. [1; 3]

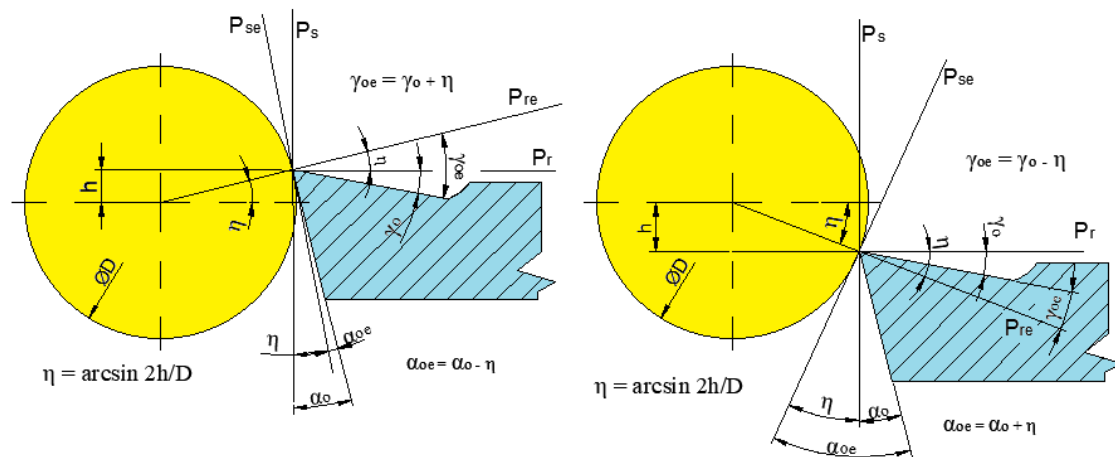
Dalším kritériem je obráběný průměr spolu s hloubkou řezu. Výrobní proces tyčí, jako např. válcování nebo kování hraje důležitou roli. U větších průměrů můžou tyče častěji obsahovat nepravidelné povrchové struktury, praskliny, odlupování nebo dutiny (obr. 1.11). [1]



Obr. 1.11 Vady polotovarů [1].

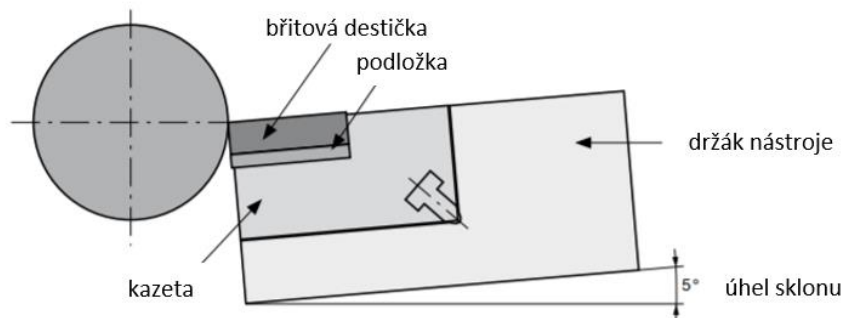
Dalšími faktory při výběru břitové destičky, které je třeba brát v potaz při obráběcím procesu, jsou stav a údržba loupací linky, vodičích prvků a mechanismu upínání tyče, stav držáku nástroje a kazet (lůžko a upnutí), stav polotovaru tyče (kruhovitost, průhyb, atd.) a postup zvolený při jejich výrobě, dostatečné chlazení v přesné koncentraci, dostatečný tlak a množství, optimální odvod třísek bez zasekávání třísek v loupací hlavě. Odladění se tak provádí často přímo s výrobcem břitových destiček. Závisí na konstrukčních parametrech břitových destiček, rezného materiálu, délky břitu a tvorbě třísky. Všechny tyto faktory mají vliv na odladění obráběcího procesu. Tyto faktory se odvíjí od požadované přesnosti a kvality povrchu obráběného materiálu, který je nejdůležitějším faktorem při výběru břitových destiček. [1; 2; 4]

Pro spolehlivou funkci nástrojů je pod břitovou destičkou umístěna také karbidová podložka, která kopíruje vnější tvar břitové destičky. Podložka poskytuje břitové destičce potřebnou oporu v lůžku a chrání také dosedací plochu lůžka v kazetě před deformací nebo promáčknutím. Díky možnosti výběru tloušťky podložky lze dosáhnout vycentrování rezné hrany, vzhledem k ose obrobku. Na obr. 1.12 je zobrazeno ustavení nástroje pod a nad osou obrobku.



Obr. 1.12 Ustavení nástroje vzhledem k ose obrobku [14].

Řezná hrana, umístěna pod osou obrobku, způsobuje vibrace. Řezná hrana, umístěna nad osou obrobku, způsobuje vyšší tlak mezi břitovou destičkou a obrobkem. Oba tyto faktory mají vliv na trvanlivost. Úhel sklonu břitové destičky v kazetě (obr. 1.13) bývá nejčastěji nastaven na hodnotu  $5^\circ$ . [1; 8]



Obr. 1.13 Úhel sklonu břitové destičky [1].

### 1.3 Řezné podmínky pro aplikaci loupání tyčí

Aby bylo dosahováno předpokladů vysoké produktivity, rozměrové přesnosti a vysoké kvality obrobku, je třeba, aby byla provedena správná volba a seřízení loupacího stroje, protože různé typy sestavy kazetových systémů břitových destiček jsou vyvíjeny pro různé řezné výkony. Přibližný řezný výkon se dá stanovit podle vztahu 1.1. Řezný výkon se musí násobit počtem kazetových hlav, nejčastěji tedy číslem 4. [1; 2]

$$\text{Řezný výkon} \quad P = \frac{v_c \cdot a_p \cdot f_k \cdot \frac{k_c}{h^{mc}}}{60000} \text{ [kW]} \quad 1.1$$

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

$a_p$  = řezná hloubka [mm]

$f_k$  = posuv na jeden nástroj v loupací hlavě [mm]

$k_c$  = měrná řezná síla [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$ ]

$h$  = tloušťka třísky [mm]

$mc$  = materiálový exponent [–]

Produktivita řezného procesu je ovlivněna hlavně posuvem a hloubkou řezu, pro kterou je důležitý výběr správné břitové destičky. Tyto parametry jsou však limitovány možnostmi loupacího stroje, nástrojů a obráběným materiálem. Všechny tyto faktory zapříčiňují, ať už ve větší nebo v menší míře vibrace, jejichž redukce při loupacím procesu je základním faktorem pro produktivitu. Řezné podmínky jsou počítány podle vztahů 1.2 – 1.8. [1; 2; 3]

$$\text{Řezná rychlost} \quad v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \text{min}^{-1}] \quad 1.2$$

$$\text{Otáčky} \quad n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} [\text{min}^{-1}] \quad 1.3$$

$$\text{Posuv celkový} \quad f = \frac{v_f}{n} [mm] \quad 1.4$$

$$\text{Posuvová rychlost} \quad v_f = f \cdot n [mm \cdot \text{min}^{-1}] \quad 1.5$$

$$\text{Posuv na jeden nástroj} \\ \text{v loupací hlavě} \quad f_k = \frac{f}{k} [mm] \quad 1.6$$

$$\text{Průřez třísky} \quad A = f_k \cdot a_p [mm^2] \quad 1.7$$

$$\text{Rychlost úběru třísek} \quad Q = a_p \cdot f \cdot v_c [cm^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad 1.8$$

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

$a_p$  = řezná hloubka [mm]

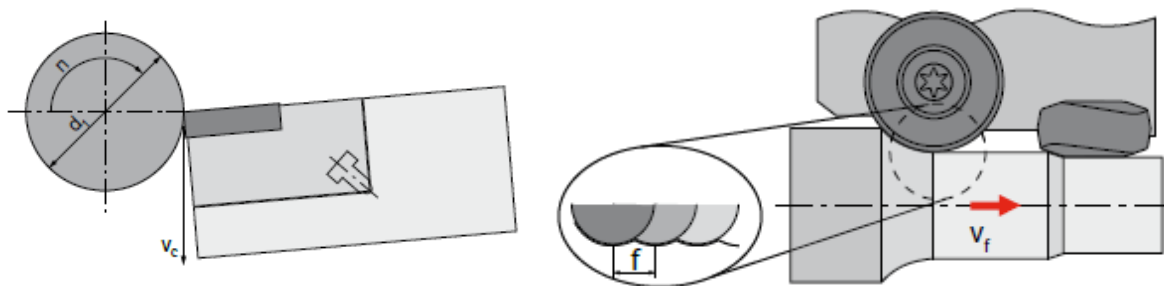
$f$  = posuv [mm]

$k_c$  = měrná řezná síla [ $N \cdot \text{mm}^{-2}$ ]

$D$  = průměr tyče [mm]

$k$  = počet držáků [ks]

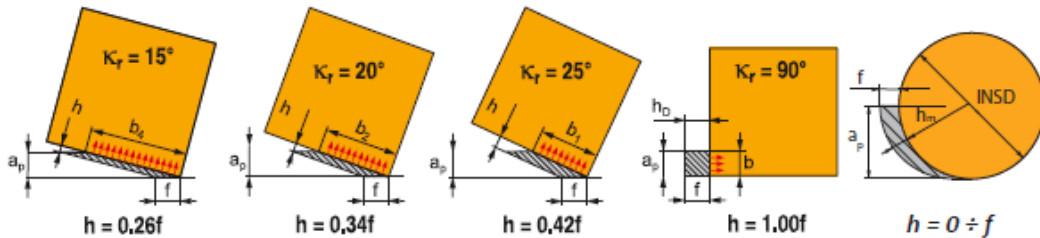
Označení vybraných parametrů pro výpočet řezných podmínek je zobrazen na obr. 1.14.



Obr. 1.14 Označení parametrů [1].



Tloušťka třísky je důležitým faktorem při stanovení měrné řezné síly, protože se snižující třískou měrný řezný odpor roste. Šířka třísky  $b$  je při konstantní hodnotě úběru třísky a posuvu závislá na nastavení úhlu hlavního ostří  $\kappa_r$  (obr 1.15). Při nastavení hlavního ostří  $\kappa_r = 90^\circ$  se tloušťka třísky rovná posuvu a šířka třísky hloubce řezu. U kruhových břitových destiček se tloušťka třísky pohybuje od nuly do velikosti hodnoty posuvu  $f$ , v závislosti také na hloubce řezu, proto používáme průměrnou tloušťku třísky. Tloušťku třísky  $h$  lze spočítat dle vztahu 1.9 a dle vztahu 1.10 pro kruhovou břitovou destičku. [1; 7]



Obr. 1.15 Nastavení úhlu hlavního ostří [2].

$$\text{Tloušťka třísky} \quad h = f_k \cdot \sin \kappa_r [\text{mm}] \quad 1.9$$

$$\text{Tloušťka třísky (kruhová destička)} \quad h_m = f_k \cdot \sqrt{\frac{a_p}{D}} [\text{mm}] \quad 1.10$$

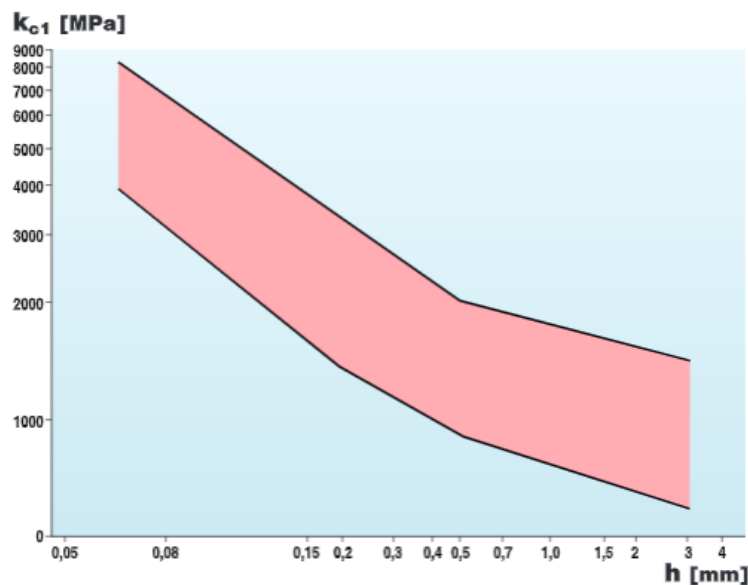
Kde:  $\kappa_r$  = úhel nastavení hlavního ostří

$f_k$  = posuv na jeden nástroj v loupací hlavě [mm]

$a_p$  = řezná hloubka [mm]

$D$  = průměr tyče [mm]

Měrná řezná síla  $k_c$  se odvíjí od obráběného materiálu. Je definována jako plošná síla potřebná k překonání soudržnosti materiálu při řezném procesu. Závislost měrné řezné síly na tloušťce třísky je zobrazena na (obr. 1.16). [9; 14]



Obr. 1.16 Graf závislosti měrné řezné síly na tloušťce třísky [2].

Výrobci břitových destiček si stanovují optimální rozsah měrného řezného odporu dle vlastního katalogu. Při stanovení měrné řezné síly je třeba brát v potaz fyzikální vlastnosti obrobku, řezné podmínky a geometrii řezného nástroje. Výpočet se stanoví dle vztahu pro soustružení 1.11 a 1.12. [9; 14]

$$\text{Měrná řezná síla} \quad k_c = \frac{F_{ci}}{A_{Di}} [N \cdot mm^{-2}] \quad 1.11$$

$$\text{Měrná řezná síla} \quad k_c = \frac{k_{c1}}{h^{mc}} = \frac{k_{c1}}{(f \cdot \sin \kappa_r)^{mc}} [N \cdot mm^{-2}] \quad 1.12$$

kde:  $k_{c1}$  – jednotkový měrný řezný odpor

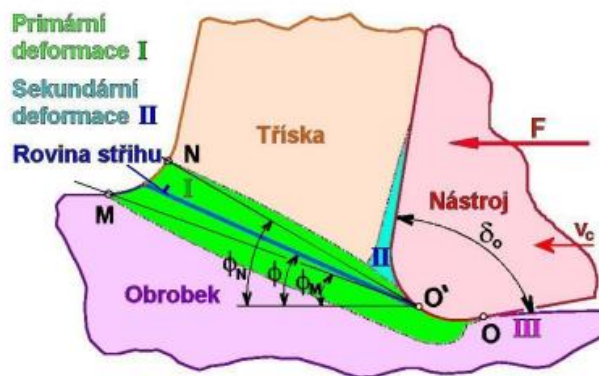
$h$  – tloušťka třísky

$mc$  – koeficient vyjadřující intenzitu změny měrné řezné síly v závislosti na tloušťce třísky [–]

## 2 PROCESY V TŘÍSKOVÉM OBRÁBĚNÍ

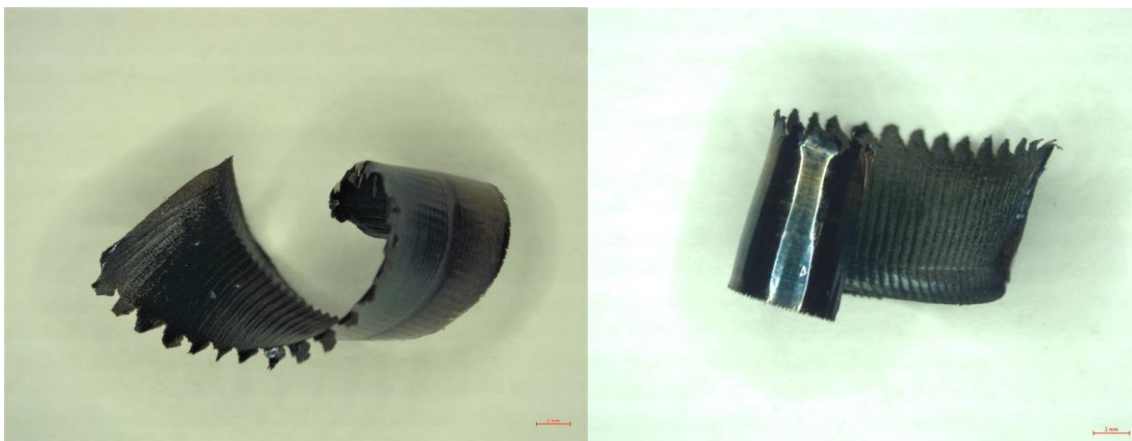
Vlivem vnikání nástroje do obrobku dochází před břitem nástroje ke koncentraci napětí a dochází tak k pružným a následně plastickým deformacím. Tříška je tvořena plastickou deformací podél smykové roviny. Díky vysoké rychlosti deformace vznikají stavy pružné napjatosti, fyzikální mechanismy plastické deformace a dochází k lomovému porušení při oddělení materiálu. [7; 8; 13]

Materiál se přeměňuje na třísku v tzv. kořenu třísky, který zahrnuje 3 oblasti plastické deformace. Primární plastická deformace vzniká v rovině maximálních smykových napětí (O – M) pod úhlem  $\varphi$  (Obr. 2.1). Při pohybu nástroje dochází k pěchování vrstev před břitem, než dojde k překonání napětí střížného napětí a materiál se začne plasticky deformovat. [7; 8; 13]



Obr. 2.1 Oblasti deformace třísky [13]

Vlastnosti obráběného materiálu, řezná rychlost a geometrie nástroje (úhel řezu  $\delta$  a úhel čela  $\gamma$ ) určuje ve velké míře oblast O – M – N. Oblast sekundární plastické deformace (II) je dána třením třísky po čele nástroje. Oblast terciální plastické deformace (III) je oblastí, kde dochází k utváření povrchu obrobku. [7; 8]



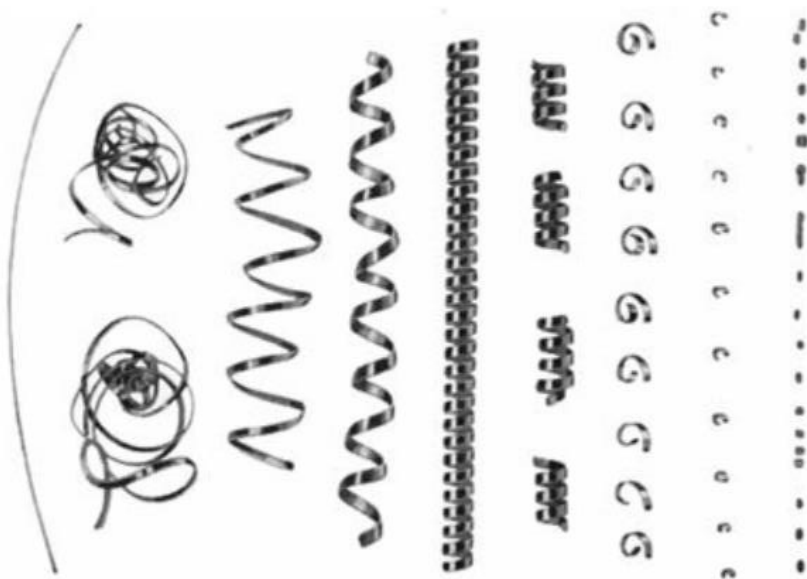
Obr. 2.2 Segmentové uspořádání na zadní straně třísky.

Průběh plastické deformace lze pozorovat na zadní straně třísky, kde vzniká segmentové uspořádání, viz obr. 2.2. Tvorba třísky spočívá v posouvání jednotlivých segmentových vrstev materiálu při vnikání materiálu do řezu. Tyto vrstvy jsou oddělovány pod úhlem  $\varphi$ . „Obecně platí, že čím je vyšší úhel střížné roviny  $\varphi$ , tím je štíhlejší tříška, proces je energeticky výhodnější a dochází k nižšímu zatížení a ovlivnění podpovrchových vrstev obrobku“. [7]

## 2.1 Tvary a dělení třísek

Tvar třísek je velice důležitý z hlediska bezpečnosti, možného poškození obrobku, životnosti nástroje, velikosti řezných sil a manipulace. Nejdůležitější faktory, které ovlivňují tvar třísky, jsou vlastnosti obráběného materiálu, geometrie nástroje, řezné podmínky, způsob chlazení atd. Tvar třísky závisí také na houževnatosti a mikrostruktuře, třecích vlastnostech břitové destičky, ale také na statických a dynamických vlastnostech stroje. Stříhové působení je pak kombinací těchto faktorů. [5; 7; 9]

Typy třísek, které jsou vytvářeny během řezání materiálu, mohou být schematicky popsány jako plynulé, lamelární, segmentové, nespojité a drobné (obr. 2.3).



Obr. 2.3 Typy třísek [7].

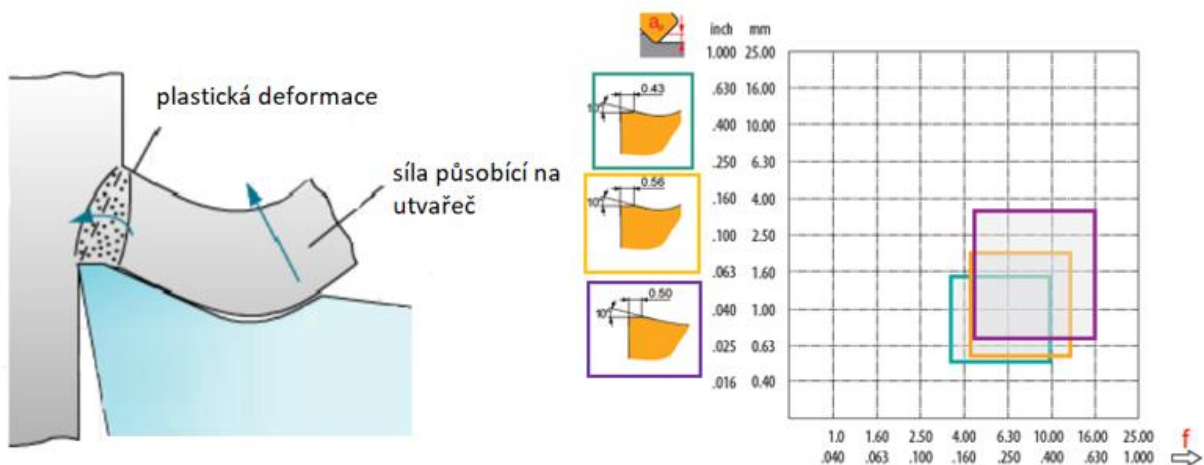
Způsob výroby oceli jako např. válcování, kování a následné tepelné zpracování ovlivňuje schopnost lámání třísek. Materiály, které se chovají křehkým způsobem v průběhu řezného procesu, jako mosazi, hliníkové slitiny nebo litiny, tvoří krátkou třísku díky strukturálním charakteristikám obráběného materiálu a dostatečnému napětí, které se vyvíjí v rovině smykového napětí. Tyto materiály nepředstavují pro obráběcí proces problém z hlediska tvoření třísky. Většina druhů ocelí má tendenci tvořit dlouhé souvislé vlnité třísky, které jsou nebezpečné, a obtížně se s nimi manipuluje. Takové třísky mohou tvořit „hnízda“ a je tak potřeba přerušit obráběcí proces a vyjmout třísky. To představuje pokles produktivity. Toto se často děje s malým úběrem, kdy se tloušťka třísky snižuje a tvárnost a lámavost se stávají obtížnější. Pro efektivní plynulé a bezpečné obrábění je výhodná krátká dělená tříska. [6; 7; 11]

Kromě obráběcího procesu je také třeba zohlednit manipulaci s třískami. Třísky by měly pro manipulaci (odstraňování ze stroje, uskladňování a dopravu) dosahovat takového tvaru, aby zaujímaly co nejmenší objem. Dělená tříska může být dosahována několika způsoby, jako např. přerušováním posuvu nástroje při hrubovacích cyklech u CNC obrábění, odlamování třísky o obrobek plochu při hrubování, odlamování třísky o obrobek, kdy je tříska směřována směrem k obrobku a díky tomu je tak lámána pomocí strukturálních částí obráběného materiálu, kdy dochází k drobným třískám, jako je např. u automatové oceli, díky vyšším přísadám manganu a síry. Na obr. 2.4 jsou tyto způsoby zobrazeny. [5; 7]



Obr. 2.4 Druhy dělení třísky [19].

Nejčastější způsob utváření třísek je pomocí čelních utvařečů, kdy je tříska lámána díky funkčnosti geometrie nástroje na čele. (obr. 2.5). Obecně utvařeč funguje tak, že na čele destičky je drážka takového tvaru, která se snaží přerušovat a usměrnit třísku směrem od nástroje. Utvařeč pracuje v rozsahu závislosti posuvu na hloubce řezu. Pro optimální řezné podmínky použití utvařeče slouží utvařečí diagramy, které jsou sestavovány výrobcem pro určitou geometrii břitové destičky, materiál obrobku a nástroje. Na obr. 2.6 je znázorněn jako příklad graf závislosti hloubky řezu na posuvu pro aplikaci loupání tyčí. [5; 7]



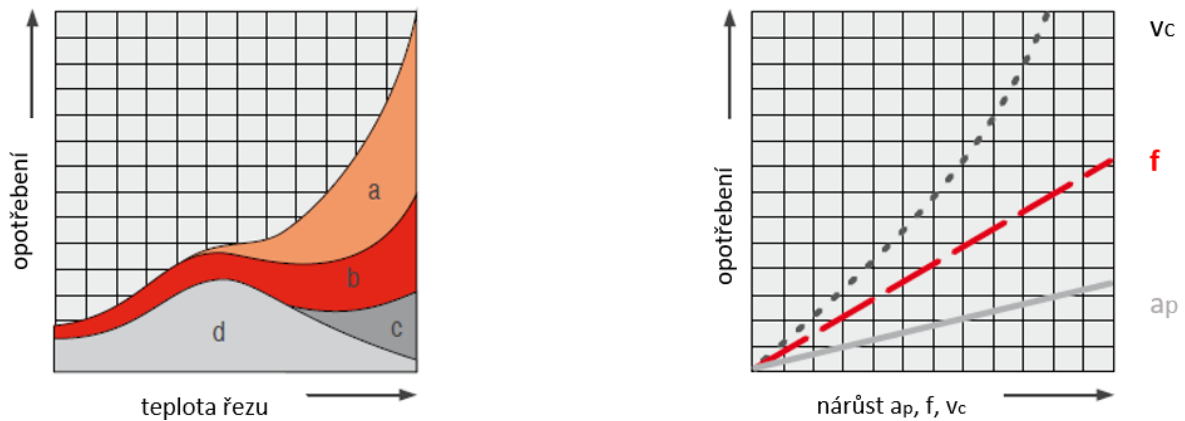
Obr. 2.5 Funkce čelního utvařeče [27].

Obr. 2.6 Příklad utvařečího diagramu pro loupání tyčí [2].

Vzhledem k utvařeči třísek je třeba dosáhnout optimální hodnoty posuvu a úběru třísky. Pokud je šířka odřezávané vrstvy malá, nedostane se do žlábků a nemůže tak být utvářena. Naopak příliš velká odřezávaná vrstva na daný utvařeč není také příznivá. Utvařeče mohou být buď mechanicky přiložené nebo přímo vytvořené na břitové destičce vyjiskřováním, lisováním nebo vybrušováním. [2; 5; 7]

## 2.2 Opatření břitových destiček

Břítové destičky přichází do kontaktu s obráběným materiálem a vzniká tak jejich opotřebení. Opotřebení se snažíme analyzovat a co nejvíce redukovat. Jeho intenzita má vliv na ekonomický proces výroby. S růstem opotřebení se pak mění rozměry obrobků, zhoršuje se jakost obrobené plochy a zpravidla vzrůstají řezné odpory, čímž klesá energetická účinnost procesu obrábění. [7; 10; 13]

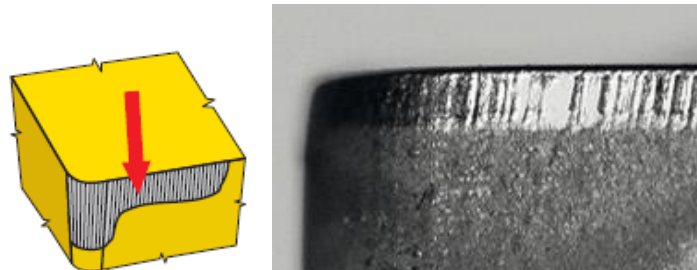


Obr. 2.7; vlevo: Příčiny opotřebení – abraze (b), adheze (d), difúze (a), oxidace (c) [1]; vpravo: Vliv  $a_p$ ,  $v_c$ ,  $f$  na opotřebení [1].

Opotřebení mívá největší intenzitu v blízkosti ostří ze strany hřbetní nebo čelní. Při opotřebení vznikají různé fyzikální, chemické a metalurgické jevy, které mají zásadní vliv na obráběcí proces (obr. 2.7). Nejčastějšími příčinami jsou abraze, adheze, difúze a oxidace. Vliv řezných parametrů na opotřebení je znázorněn vpravo na obr. 2.7. [7; 10]

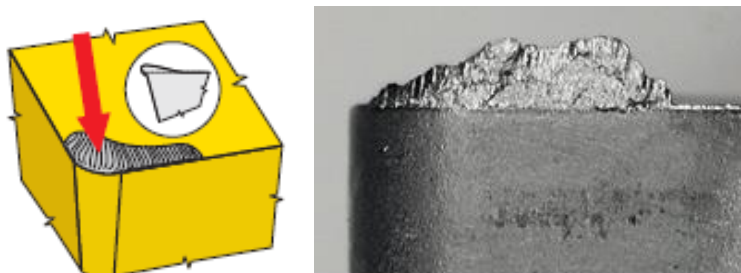
### 2.3 Typy opotřebení

**Abraze** – brusný ořez způsobený vlivem tvrdých mikročastic, uvolněných z nástroje a obrobku. Jedná se o fyzikální mechanismus opotřebení. Jedná se o kontrolovatelný typ opotřebení. Vzniká nejčastěji na hřbetě nástroje (obr. 2.8). Hřbetní plocha společně se špičkou nástroje jsou vystaveny brusnému opotřebení při kontaktu nástroje a obrobku, jak při tvorbě třísky, tak i při jejím odchodu. [1; 6; 7]



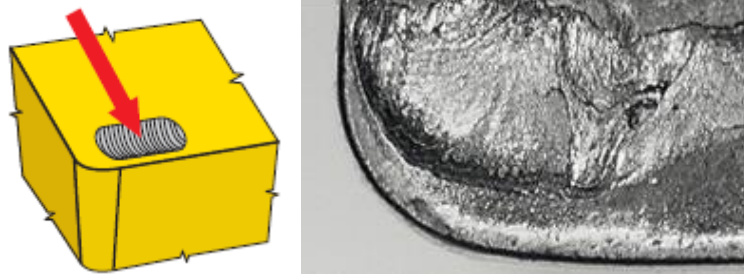
Obr. 2.8 Opotřebení hřbetu [1; 2].

**Adheze** – vznik a následné porušení mikro-svarových spojů mezi nástrojem a obrobkem. Vzniká nerovností vzájemně se třecích ploch za působení vysokých teplot a tlaků, nejčastěji na čele nástroje. Nárůstek (obr. 2.9) je důsledkem adhezního opotřebení, kdy za vysoké teploty obrábění a vysokého tlaku vznikají mikronávary příbuzných materiálů nástroje a obrobku. Nárůstek je výrazný při nižších řezných rychlostech. [1; 6; 7]



Obr. 2.9 Nárůstek na čele nástroje [1; 2].

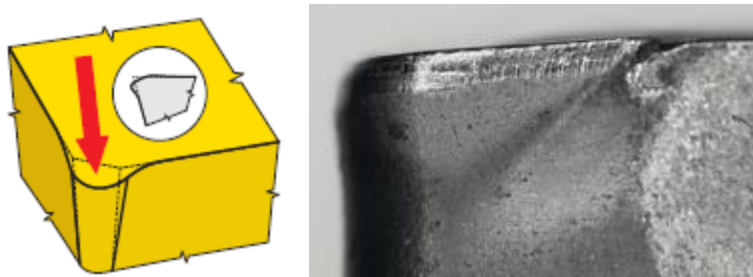
**Difúze** – vzájemné přemístění atomů nástroje a obrobku. Z tohoto děje se vytváří mezikovové sloučeniny. Žlábek na čele nástroje (obr. 2.10) je nejčastějším příkladem difuzního opotřebení v kombinaci s abrazivním opotřebením. K tomuto ději dochází často na rozhraní WC – Co břitových destiček a atomů uhlíku v tříse. K difúzi Fe do Co dochází již při teplotě 680°C. Wolfram difunduje při teplotě kolem 950°C. [1; 6; 7]



Obr. 2.10 Opotřebení ve tvaru žlábků [1; 2].

**Oxidace** – Jedná se o chemický typ opotřebení, kdy dochází ke vzniku chemických sloučenin v důsledku přítomnosti kyslíku. Vzniká častěji při přerušovaných řezných procesech. Vzniká při vyšších teplotách obrábění (800°C a více). [1; 6; 7]

**Plastická deformace** – vzniká, když je vynaložen vysoký tlak na řeznou hranu v kombinaci s vysokými teplotami, kdy dochází k prudkému poklesu tvrdosti. To způsobuje strukturální změny a deformace pojiva v řezném nástroji (obr. 2.11). [1; 6; 7]



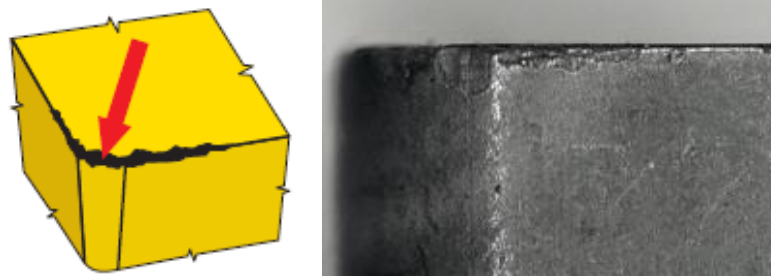
Obr. 2.11 Plasticky deformovaný břit [1; 2].

**Lomy a trhliny** – Trhliny jsou tvořeny dvěma způsoby a to jako hřebenové trhliny viz obr. 2.12 (v pravém úhlu k ostří) a paralelní trhliny (rovnoběžné s ostřím). Trhliny vznikají tím, že jsou odstraňovány karbidy z určité oblasti břitu. Nejčastěji je to způsobeno vlivem vysokého mechanického zatížení při oteru zpevněného materiálu obrobku a také odvodem třísek, v kombinaci s oxidačním opotřebením. [1; 6; 7]



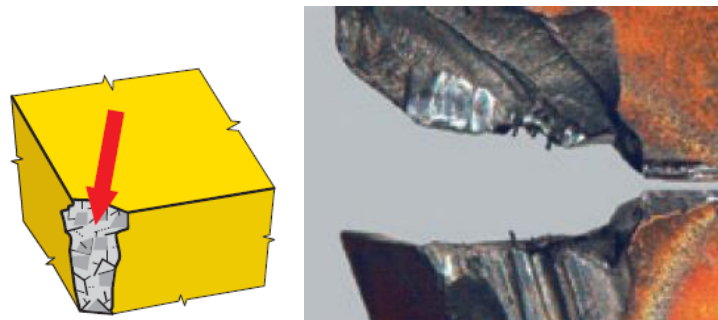
Obr. 2.12 Vrubové opotřebení [1; 2].

Vylamování částic břitu (obr. 2.13) vzniká nejčastěji díky problémům spojených se stabilitou a chvěním při obrábění. [7]



Obr. 2.13 Vylamování částic břitu [1; 2].

Odlupování materiálu a trhliny jsou důsledkem vzniku křehkého lomu břitu (obr. 2.14), který je důsledkem vysokého mechanického zatížení, např. při nárazu na tvrdou fázi břitu. [7]



Obr. 2.14 Křehký lom břitu [1;2].

## 2.4 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou spékané práškové částice s vysokou tvrdostí (HV 2000 a více) s houževnatým pojivem, vyráběny práškovou metalurgií. Jsou charakteristické vysokou tvrdostí, pevností a odolností vůči opotřebení. Nejdůležitější tvrdou fází jsou karbidy wolframu, karbidy titanu, nitridy titanu, vanadu, niobu a chromu. Rozměry částic karbidů jsou v současnosti v rozmezí 0,2  $\mu\text{m}$  až 5  $\mu\text{m}$ . Velikost částic do 0,8 jsou mikrozrna, v rozmezí 0,8 – 1,0  $\mu\text{m}$  jsou jemná zrna, 1 – 4  $\mu\text{m}$  jsou střední zrna a více jak 4  $\mu\text{m}$  jsou hrubá zrna. Nejčastěji používaným pojivem je kobalt. Jeho obsah činí 3 – 20 %. To záleží na kombinaci tvrdosti a houževnatosti. [6; 7; 9]

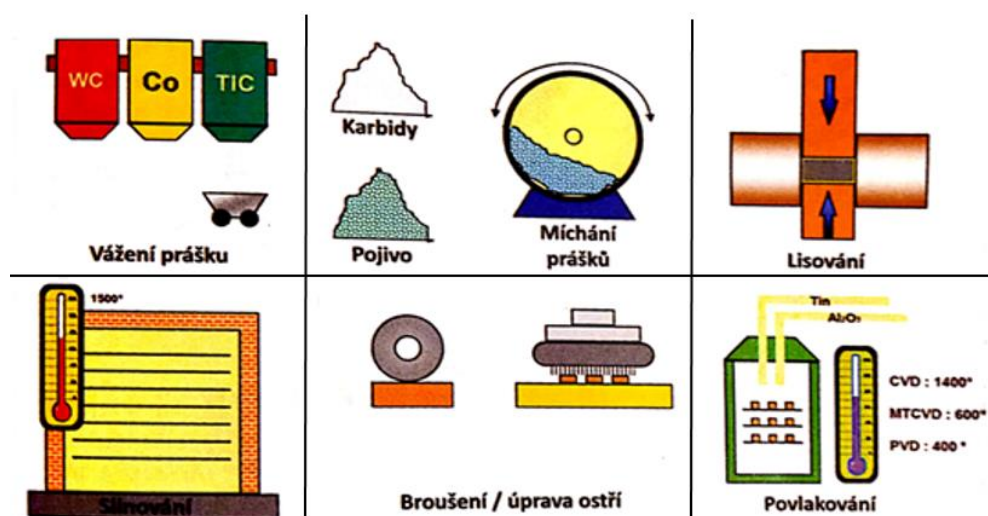
Rozdělení slinutých karbidů je používáno na základě normy ISO 513 do šesti skupin (P, M, K, N, S, H). Největší zastoupení mají skupiny P, M, K. Obecně platí, že číslo třídy (např. P30, K20) určuje obsah pojiva. Čím vyšší číslo, tím více pojiva a tím pádem vyšší houževnatost a nižší tvrdost, proto jsou vyšší čísla třídy vhodná pro hrubování. Nižší čísla třídy (P10, P20) označují použití pro dokončovací obrábění. Výrobci rezných nástrojů si vytváří vlastní tabulky podle konkrétního použití. Obecný popis aplikace podle [2] je zobrazen v tab. 2.1. [7]

Výroba slinutých karbidů probíhá v několika krocích (obr. 2.15). Zvážené složky prášků karbidu a pojiva jsou míchány podle požadovaného rezného nástroje. S tím také souvisí drcení prášků na určitou velikost zrna. Následně dochází k sušení, zpracování prášku a lisování práškové směsi. Po slisování je těleso pórovité a málo pevné. Následuje spékání v několika stádiích. Výrobky, které po zapékání nezískaly svou finální podobu, jsou dále upravovány broušením. Jako poslední následuje nanášení povlaku. [9]



Tab. 2.1 Obecné rozdělení slinutých karbidů do jednotlivých tříd P, M, K [2; 6].

Vhodnost použití	Kód
Aplikace	
Dokončovací a lehké hrubovací operace, uhlíkové oceli se zvýšenou obrabitelností HB < 180, Rm < 620 MPa; vyšší obsah S, P – HB < 240, Rm < 830 MPa	P10
Středně těžké hrubování, méně příznivé podmínky, uhlíková ocel C < 0,25 % - HB < 180, Rm < 620 MPa; C < 0,55 % - HB < 240 MPa	P20
Středně těžké hrubovací operace, zvolení rezných podmínek záleží na žíhání / vytvrzení Legovaná ocel s obsahem legujících prvků do 10 %, < 360 HB, Rm < 1240 MPa	P30
Těžké hrubování ocelí a odlitků, přerušovaný řez, malé rezné rychlosti a posuvy Legovaná ocel pro nástroje a formy < 45 HRC, Rm < 1450 MPa	P40
Dokončování korozivzdorné oceli, feritické oceli, nevytvrditelné s obsahem Cr HB 160 – 220, Rm 520 – 700 MPa	M10
Lehké hrubovací operace korozivzdorné, martenzitické oceli, vytvrditelné s obsahem Cr Kalené < 280 HB, Rm < 950 MPa, precipitačně vytvrzené < 380 HB, Rm 1300 MPa	M20
Hrubování korozivzdorných austenitických ocelí s obsahem Cr, Ni, Mn HB 200 – 300, Rm 750 – 1040 MPa	M30
Hrubování houževnatých, povrchově zušlechťených ocelí, austeniticko – feritické, duplexní HB 300 – 380, Rm 990 – 1320 MPa	M40
Šedá litina Feritická 180 – 240 HB, Rm 190 – 310 MPa, Perlitická 240 – 280 HB, Rm 310 – 390 MPa	K10
Temperovaná litina Feritická 160 – 200 HB, Rm 400 – 550 MPa, Perlitická 200 – 240 HB, Rm 550 - 660 MPa	K20
Tvárná litina Feritická 180 – 220 HB, Rm 550 – 660 MPa, Perlitická 220 – 260 HB, Rm 680 – 800 MPa	K30
Austenitická litina Šedá litina HB < 180, Rm < 190 MPa, tvárná litina HB < 240, Rm < 740, Izotermicky kalená tvárná litina 280 – 360 HB, Rm 840 – 1280 MPa	K40



Obr. 2.15 Postup výroby slinutých karbidů [9].

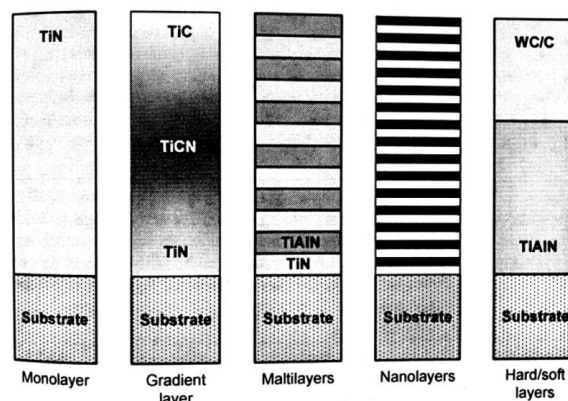
## 2.5 Povlakování slinitých karbidů

Zásadní vliv na opotřebení břitových destiček má povlakování. Povlakování značně navyšuje produktivitu nástroje. Povlak je na substrát nanášen jako tenká vrstva s nízkým koeficientem tření. Zastoupení slinitých karbidů jako řezných materiálů zastupuje přibližně 53 % trhu s řeznými nástroji a v 80 – 90 % jsou to nástroje povlakované PVD neb CVD formou. Povlakované karbidy vynikají svojí řezivostí díky široké škále odolnosti vůči opotřebení a zejména mikrogeometrii řezné hrany. Abychom zvýšili produktivitu, musí tento materiál odolat zvýšeným teplotám v řezu, vysokému mechanickému zatížení řezné hrany a poskytovat chemickou ochranu při zvýšených teplotách, vzhledem k rostoucí potřebě je aplikovat na těžké obrábění a hůře obrobitelné materiály. Při vysokoproduktivních metodách obrábění, při obrábění na sucho nebo při obrábění těžko-obrobitelných materiálů, je povlakování nástrojů nezbytnou součástí. Povlaky navyšují tvrdost povrchu, abrazivní a adhezni vlastnosti a obecně odolnost proti opotřebení. Díky tomu prodlužují trvanlivost a životnost nástroje. Povlaky dále snižují řezné síly, snižují tření pro lepší odvod třísek, v důsledku toho snižují vznik tepla v řezu a část tepelné energie, která vniká do nástroje a zlepšují kvalitu povrchu. [6; 7; 16; 20; 22]

Při obrábění na sucho dochází k vyššímu zatížení břitu, zejména při kontinuálním úběru materiálu a při obrábění materiálů s vyšší tvrdostí (více jak 45 HRC) nebo s nízkou tepelnou vodivostí jako jsou kalené materiály nebo vysoce-legované slitiny na bázi Niklu. Z toho plyne, že povlakování slinitých karbidů je nezbytné. [20]

Běžné povlaky pro slinité karbidy jsou např. TiN, TiC – základní povlak pro zvýšení odolnosti proti abrazivnímu opotřebení, tepelná stabilita je do 600°C. TiCN – jedno nebo více vrstvý povlak. Vyšší odolnost proti opotřebení než TiN. Tepelná stabilita je do 750°C. TiAlN – povlakování vhodné pro vysoké řezné parametry a pro suché obrábění. Vynikající poměr pevnosti a houževnatosti díky vícevrstvé struktuře. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – zaručuje chemickou stálost. [6; 12]

Povlaky bývají nanášený buď jednovrstvě nebo vícevrstvě s různou kombinací pro dosažení optimálních vlastností povlaku (obr. 2.16). Vícevrstvé povlaky bývají obvykle silné 5 – 15 μm. Jednotlivé tloušťky bývají v jednotkách nanometrů. [1; 7; 20]



Obr. 2.16 Způsoby nanášení povlaků [6].

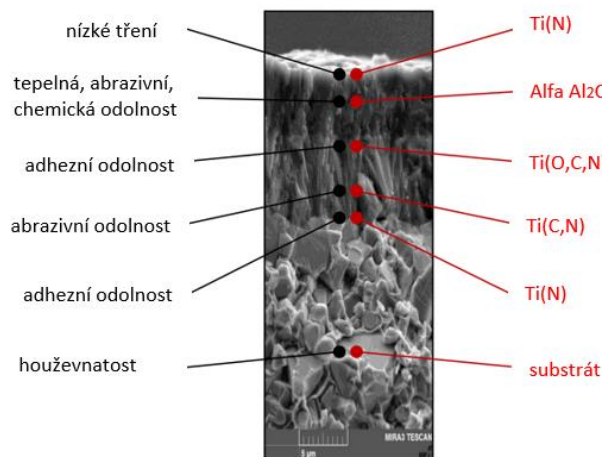
Břitové destičky jsou povlakovány pomocí metod PVD (Physical Vapor Deposition) nebo CVD (Chemical Vapor Deposition) a metod z nich vycházejících jako PACVD (Plasma Assisted CVD) nebo MTCVD (Middle Temperature CVD). Fyzikální napařování (PVD) je proces vakuového protahování, zahrnující atomizaci nebo odpařování odstraněného materiálu. Je to proces, kdy jsou povlaky vytvářeny za sníženého tlaku (0,1 – 1 Pa) kondenzací částic, které jsou uvolňovány ze zdrojů částic rozprašováním nebo odpařováním. Vrstva povlaku je vytvářena z jednotlivých dopadajících částic atomů, které se spojují v zárodky, až vytvoří souvislou vrstvu, která roste a zvětšuje svou tloušťku. Ostrá řezná hrana je udržována díky

menší tloušťce vrstvy. Další výhodou této metody je vysoká odolnost vrstev a nízký koeficient tření. [20; 22]

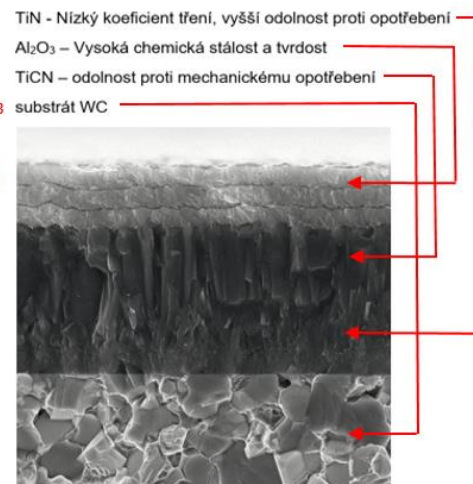
Chemické napařování (CVD) je tepelně aktivovaný proces využívající plynou reakční komoru. Snadno tak lze dosáhnout různého složení vrstev. Chemický základ se zavádí do komory s cílem vytvořit tenký film na substrátu s kondenzací. Při tvoření silných vrstev jsou CVD povlaky ekonomicky výhodnější. Nevýhodou CVD procesu jsou teploty nanášení, které se pohybují kolem 800 – 1200 °C. [20; 22]

Při porovnání s PVD metodou jsou vyžadovány vyšší teploty, protože se vytváří stejnoměrné a tlusté vrstvy. Silnější povlaky jsou spojovány s větší odolností proti abrazivnímu opotřebení, avšak brání k vytvoření ostré řezné hrany. Tyto úvahy naznačují, že CVD povlaky jsou vhodnější pro hrubovací operace, zatímco PVD povlaky jsou vhodnější pro dokončovací operace. [22]

Proces CVD při teplotách pod 750 – 800 °C se nazývá MTCVD. Popis MTCVD povlaku od firmy Dormer Pramet je zobrazen na obr. 2.17. Vysoká vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$  zaručuje mimořádnou tepelnou a chemickou stabilitu a vysokou ochranu substrátu, vysokou odolnost proti oxidaci a vysokou přilnavost k podkladu. Příklad vícevrstvého povlaku od firmy Ceratizit, používaného pro loupání tyčí, je zobrazen na obr. 2.18. [1; 20]



Obr. 2.17 Vícevrstvý povlak [21].



Obr. 2.18 Vícevrstvý povlak [1].

Bylo napsáno několik studií na rozbor povlaků při těžkém soustružení. Podle [24], při aplikování multivrstvého CVD povlaku ( $\text{TiN} / \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{TiCN}$ ) a jednovrstvého PVD povlaku ( $\text{TiCN}$ ) na slinutém karbidu, určeném pro těžké soustružení oceli AISI 4340, ČSN 16 343. Řezné podmínky pro CVD povlakovaný nástroj  $v_c = 75 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,2 \text{ mm}$ ,  $a_p = 2 \text{ mm}$ , zatímco pro PVD povlakovaný nástroj  $v_c = 75 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $f = 0,15 \text{ mm}$ ,  $a_p = 1,5 \text{ mm}$ . Podle autorů jsou tyto řezné podmínky limitní. Výsledky ukazují, že CVD povlakování vykazuje vyšší životnost nástroje, než PVD jednovrstvý povlak. V obou případech analýza opotřebení před kolapsem řezné hrany ukazuje mechanismy a složité jevy, působící v určitém okamžiku před kolapsem řezného nástroje. Podle [23] je rozebráno aplikování dvou druhů slinutých karbidů (ISO S15 a P15) při těžkém soustružení materiálů AISI 4340 (ČSN 16 343), AISI 52100 (ČSN 14109) a AISI D2 (ČSN 19 573). Slinutý karbid ISO S15 byl povlakován  $\text{TiAlN}$  PVD povlakem o tloušťce 2  $\mu\text{m}$ . Slinutý karbid ISO P15 byl povlakován třemi vrstvami ( $\text{TiCN} / \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{TiN}$ ) metodou MTCVD o tloušťce 16  $\mu\text{m}$ . S ohledem na životnost nástroje, slinutý karbid s PVD povlakem vykazoval lepší výsledky při obrábění oceli AISI 4340, zatímco slinutý karbid s MTCVD povlakem vykázal lepší výsledky při obrábění oceli AISI 52100 a AISI D2. Výsledky ukazují limitní řezné podmínky pro těžké soustružení v závislosti na mikrostruktuře oceli a úrovni tvrdosti. [23]

### 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část diplomové práce je rozdělena do tří částí. První část se zabývá krátkodobými zkouškami řezivosti a porovnáním dvou typů břitových destiček od rozdílných výrobců, označených jako VBD – A, VBD – B, používaných ve firmě. Vyhodnocení zahrnuje výsledky opotřebení, výsledky tvaru třísek a řezných sil. Druhá část se zabývá krátkodobými zkouškami řezivosti deseti nově vyvinutých typů břitových destiček, označených jako VBD 1 – 10. Vyhodnocení zahrnuje výsledky opotřebení, tvaru třísek, drsnosti povrchu a výsledky řezných sil. Testování probíhalo na VUT v Brně. Vybrané břitové destičky, které nejlépe obstály v krátkodobých zkouškách, byly následně doporučeny pro testování v provozních podmínkách. Třetí část praktických zkoušek se zabývá porovnáním nových typů břitových destiček a stávající břitové destičky VBD – B v provozních podmínkách firmy.

#### 3.1 Obráběcí stroj

Zkoušky byly prováděny na VUT v Brně na hrotovém soustruhu SU 50A/1500 (obr. 3.1).  
Parametry stroje: Hmotnost – 3260 kg

Celkový příkon stroje – 11 kW

Oběžný průměr nad ložem – 500 mm

Oběžný průměr nad suportem – 250 mm

Vzdálenost mezi hroty – 1500 mm

Otáčky – max.  $1400 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$



Obr. 3.1 hrotový soustruh SU 50A/1500.

#### 3.2 Obráběný materiál

Zkoušky řezivosti na VUT v Brně byly prováděny na materiálu, který byl dodán firmou pro testování. Jedná se o nízkoaloyovanou chrom-molybdenovou ocel, vhodnou k zušlechťování, s označením dle EN 42CrMo4, ČSN 15 142, W.Nr 1.7225. Chemické složení oceli je zobrazeno v tab. 3.1, mechanické vlastnosti v zušlechťovaném stavu jsou zobrazeny v tab. 3.2. Jedná se o ocel s vyšší prokalitelností používanou pro namáhané strojní díly. Hodnota tvrdosti po zakalení dosahuje přibližně 58 HRC. Tvrdost po zakalení záleží podle vzdálenosti od kalené plochy

(tab. 3.3). Dodaný materiál má označení +HH, to znamená zúžený pás prokalitelnosti vzhledem k horní hranici. [25; 28]

Tab. 3.1 Obsažení legujících prvků v Fe v hmotnostních %.

Chemické složení													
C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	W	V	Co	Al	Sn
0,422	0,77	0,307	0,014	0,007	0,05	1,18	0,04	0,193	0,01	0,007	0,007	0,03	0,004

Tab. 3.2 Mechanické vlastnosti obráběného materiálu [28].

Průměr [mm]	R <sub>e</sub> min. [MPa]	R <sub>m</sub> [MPa]	A min. [%]	Z min. [%]	KV min. J
d ≤ 16	900	1100 - 1300	10	40	-
16 - 40	750	1000 - 1200	11	45	35
40 - 100	650	900 - 1100	12	50	35
100 - 160	550	800 - 950	13	50	35
160 - 250	500	750 - 900	14	55	35

Tab. 3.3 Hodnoty prokalitelnosti od povrchu [28].

Rozsah [mm]	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
Max. [HRC]	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
Min. [HRC]	56	56	55	54	52	48	46	44	41	39	38	36	36	35	34

### 3.3 Měřicí zařízení

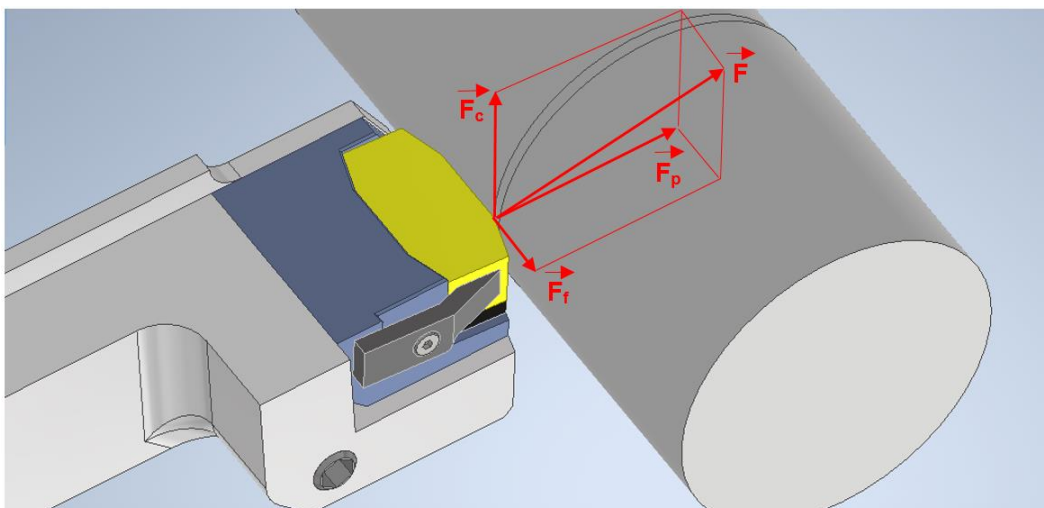
Způsob měření řezných sil pomocí dynamometru je zobrazen na obr. 3.2. Hodnoty řezných sil  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  korelují se silami  $F_f$ ,  $F_p$ ,  $F_c$ . Celková řezná síla  $F$  byla následně spočítána podle následujícího vztahu 3.1. Při obrábění břitovými destičkami pro loupání tyčí dochází k vysoké hodnotě pasivní složky síly, vzhledem k vysoké hodnotě tření hřbetní plochy.

$$\text{Celková řezná síla} \quad F = \sqrt{F_f^2 + F_p^2 + F_c^2} \quad [N] \quad 3.1$$

$F_f$  = posuvová složka řezné síly [N]

$F_p$  = pasivní složka řezné síly [N]

$F_c$  = řezná síla [N]



Obr. 3.2 Řezné síly.

Pro měření sil byla použita piezoelektrická soustava Kistler 9257B. Tento dynamometr funguje jako deska namontovaná na třech snímačích síly a je tak možné měřit síly ve třech ortogonálních směrech. Výboj, ke kterému dochází, je následně zpracován v zesilovači 5070A. Naměřená data jsou získána pomocí softwaru DynoWare, kde dochází k nastavení parametrů ze zesilovače a grafickému zobrazení naměřených sil, které lze exportovat. Schéma měření je zobrazeno na obr. 3.3.



Obr. 3.3 schéma měření řezných sil. [26]

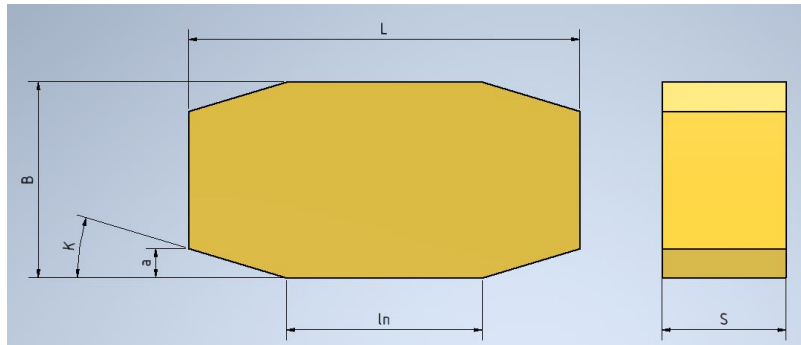
Měření textury povrchu obrobku, geometrie břitu a optické měření břitu bylo provedeno na přístroji Alicona IF – G5 (obr. 3.4). Měření tvaru a velikosti třísek bylo měřeno na přístroji ZEISS Stemi 200C (obr. 3.4).



Obr. 3.4 měřicí zařízení. Zleva: Alicona IF – G5. Zprava: mikroskop ZEISS Stemi 200C.

### 3.4 Testování dosavadních břitových destiček

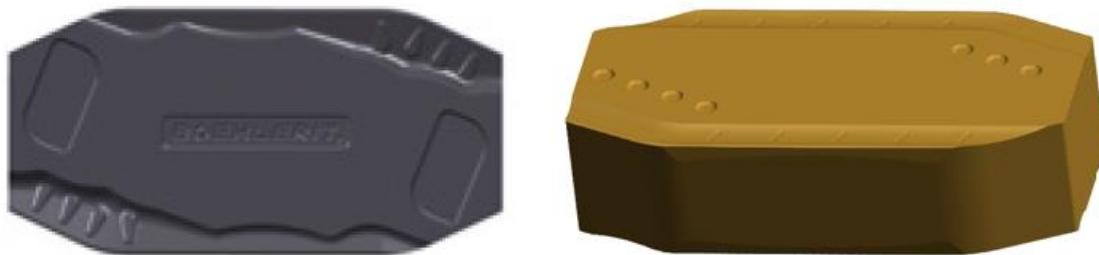
Pro testování dosavadního stavu byly vybrány dvě břitové destičky od různých výrobců používané ve firmě (obr. 3.5). Porovnávané břitové destičky jsou stejného tvaru, tedy L. Jejich rozdíl je ve složení substrátu, povlaku a tvaru čelního utvařeče.



Obr. 3.5 značení břitové destičky pro loupání tyčí. [3]

Rozměry břitových destiček, podle obr. 3.5 jsou:

$l = 40 \text{ mm}$ ;  $l_n = 20 \text{ mm}$ ,  $B = 20 \text{ mm}$ ,  $s = 10,2 \text{ mm}$ ,  $a = 3 \text{ mm}$ ,  $\kappa = 25^\circ$



Obr. 3.6 Porovnávané břitové destičky; vlevo) VBD – A [3]; vpravo) VBD – B [1]

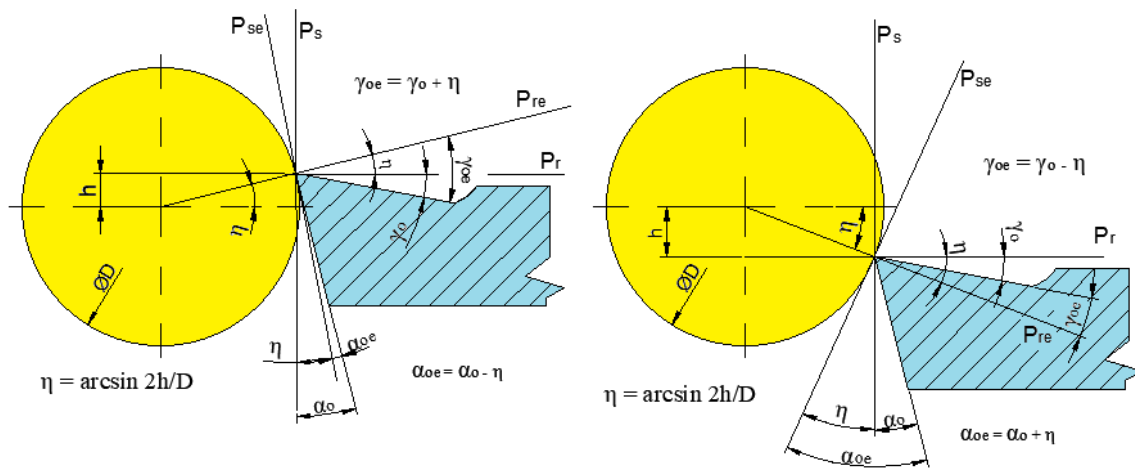
Břitové destičky jsou v loupacím stroji při provozních podmínkách upnuty v nástrojovém držáku pomocí upínky (obr. 3.7 zleva). Při praktických zkouškách na VUT v Brně bylo vyrobeno lůžko pro břitovou destičku (obr. 3.7 zprava) s úhlem sklonu  $5^\circ$ .



Obr. 3.7 Upnutí břitové destičky. Zleva: stávající stav upnutí destičky v provozu. Zprava: upnutí břitové destičky v držáku na VUT v Brně.

Při ustavení destičky do držáku nebylo přesně stanoveno, jak má být nastavena destička vzhledem k ose obrobku. Destička byla upnuta mezi podložky, díky kterým, jak už bylo zmíněno v kap. 1.2, kromě potřebné opory v lůžku a ochrany dosedací plochy lze dosáhnout vycentrování řezné hrany do osy obrobku. Pokud je řezná hrana umístěna pod osou obrobku, obráběcí proces je náchylnější na vibrace. Řezná hrana umístěná nad osou obrobku způsobuje

vyšší tlak mezi břitovou destičkou a obrobkem (obr. 3.8). Při testování byla řezná hrana vycentrována do osy obrobku. [1; 8]



Obr. 3.8 Ustavení nástroje vzhledem k ose obrobku [14].

### 3.4.1 Řezné podmínky

Při testování na VUT v Brně bylo třeba zvolit řezné podmínky adekvátní k obráběnému materiálu a najít tak limitní podmínky podobné k provozním podmínkám, které byly doporučeny pro obrábění oceli 42CrMo4 firmou. Břitová destička byla upnuta do lůžka mezi dvě karbidové podložky pro lepší tlumení vibrací (obr. 3.9). Při obráběcím procesu byly měřeny řezné síly pomocí dynamometru Kistler 9257B, dalším měřítkem pro porovnání byla tvorba třísek a opotřebení břitové destičky, měřené na přístroji Alicona IF – G5 a dílenském mikroskopu ZEISS. Pro testování byly zvoleny následující řezné podmínky. Řezné podmínky byly stejné pro obě testované břitové destičky.

Obráběný průměr:  $D = 38,2 \text{ mm}$

Otáčky:  $n = 1008 \text{ min}^{-1}$

Řezná rychlost:  $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv:  $f = 0,7 \text{ mm}$

Úběr:  $a_p = 1,5 \text{ mm}$

Chladicí / mazací kapalina: ano (6 – 8 %)

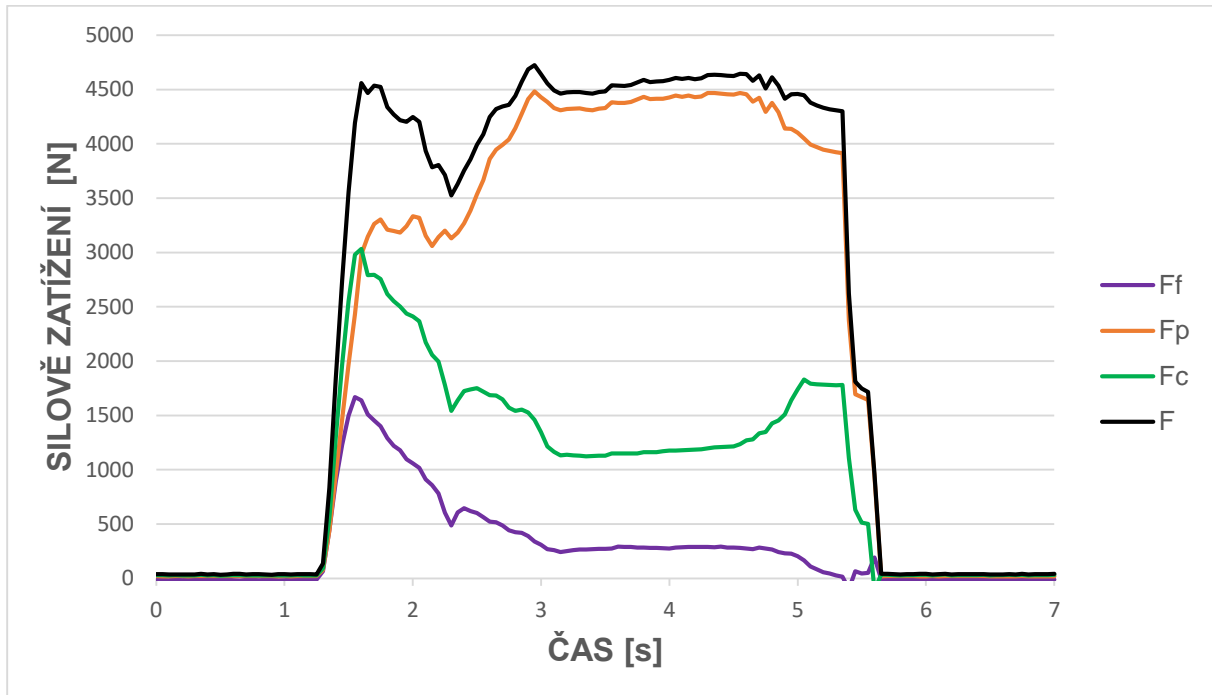


Obr. 3.9 Upnutí břitové destičky.

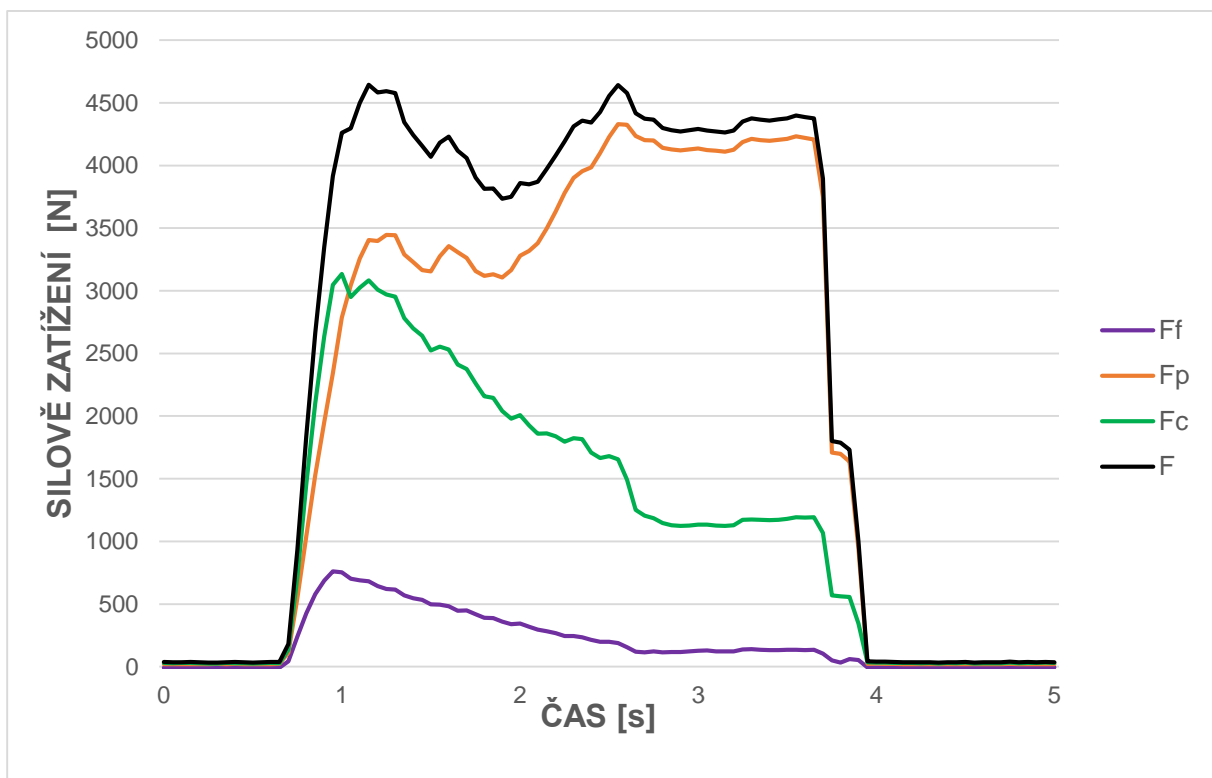


### 3.4.2 Vyhodnocení krátkodobých zkoušek VBD – A, B

Vyhodnocení silového zatížení břitových destiček s označením VBD – A, VBD – B, je zobrazeno na obr 3.10 a obr 3.11, kde je pro každou břitovou destičku zaznamenán jeden průjezd. Z dosažených výsledků je zřejmé, že silové zatížení je značně vysoké. Nejvyšší silové zatížení působí v pasivní složce síly. Rozhraní dynamometru na pasivní složku síly nebylo téměř dostačující.

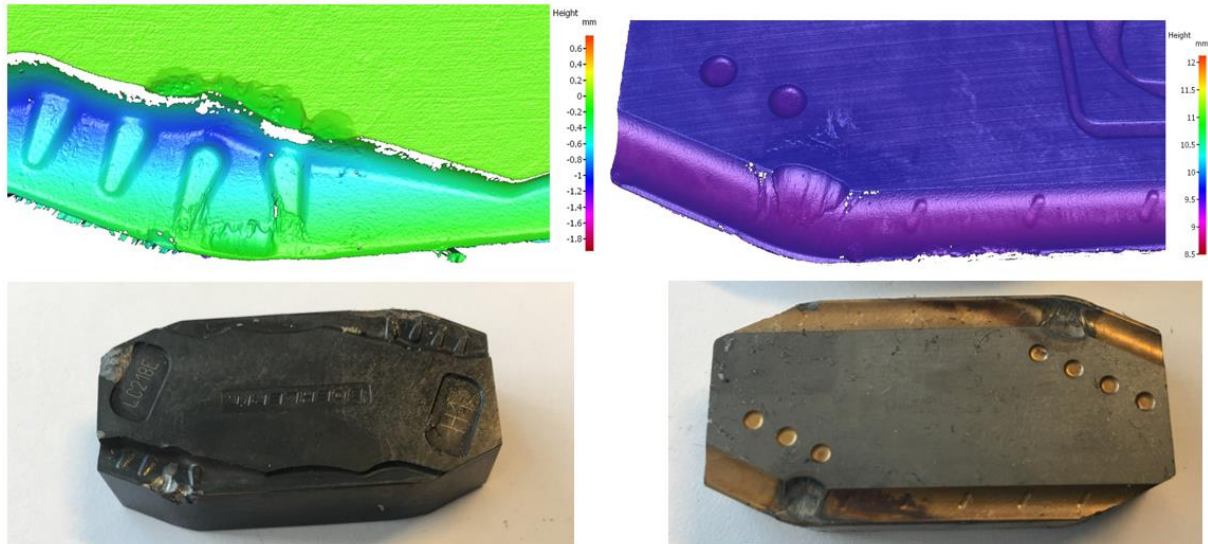


Obr. 3.10 Výsledné řezné síly pro VBD – A.

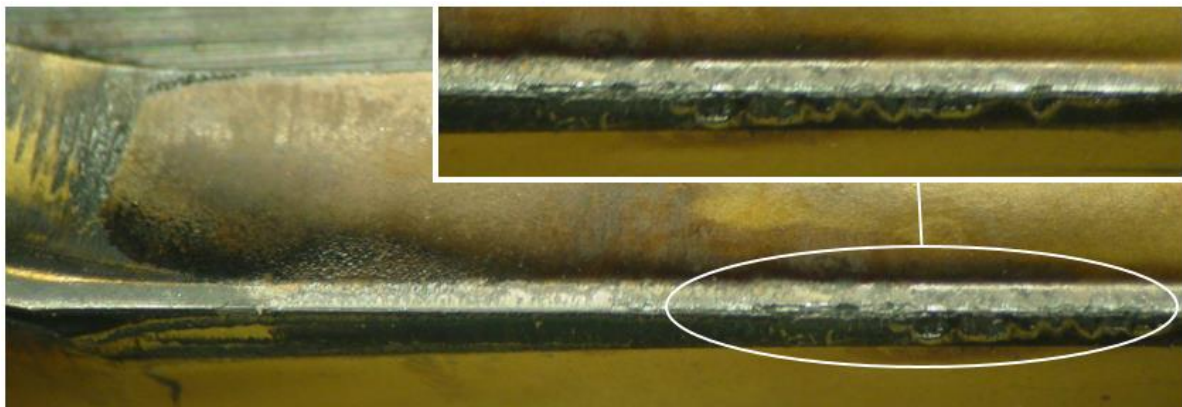


Obr. 3.11 Výsledné řezné síly pro VBD – B.

Opotřebení VBD – A vznikalo převážně na čelní ploše v místě utvařeče třísek, kde se objevilo rozsáhlé opotřebení v kombinaci abrazivního opotřebení a plastické deformace převážně v místě, kde břitová destička vstupuje do řezu. Tento utvařeč je tak nevyhovující. Opotřebení VBD – B se objevilo ve velkém rozsahu na čelní a hřbetní ploše. V místě utvařeče, kde dochází k nárazu a lámání třísky, vzniklo opotřebení plastické deformace. Na hřbetní ploše lze pozorovat značné abrazivní opotřebení (obr. 3.12).

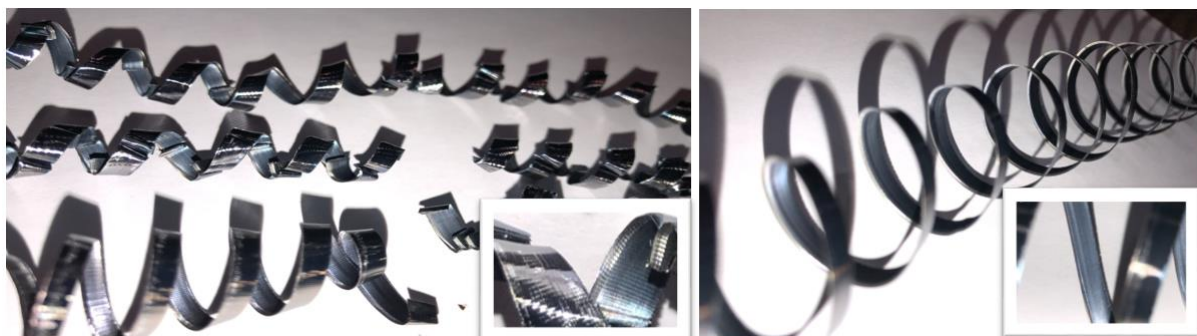


Obr. 3.12 Opotřebení břitových destiček. Zleva: VBD – A. Zprava: VBD – B.



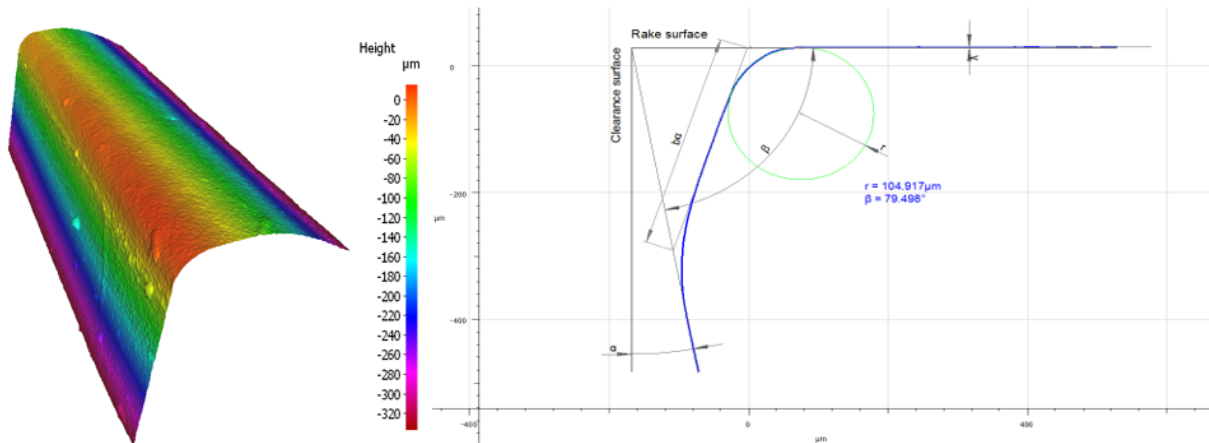
Obr. 3.13 Opotřebení na hřbetní ploše, VBD – B.

Tříska, odcházející z řezu, má nevyhovující tvar v obou případech testovaných břitových destiček (obr. 3.14). Utvařeč třísky se zdá být nevyhovující v obou případech.

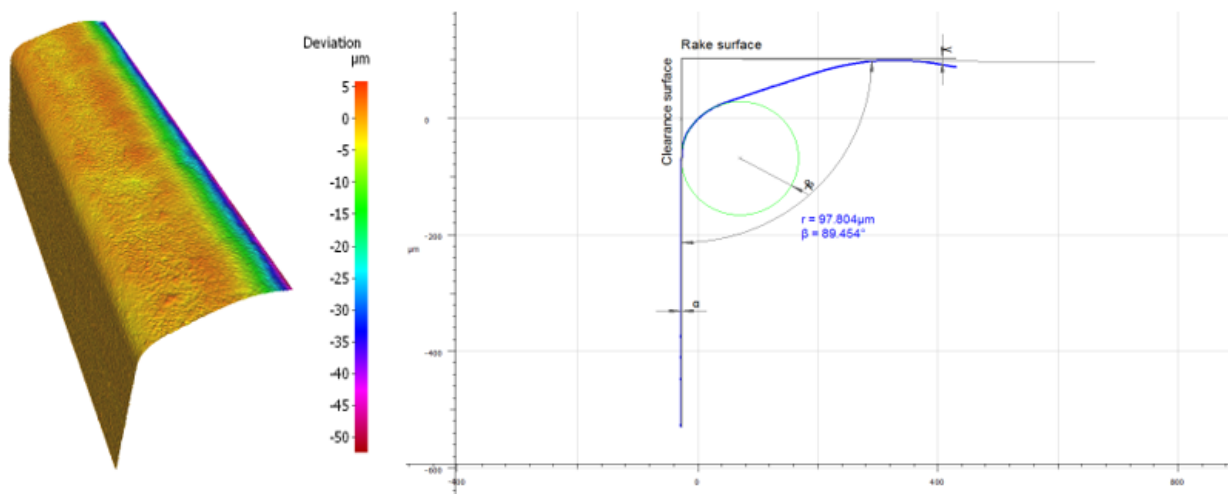


Obr. 3.14 Tříska, odcházející z řezu; a) VBD – A; b) VBD – B

Z provedených krátkodobých zkoušek bylo patrné, že u obou typů břitových destiček vznikalo nevýhodné silové zatížení, dále tříška odcházející z řezu byla nevyhovující a při lámání třísek vznikalo nežádoucí opotřebení difuzního typu. U obou destiček byla měřena také geometrie břitu na přístroji Alicona. Průřez geometrie břitu VBD – A je zobrazen na obr. 3.15. Průřez geometrie břitu VBD – B je zobrazen na obr. 3.16. Hodnoty z měření na přístroji Alicona jsou zobrazeny v příloze.



Obr. 3.15 Průřez břitové destičky VBD – A.



Obr. 3.16 Průřez břitové destičky VBD – B.

### 3.4.3 Kalibrační zkouška třením

Pro testované břitové destičky VBD – A, B byla provedena jako návrh pro inovaci nových typů břitových destiček kalibrační zkouška třením pro zlepšení kvality povrchu. Břitová destička byla umístěna středem hřbetní plochy do osy obrobku (obr. 3.17). Testování probíhalo na hrotovém soustruhu SU 50A/1500 (obr. 3.1). Obráběný materiál byl zvolen stejný, jako při zkouškách řezivosti, tedy ocel 42CrMo4, viz kapitola 3.2. Kalibrační plocha byla předpřipravena soustružnickým nožem PCLNP M 12. Břitová destička byla zvolena CNMG 12 04 08 EM – 6630. Úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r = 95^\circ$ . Struktura připravené soustružené plochy je zobrazena na obr. 3.18. Řezné podmínky pro úpravu polotovaru byly zvoleny následující:

Obráběný průměr:  $D = 38 \text{ mm}$

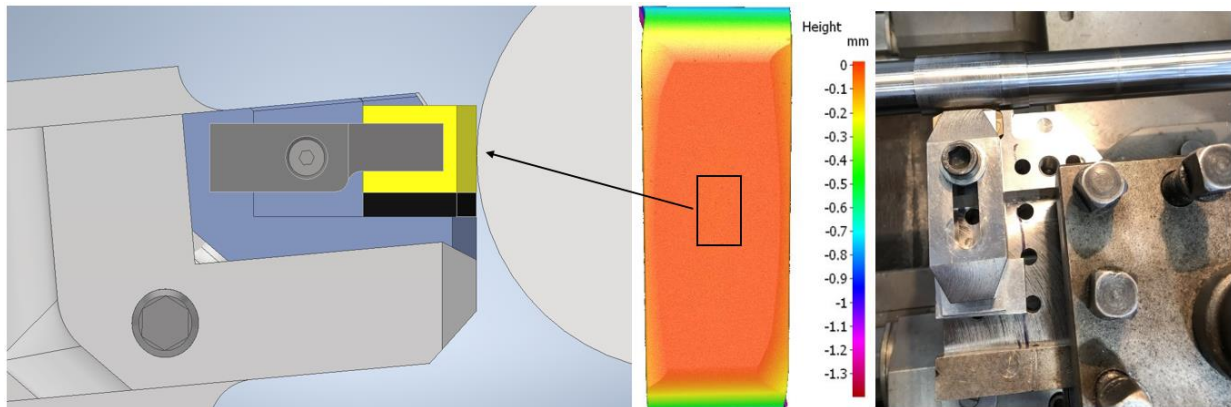
Otáčky:  $n = 1008 \text{ min}^{-1}$

Řezná rychlost:  $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

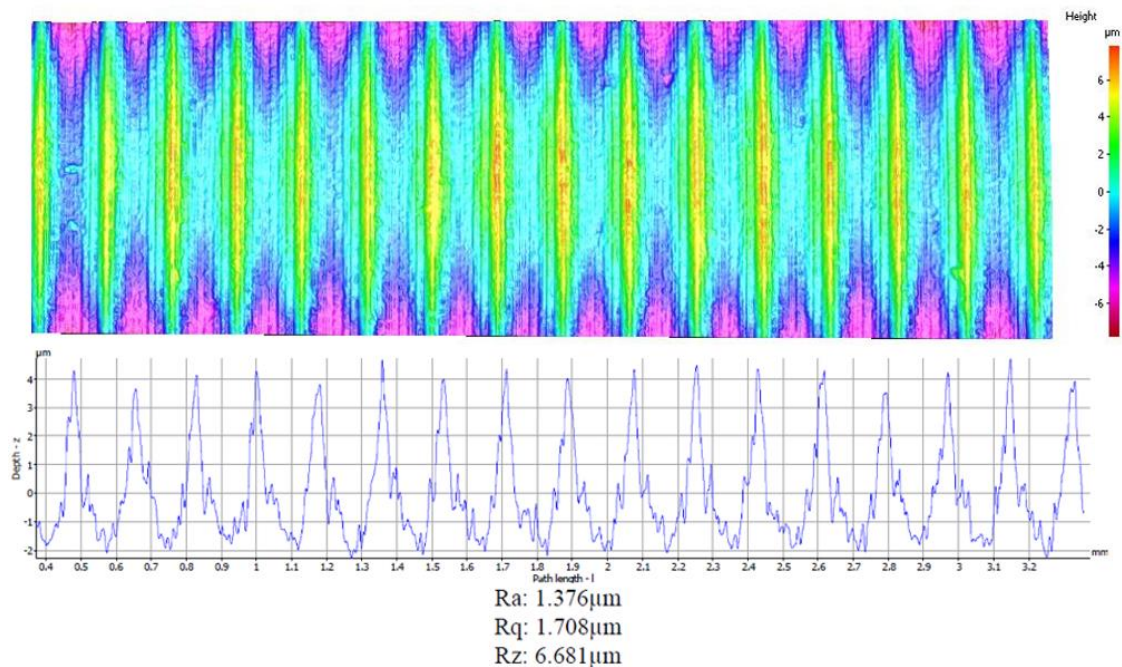
Posuv:  $f = 0,1 \text{ mm}$

Úběr:  $a_p = 1,5 \text{ mm}$

Chladicí / mazací kapalina: ne



Obr. 3.17 Ustavení břitové destičky při kalibrační zkoušce.

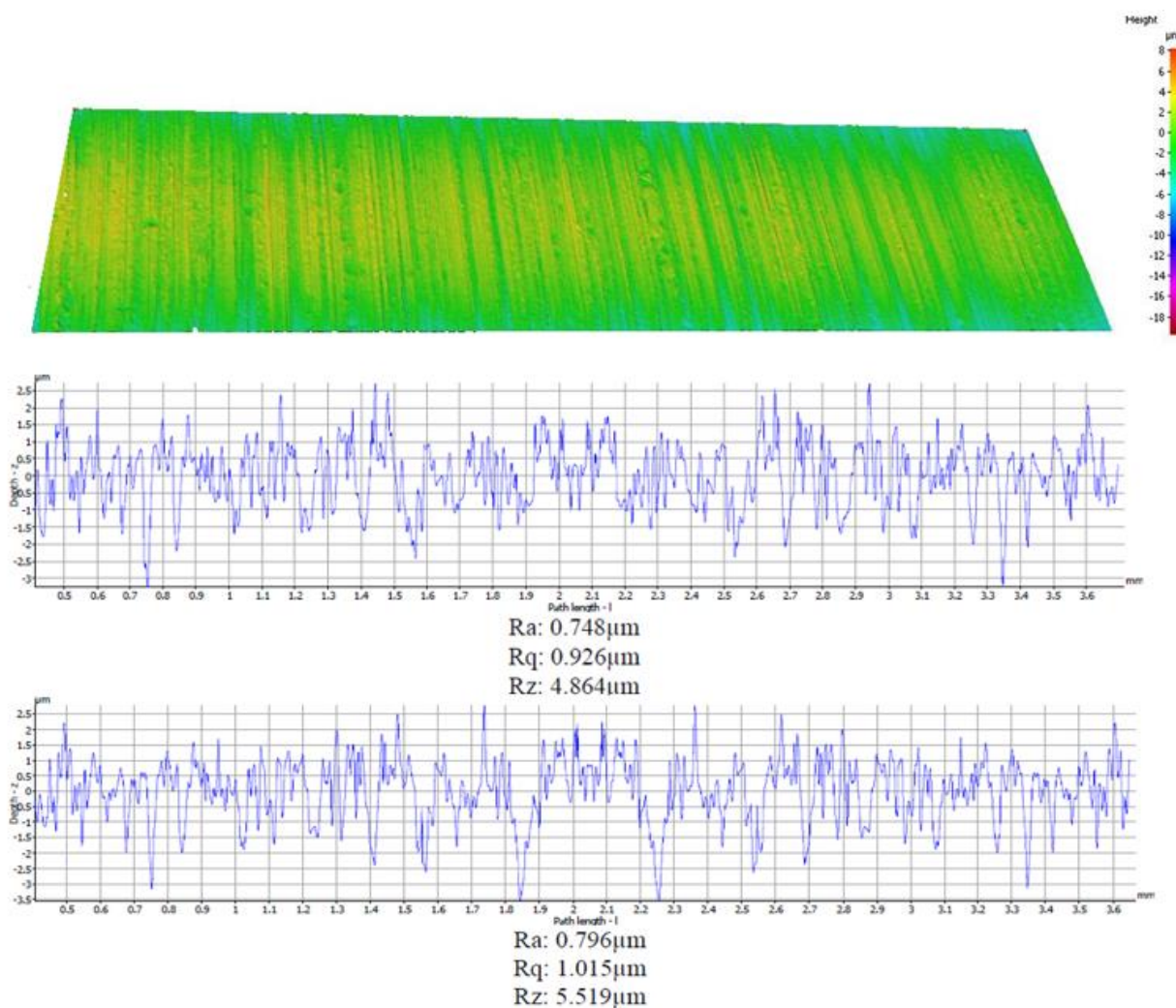


Obr. 3.18 Textura povrchu před kalibrační zkouškou.

Textura povrchu po kalibrační zkoušce a hodnoty drsnosti jsou zobrazeny na obr. 3.20. Hodnota drsnosti povrchu byla naměřena téměř stejná pro VBD – A i VBD – B. Povrch obrobku po kalibrační zkoušce je zobrazen na obr. 3.19.



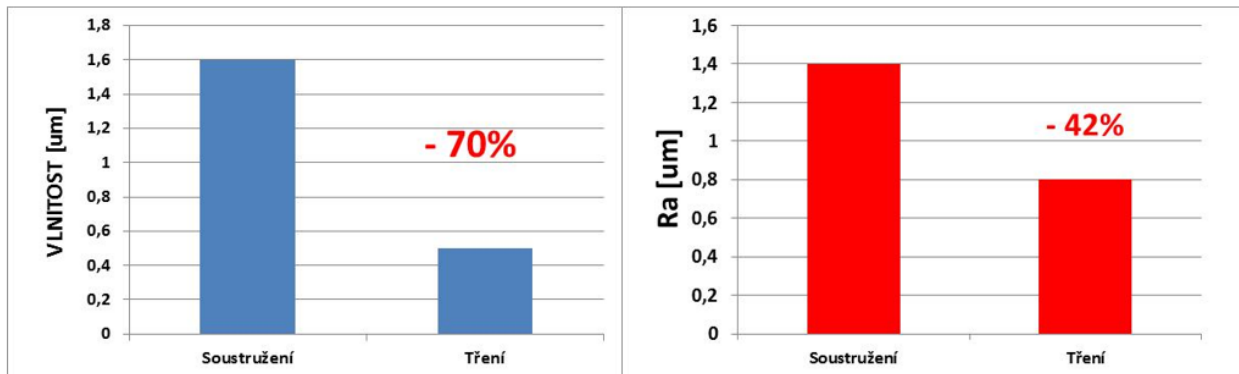
Obr. 3.19 Povrch součásti po kalibrační zkoušce.



Obr. 3.20 Textura povrchu po kalibrační zkoušce po VBD – A (horní), B (spodní).

Kalibrační zkouška třením byla provedena jako zkouška pro návrh hřbetní plochy břitové destičky. Povlak je zatačován do povrchu obrobku a díky tlakovému sevření v procesu a přísunu procesní kapaliny se dokáže proklouznout a nevyštípnout. Procentuální úspora proti soustruženému povrchu je vyjádřena na obr. 3.21. Proti soustruženému povrchu byla hodnota drsnosti **Ra** po třecí zkoušce zlepšena o 42 %. Pro kalibrační zkoušku je nutné použití emulze. Doporučený přírůstek pro průměr 30 mm by činil cca 0,05 mm. Pro kalibrování je však potřeba

stanovit přesnou hodnotu přídavku na průměr, vzhledem k rozměrové toleranci daného průměru.



Obr. 3.21 Porovnání kalibrační zkoušky po soustružení.

### 3.5 Testování nových typů břitových destiček

Druhá část praktických zkoušek se zabývá testováním deseti typů nově vyvinutých břitových destiček označených jako VBD 1 – 10. Každá břitová destička má stejný tvar, ale liší se složením substrátu, povlaku a jejich kombinací. Zhodnocení zkoušek břitových destiček stávajícího stavu přineslo nové návrhy na zlepšení. Byl tedy proveden nový návrh tvaru utvařeče, čela a hřbetu. Utvařeč byl upraven tak, aby lépe odolával nárazu břitové destičky do materiálu, aby nedocházelo k plastické deformaci a opotřebením na čelní ploše nástroje. Hřbetní plocha byla doplněna o odlehčení a dále upravena o kalibrační část, která má funkci plasticky zatlačovat materiál a tvořit tak lepší kvalitu povrchu obráběné tyče. Nové typy břitových destiček jsou součástí vývojového řízení, které ještě není ukončeno, a proto není možné zobrazit snímky a podrobnější popis břitových destiček.

#### 3.5.1 Řezné podmínky

Krátkodobé zkoušky byly opět prováděny na hrotovém soustruhu SU 50A/1500. Materiál, dodaný na testování břitových destiček, byl stejný, jako v první části testování, tedy ocel EN 42CrMo4, ČSN 15 142, W.Nr 1.7225. Chemické složení oceli je zobrazeno v kapitole 3.2 v tab. 3.1.

Pro začátek experimentu bylo nezbytné zvolit optimální řezné podmínky, které byly obdobné, jako při testování v první části experimentu. Přijatelný chod vřetene nastal při následujících řezných podmínkách, které byly zvoleny pro provedení experimentu.

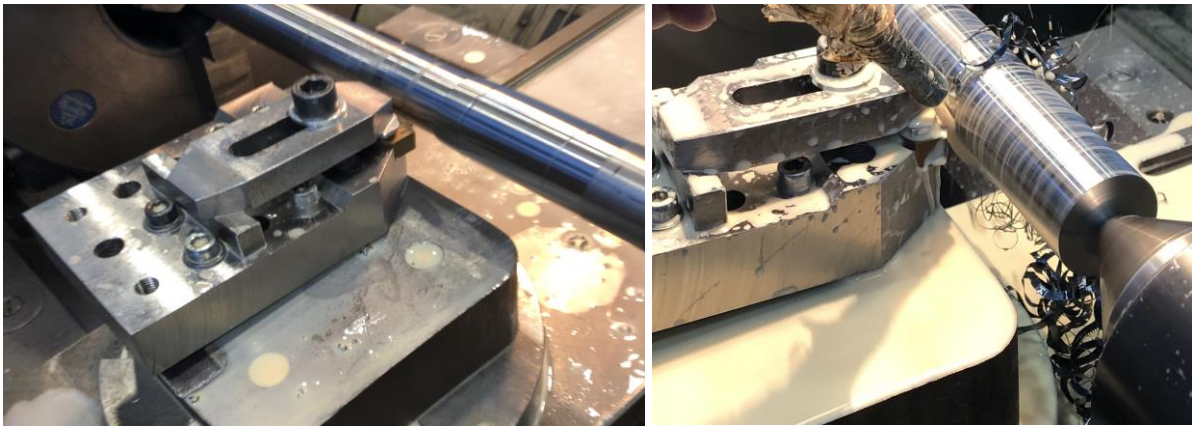
Řezná rychlost:  $v_c = 120 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Axiální šířka záběru:  $a_p = 1 \text{ mm}$

Posuv na otáčku:  $f = 0,95 \text{ mm}$

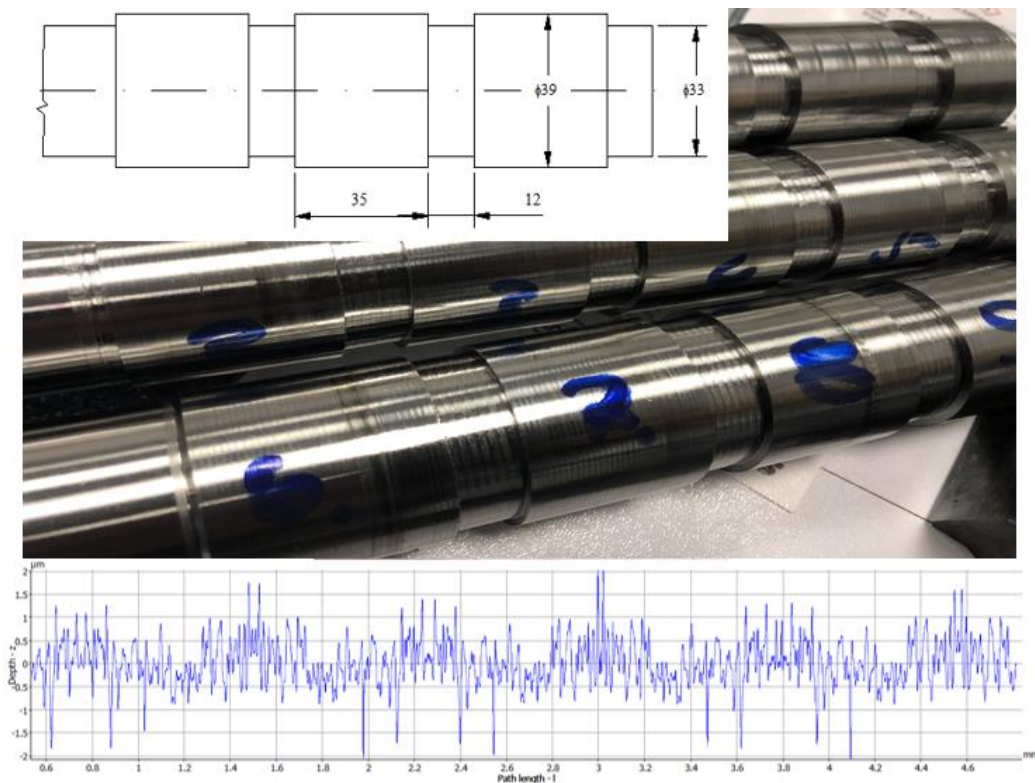
Chladicí – mazací kapalina: ano (6 – 8 %)

Upnutí VBD při stanovení optimálních řezných podmínek je zobrazeno na obr. 3.22.



Obr. 3.22 Upnutí břitové destičky při stanovení řezných podmínek.

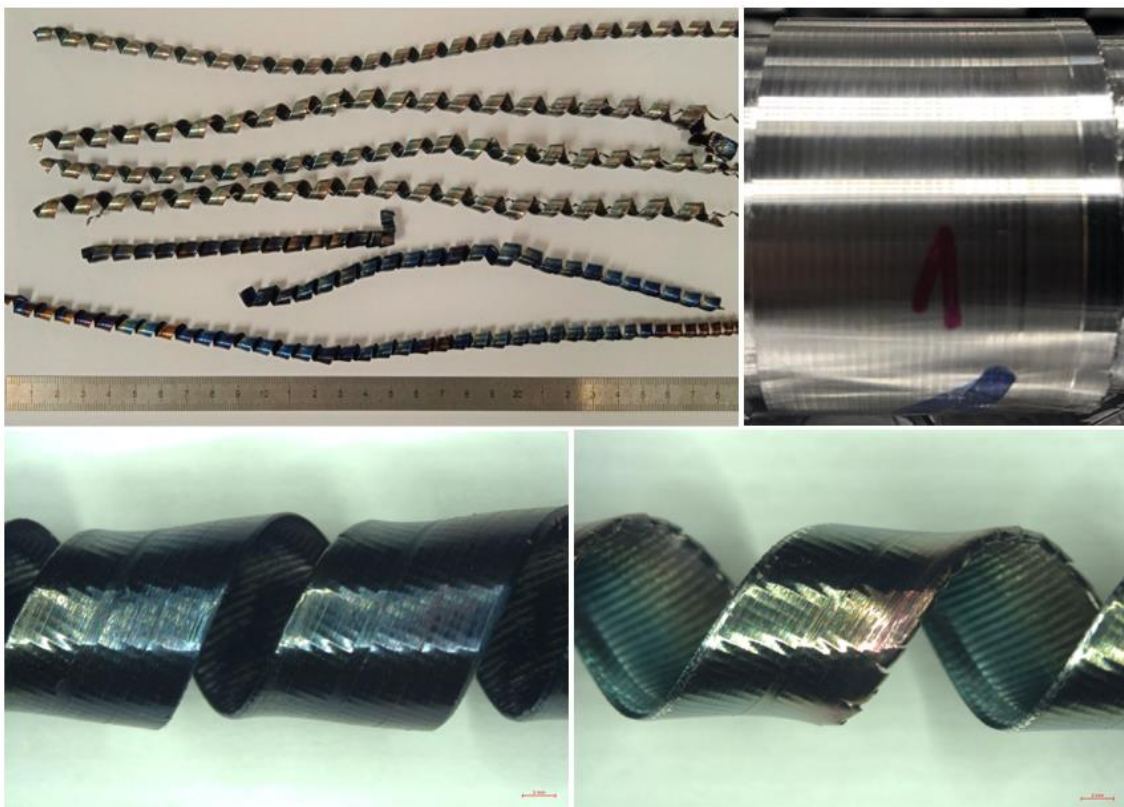
Obráběný materiál byl upraven na deset ploch pro každou břitovou destičku. Rozměry jsou zobrazeny na obr. 3.23. Drsnosti povrchu ploch připraveného materiálu byly změřeny na přístroji Alicona. Drsnost povrchu byla naměřena  $R_a = 0,372 \mu\text{m}$ ,  $R_z = 3,546 \mu\text{m}$ .



Obr. 3.23 Upravený materiál pro testování břitových destiček.

### 3.5.2 Vyhodnocení krátkodobých zkoušek VBD 1 – 10

Tvary třísek po obrobení jednotlivými typy břitových destiček (VBD 1 – 10) a obrobenu plochu, lze pozorovat na obr. 3.24 – 3.33. Grafy silového zatížení jsou zobrazeny na obr. 3.34 – 3.43. Vyhodnocení krátkodobých zkoušek nových typů břitových destiček je shrnuto na straně 50.

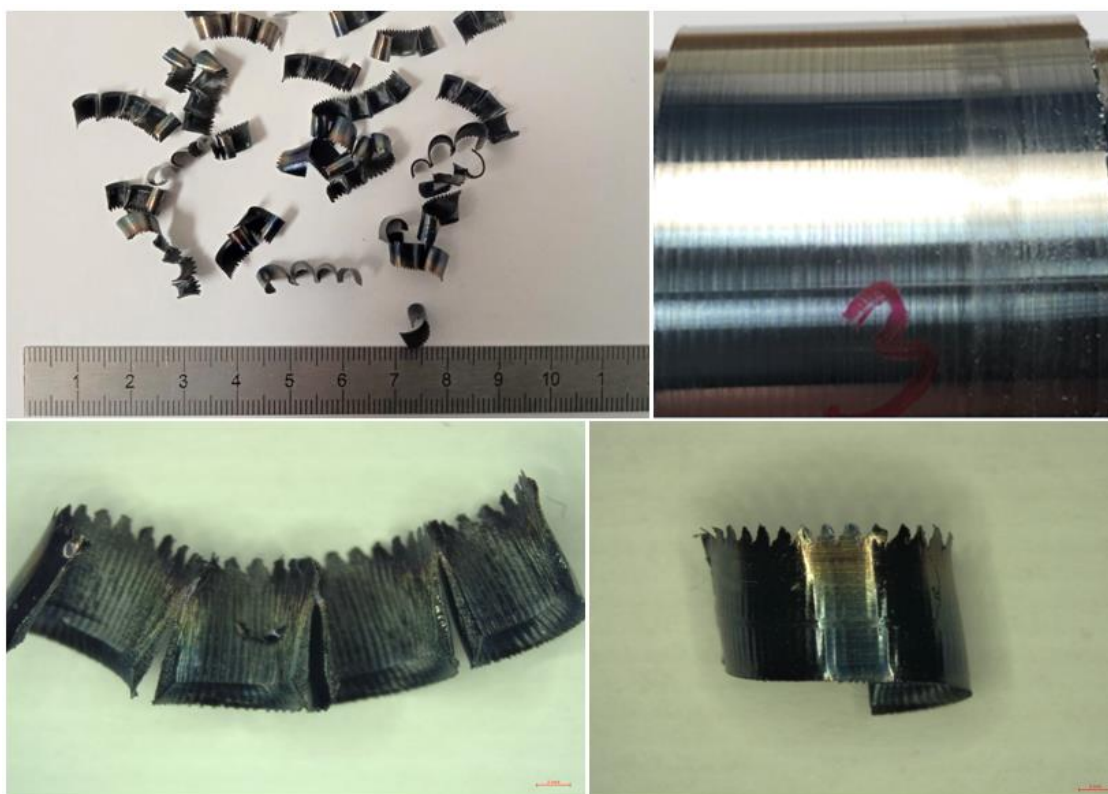


Obr. 3.24 Třísky a obroběný povrch, VBD 1.

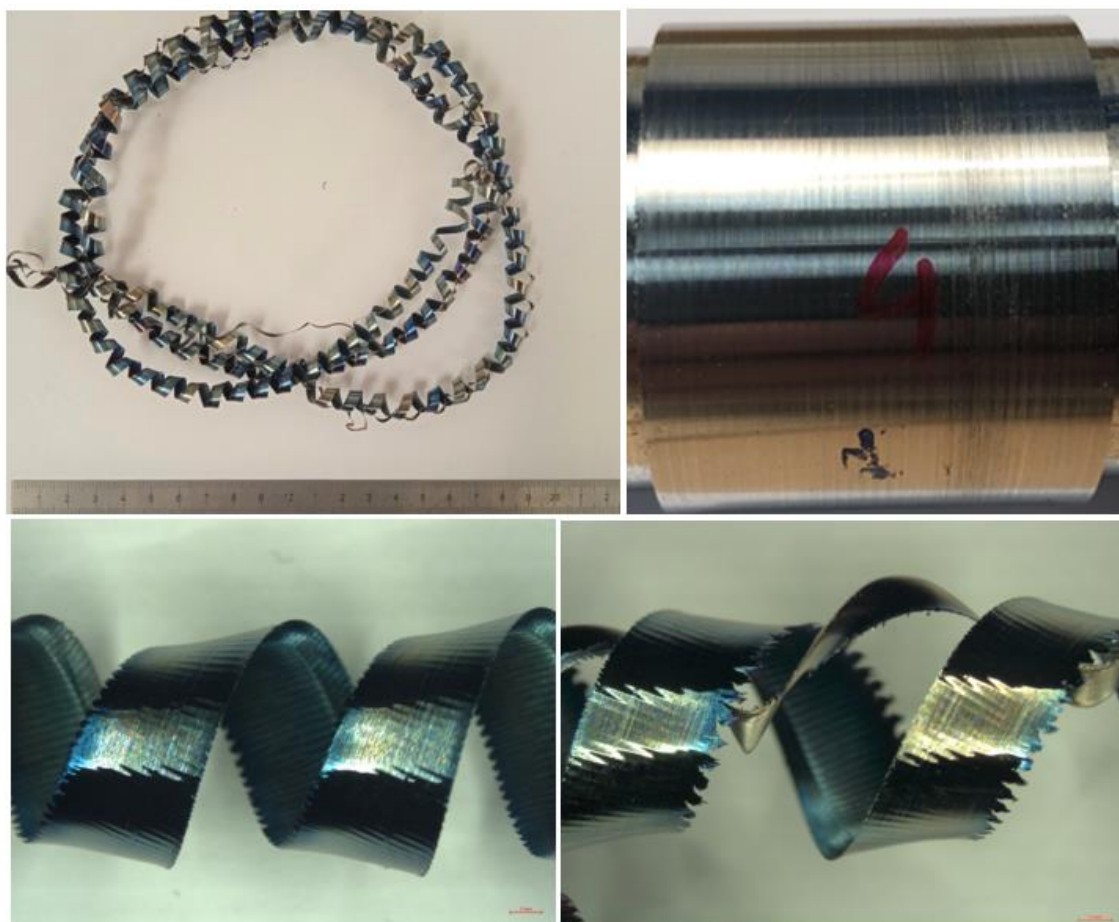


Obr. 3.25 Třísky a obroběný povrch, VBD 2.

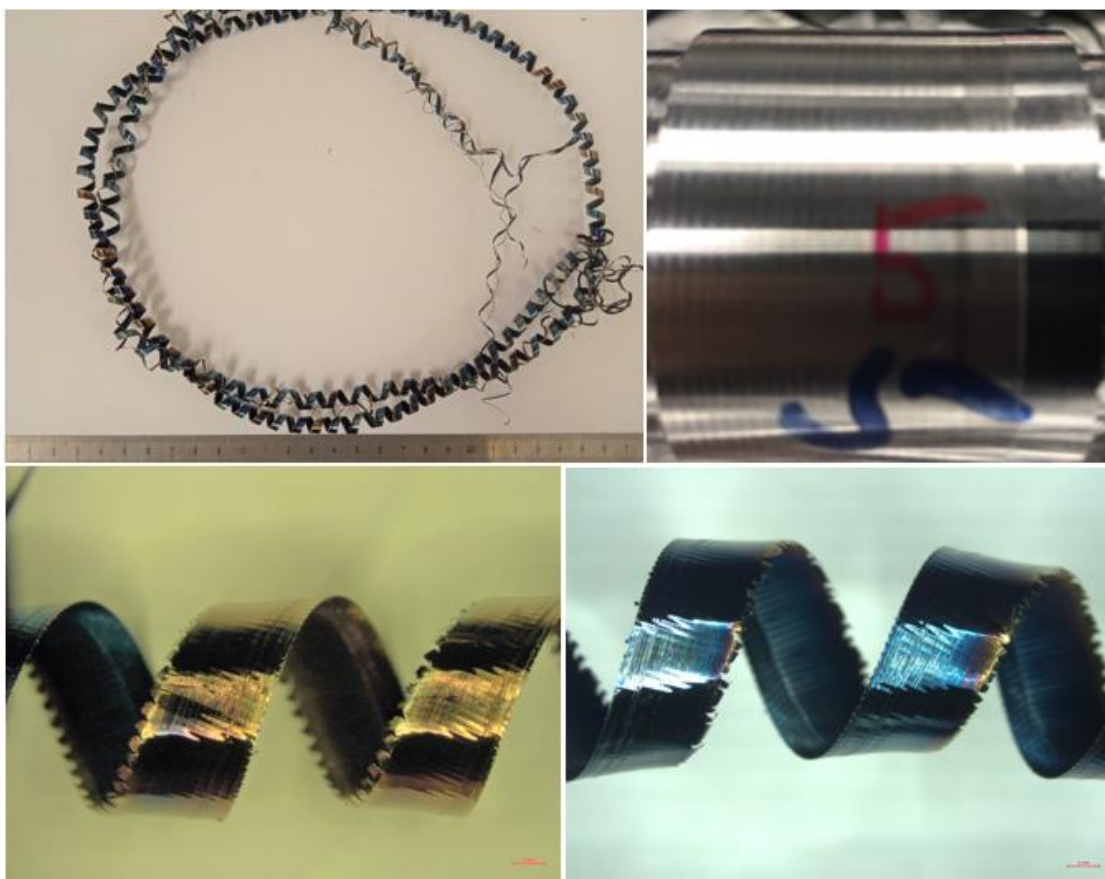




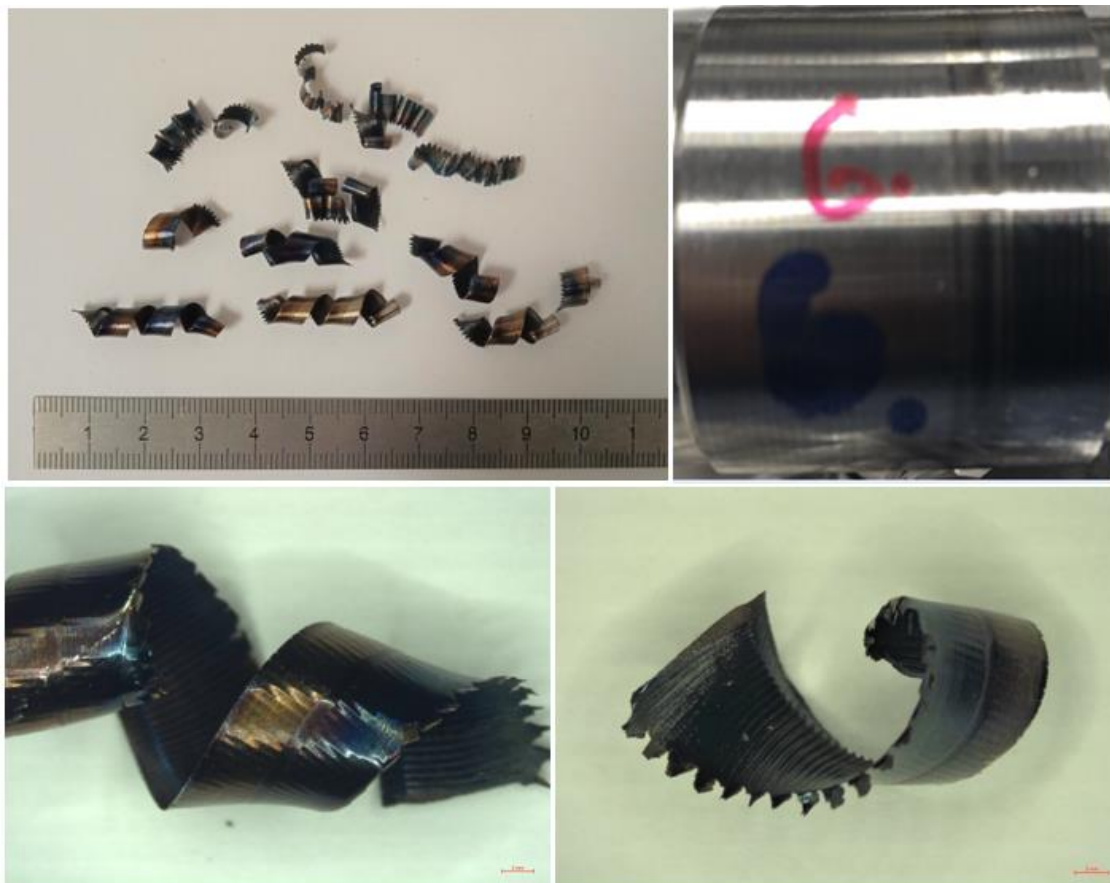
Obr. 3.26 Třísky a obrobený povrch, VBD 3



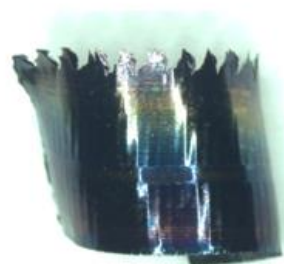
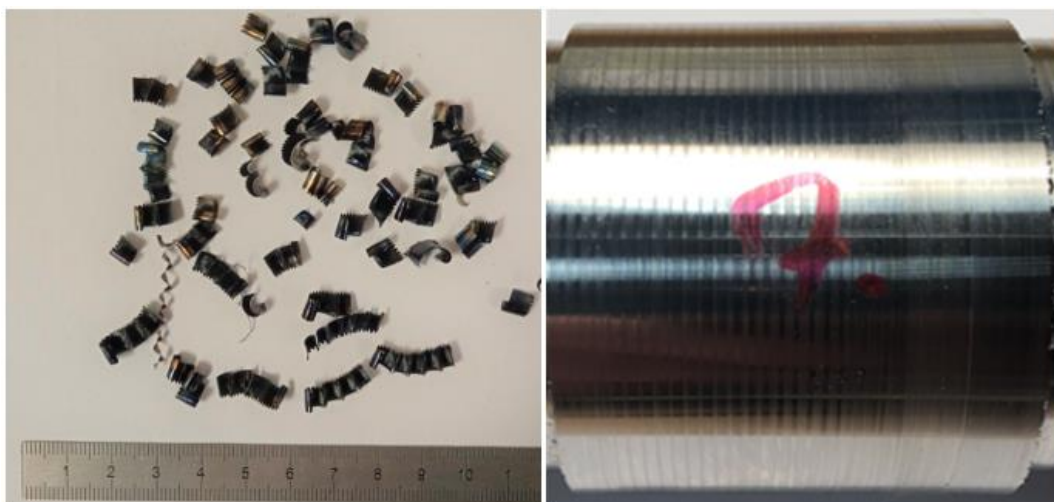
Obr. 3.27 Třísky a obrobený povrch, VBD 4.



Obr. 3.28 Třísky a obroběný povrch, VBD 5.



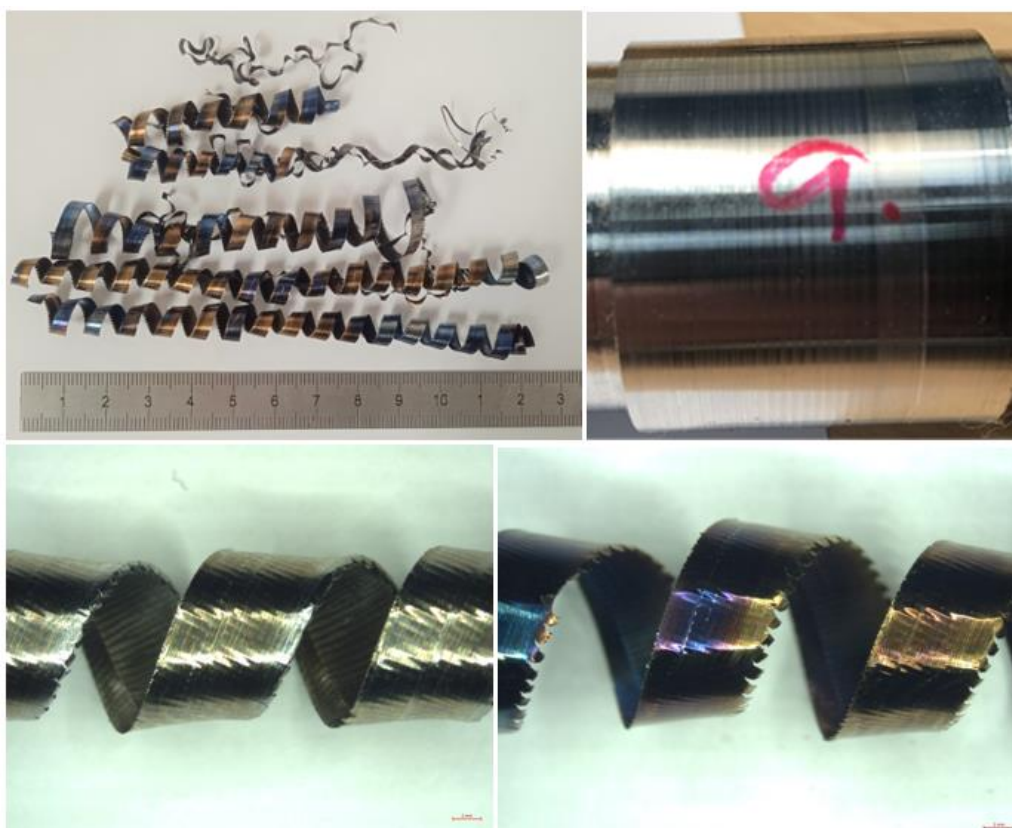
Obr. 3.29 Třísky a obroběný povrch, VBD 6.



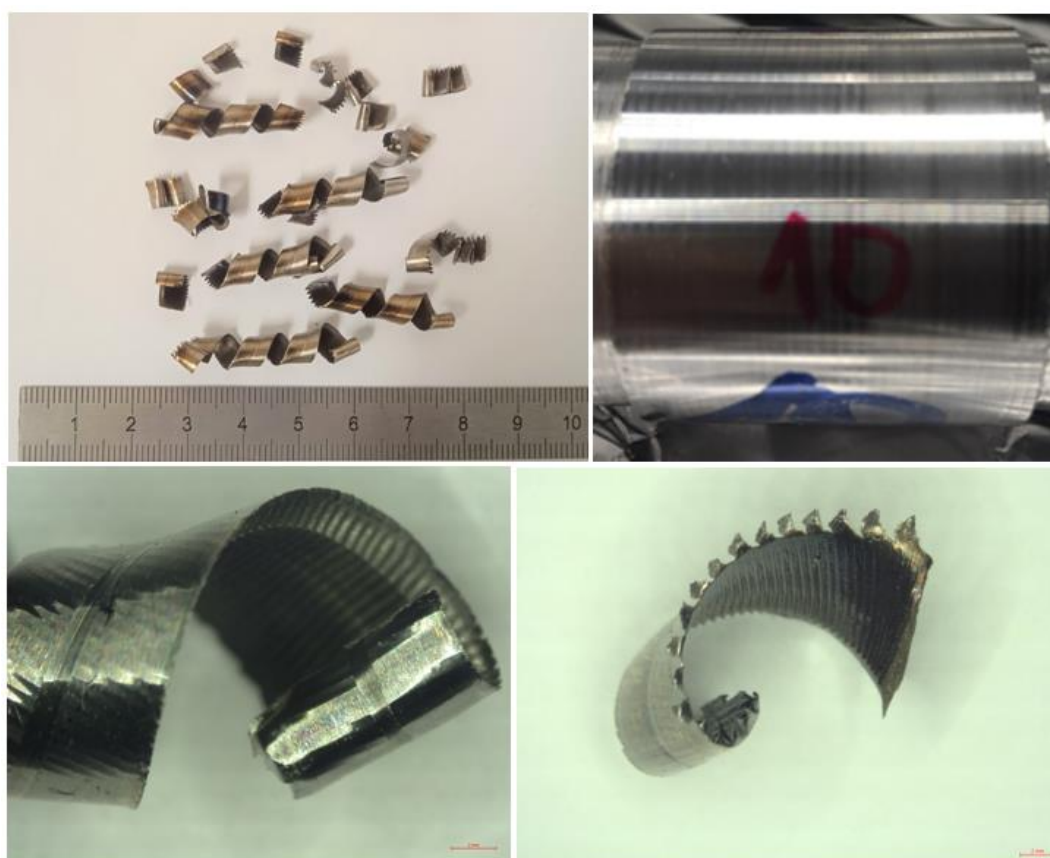
Obr. 3.30 Třísky a obrobený povrch, VBD 7.



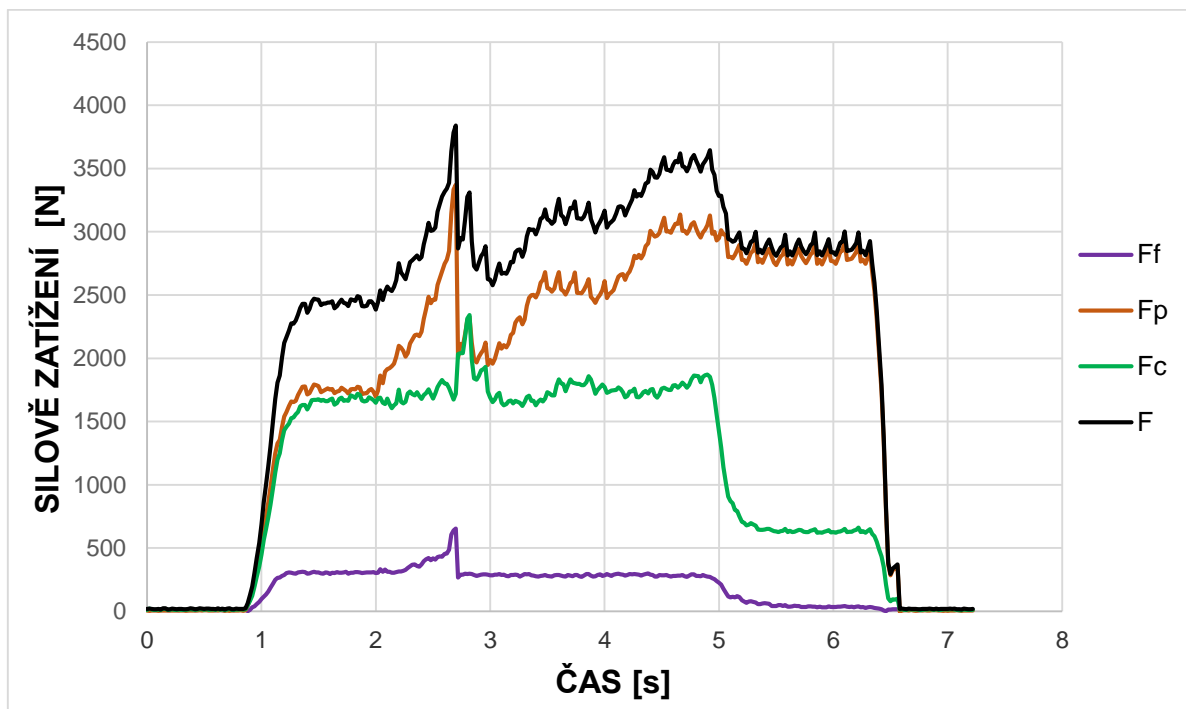
Obr. 3.31 Třísky a obrobený povrch, VBD 8.



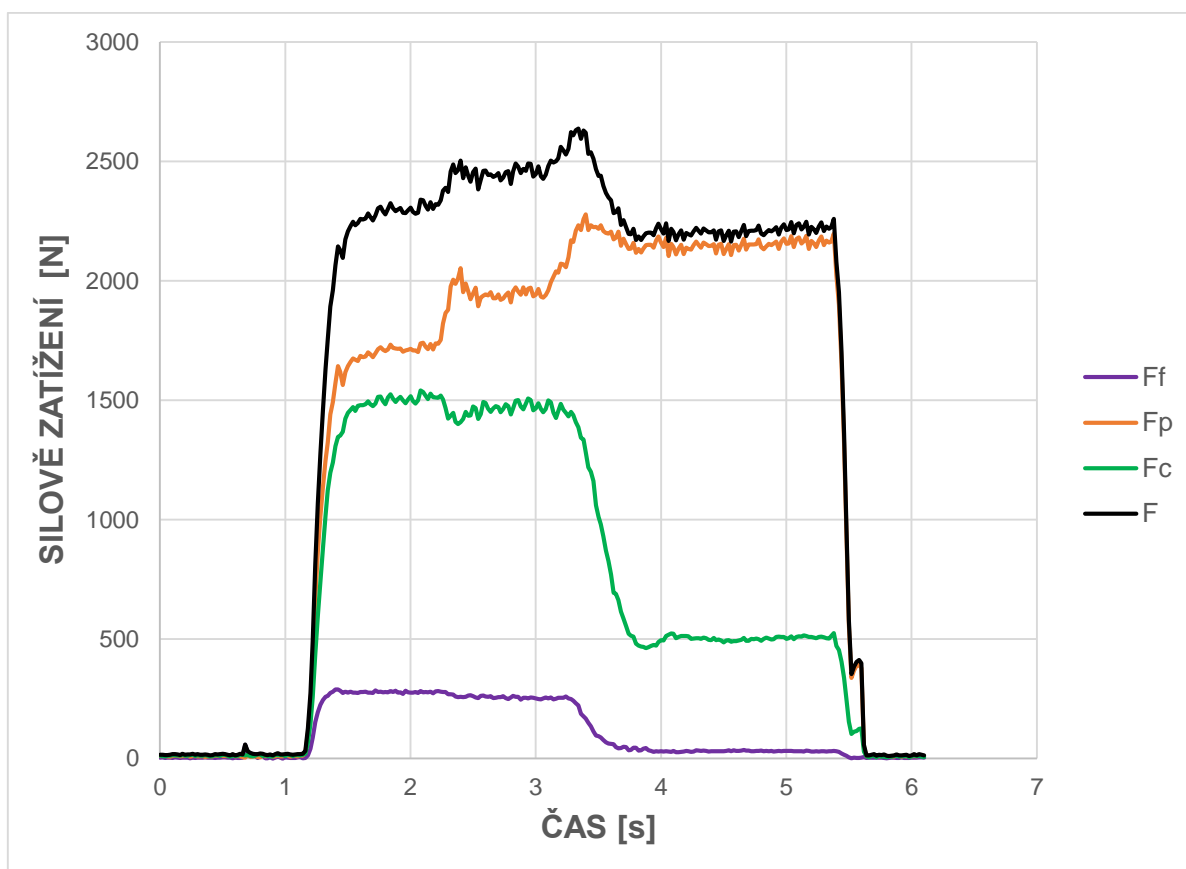
Obr. 3.32 Třísky a obroběný povrch, VBD 9



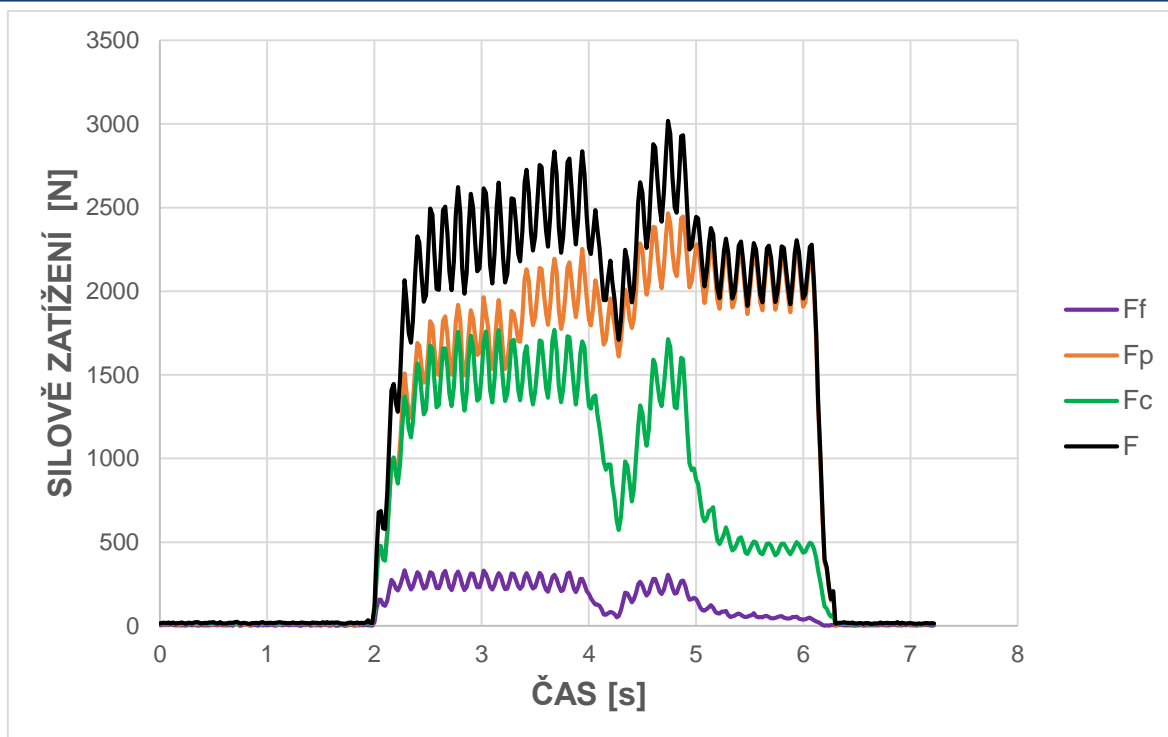
Obr. 3.33 Třísky a obroběný povrch, VBD 10.



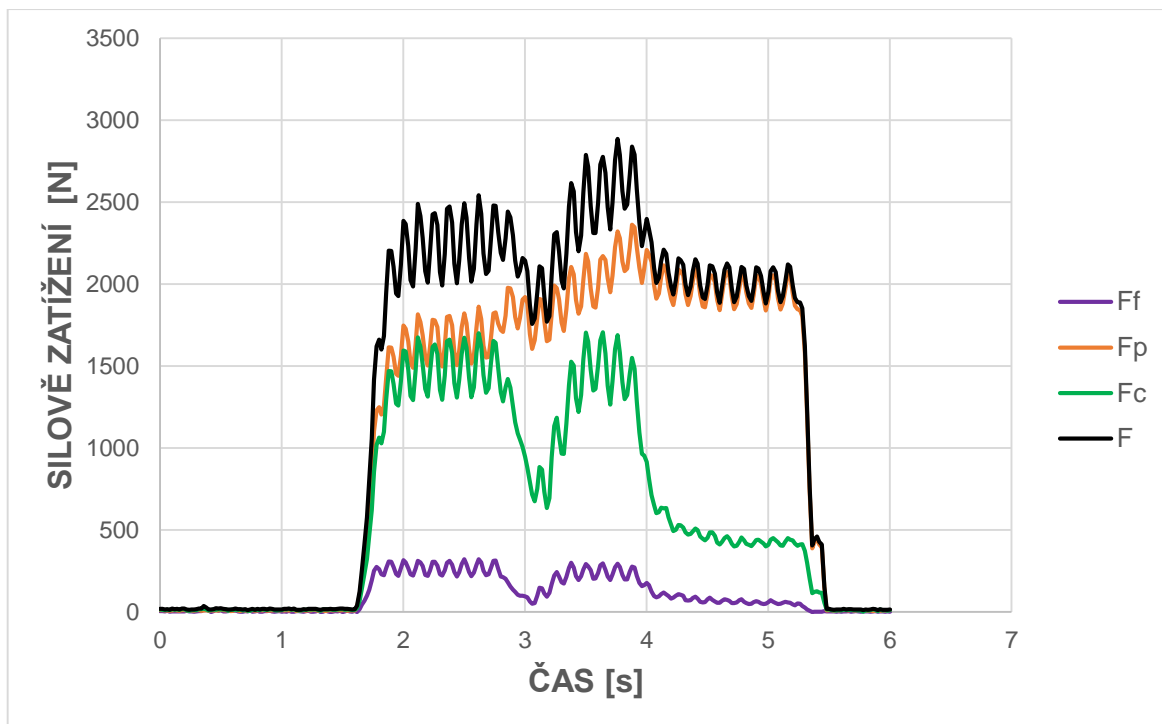
Obr. 3.34 Silové zatížení, VBD 1.



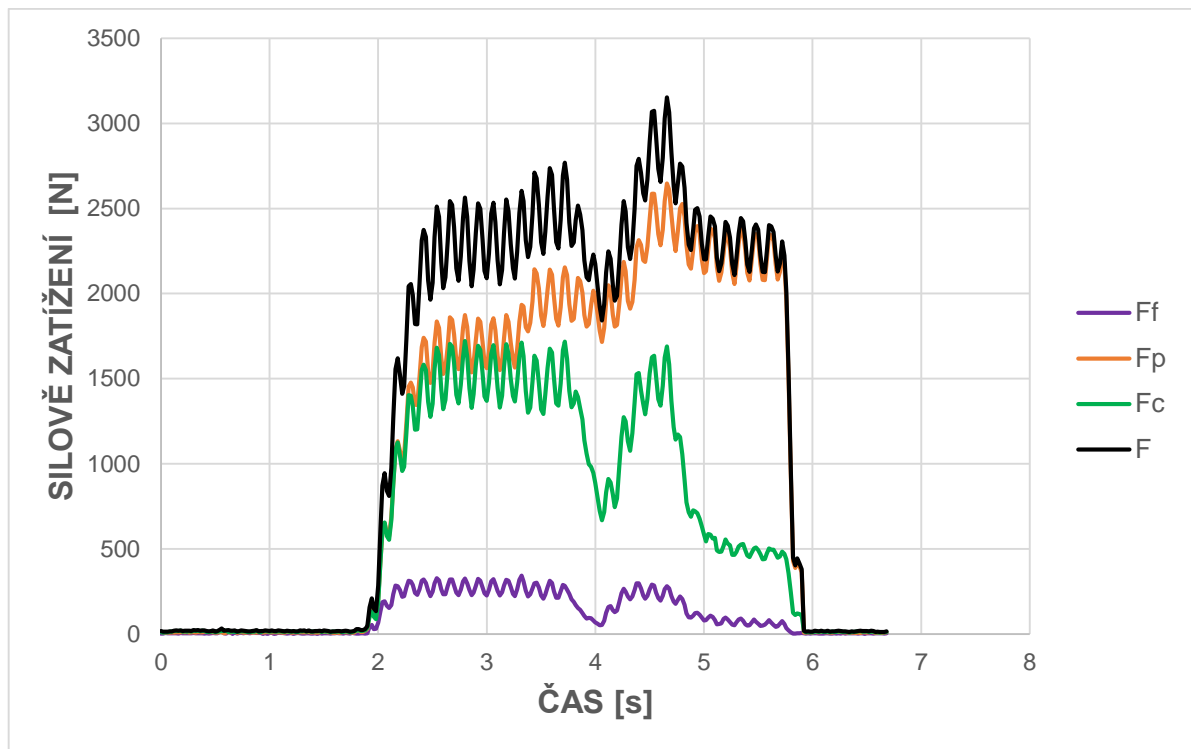
Obr. 3.35 Silové zatížení, VBD 2.



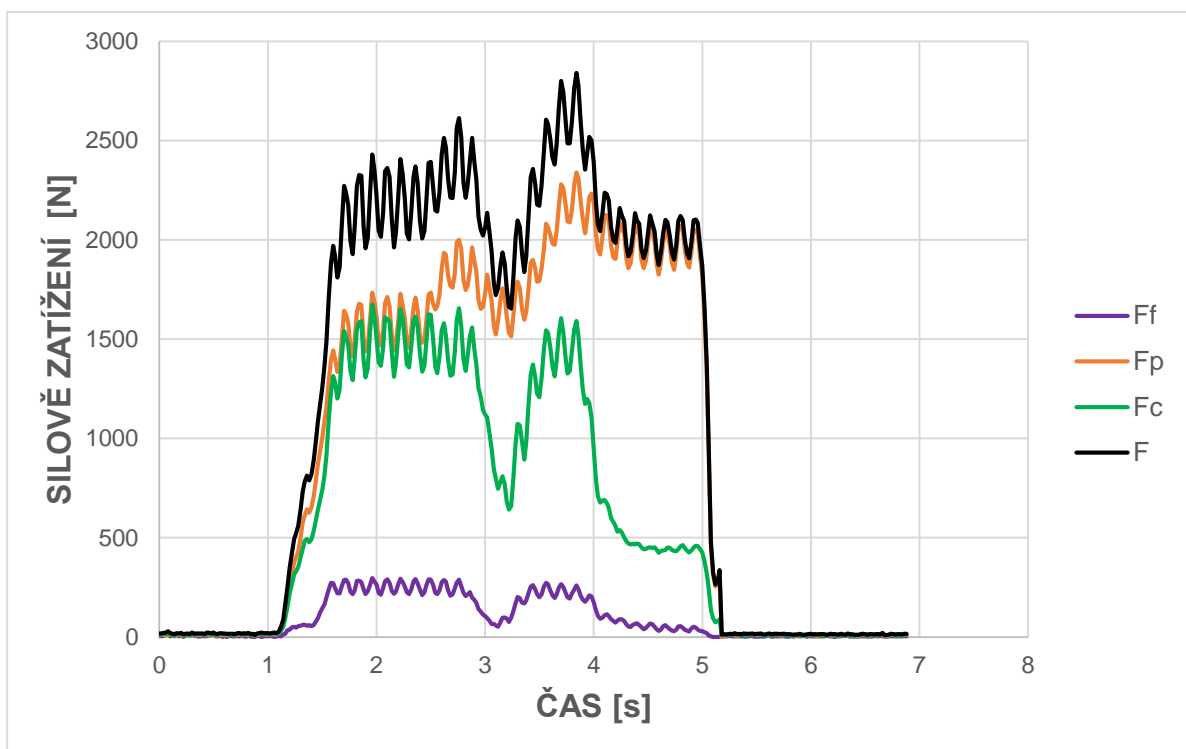
Obr. 3.36 Silové zatížení, VBD 3.



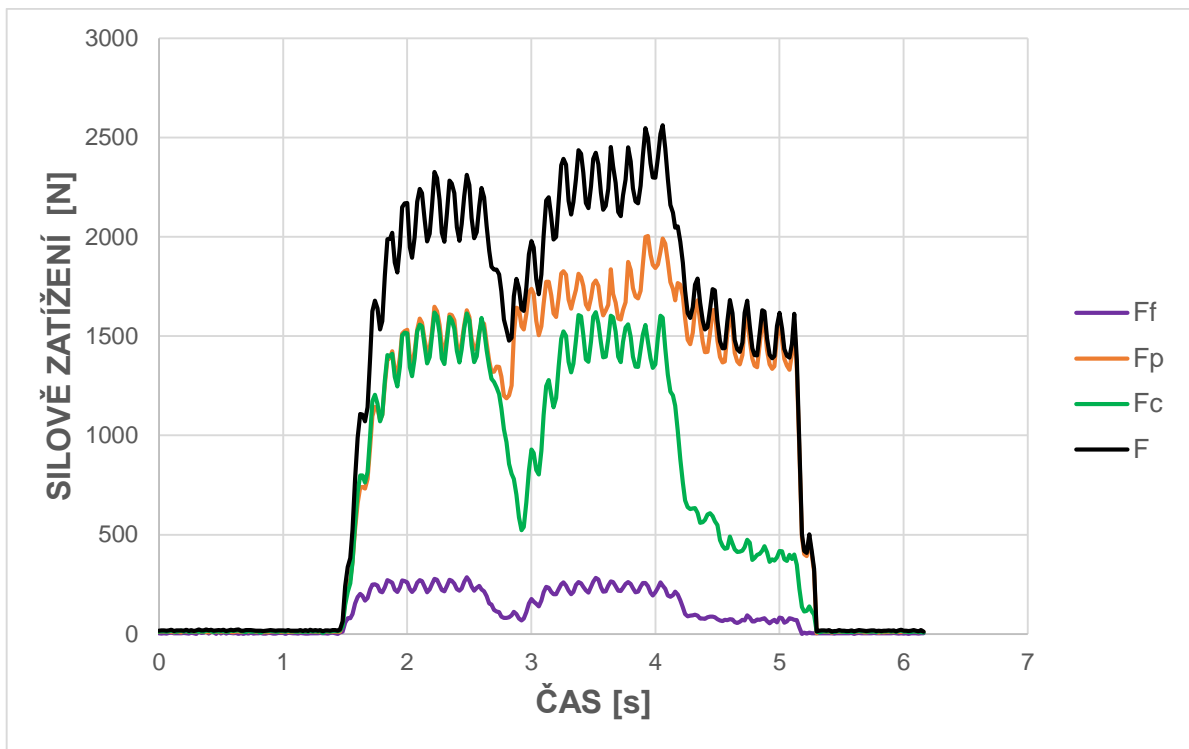
Obr. 3.37 Silové zatížení, VBD 4.



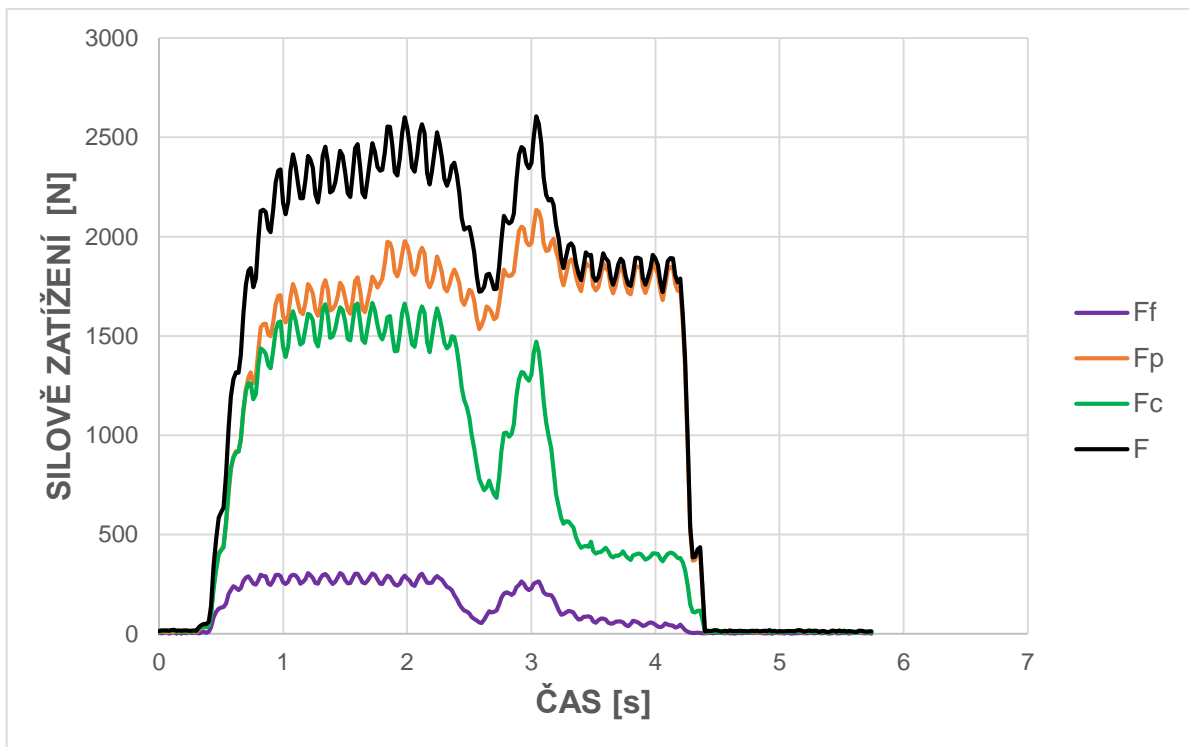
Obr. 3.38 Silové zatížení, VBD 5.



Obr. 3.39 Silové zatížení, VBD 6.

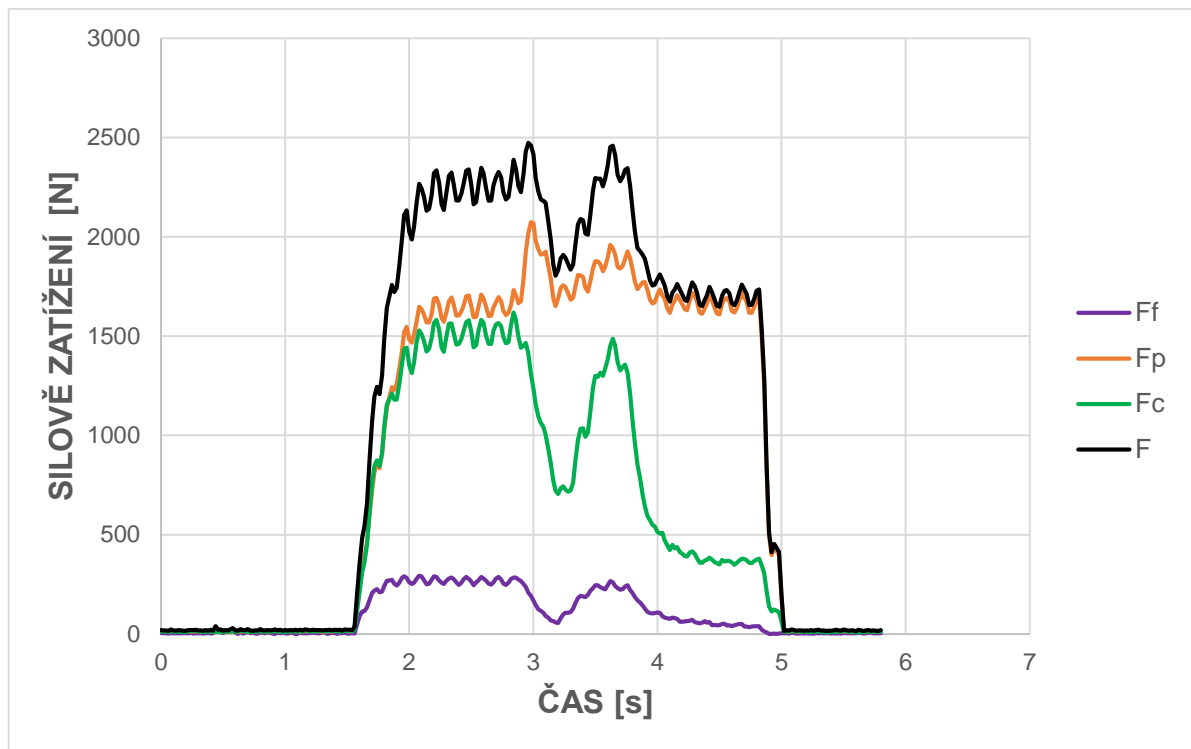


Obr. 3.40 Silové zatížení, VBD 7.

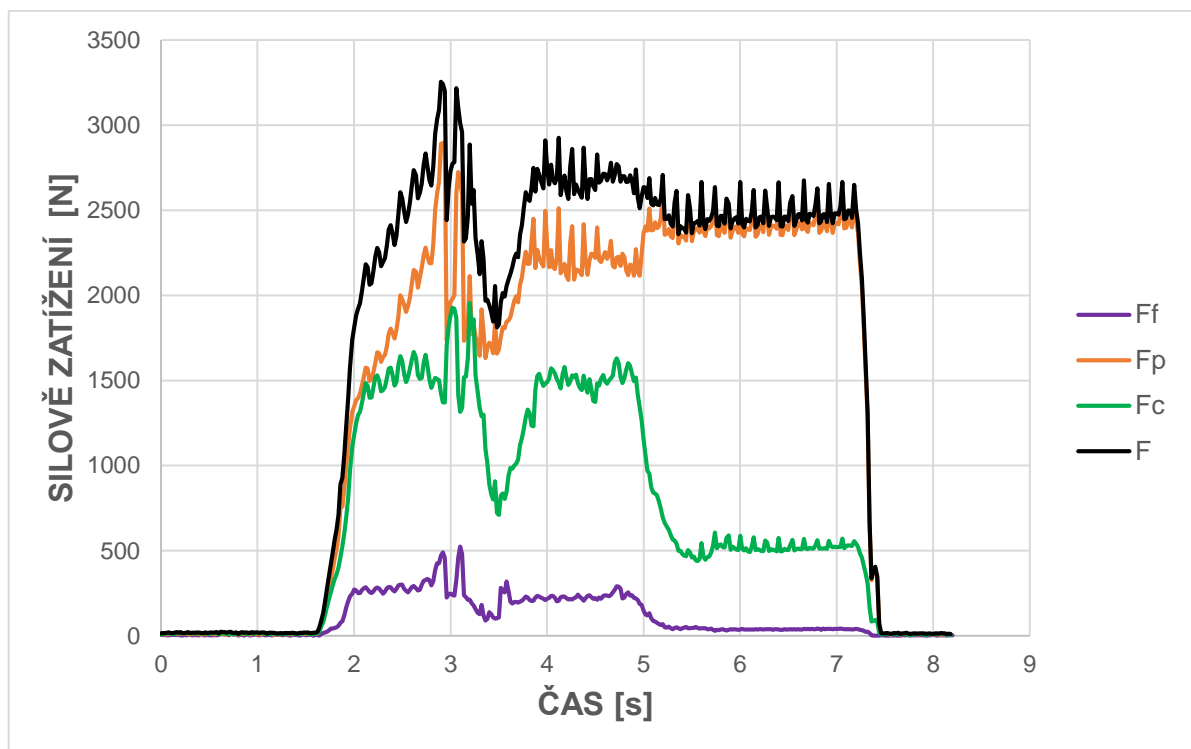


Obr. 3.41 Silové zatížení, VBD 8.





Obr. 3.42 Silové zatížení, VBD 9.



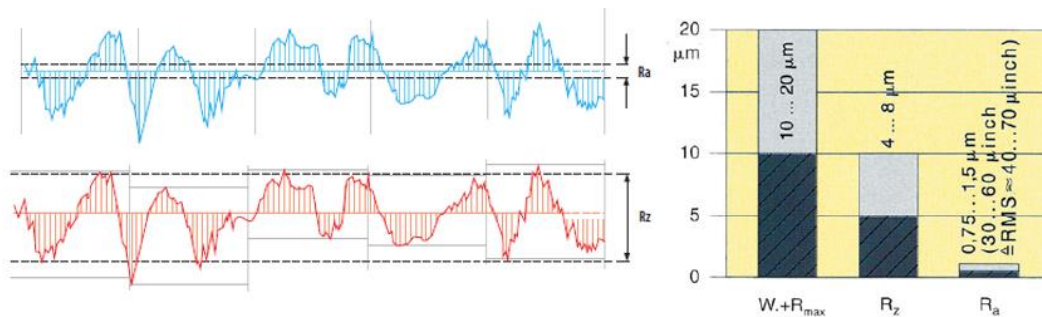
Obr. 3.43 Silové zatížení, VBD 10.

Po provedení krátkodobých zkoušek všech břitových destiček byla měřena drsnost povrchu, odolnost proti otěru a tvar třísek. Drsnost povrchu se pohybovala u všech břitových destiček v rozmezí **Ra** 0,4 – 2 μm. Nejlepší kvality povrchu bylo dosaženo u VBD 4 a VBD 8. Vyhovující tříška byla pozorována u VBD 3, 6, 7 a 8, dostačující u VBD 9 a 10. Nejlepší odolnost proti otěru byla pozorována na VBD 7. Popis výsledků krátkodobé zkoušky je následující.

Co se týče opotřebení, tak u VBD 1 bylo patrné abrazivní opotřebení na hřbetě nástroje a silný brusný otěr v kalibrační části. Tato břitová destička vykazovala nejvyšší opotřebení při krátkodobé zkoušce. Ostatní břitové destičky vykazovaly přijatelné opotřebení, většinou lehký brusný otěr na hřbetě v kalibrační části destičky za odlehčením. Lze pozorovat také lehký čelní otěr na utvařeči. Nejlepší odolnost proti opotřebení byla pozorována na VBD 7. Pro detailnější zkoumání opotřebení by byla potřeba provést dlouhodobé zkoušky.

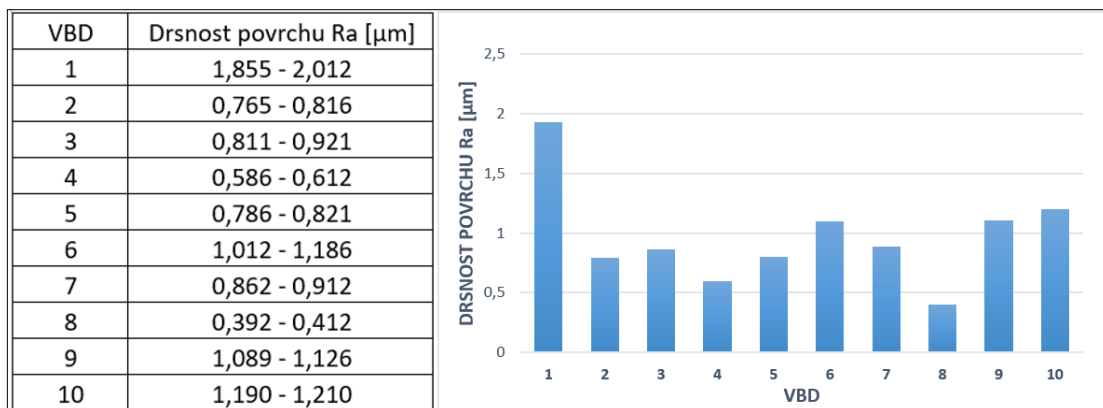
Extrémně dlouhá vinutá nevyhovující tříška byla pozorována u VBD 4 a 5 (obr. 3.27 a 3.28). Dlouhá nevyhovující vinutá tříška cca 5 – 20 cm byla pozorována u VBD 1, 2 a 9 (obr. 3.24, 3.25 a 3.32). Přijatelná tříška, obloukovitě spojená, byla pozorována u VBD 3, 6, 10 (obr. 3.26, 3.29 a 3.33). Vyhovující drobná tříška byla pozorována u VBD 7 a 8 (obr. 3.30 a 3.31).

Drsnost povrchu loupané tyče by měla dosahovat **Ra** 0,75 – 1,5 μm, hodnota **Rz** by měla být v rozmezí 4 až 8 μm. Na obr. 3.44 je zobrazeno grafické znázornění hodnot drsnosti povrchu a doporučený rozsah pro loupání tyče. [2; 3]



Obr. 3.44 Grafické znázornění hodnot *Ra*, *Rz* a jejich doporučený rozsah pro loupání tyčí [2; 3].

Nejlepší drsnost povrchu byla naměřena u VBD 2 (**Ra** 0,765 – 0,816 μm), VBD 3 (**Ra** 0,811 – 0,921 μm), VBD 4 (**Ra** 0,586 – 0,612 μm), VBD 5 (**Ra** 0,786 – 0,821 μm), VBD 7 (**Ra** 0,862 – 0,812 μm) a VBD 8 (**Ra** 0,392 – 0,412 μm). Ostatní hodnoty VBD (1, 6, 9, 10) byly v rozmezí 1 – 2 μm. Nejlepší drsnosti povrchu bylo dosaženo **Ra** 0,4 μm, díky plastifikaci povrchové vrstvy kalibrační částí břitové destičky. Tato hodnota drsnosti je přijatelná i pro dokončovací broušení vnějších rotačních ploch. Souhrn drsností povrchu jednotlivých VBD je zobrazen na obr. 3.45. [15]

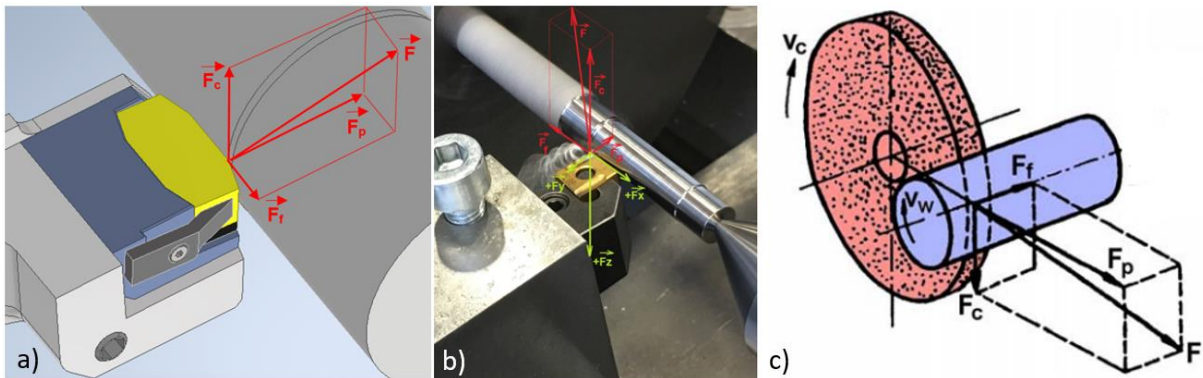


Obr. 3.45 Výsledky drsnosti povrchu *Ra* pro VBD 1 – 10.

Průměrné hodnoty řezných sil jednotlivých břitových destiček VBD 1 – 10 jsou zobrazeny na obr. 3.47. Maximální silové zatížení pro jednotlivé břitové destičky je zobrazeno na obr. 3.48. Celková řezná síla byla spočítána z naměřených hodnot  $F_c$ ,  $F_p$  a  $F_f$  podle vztahu 3.1.

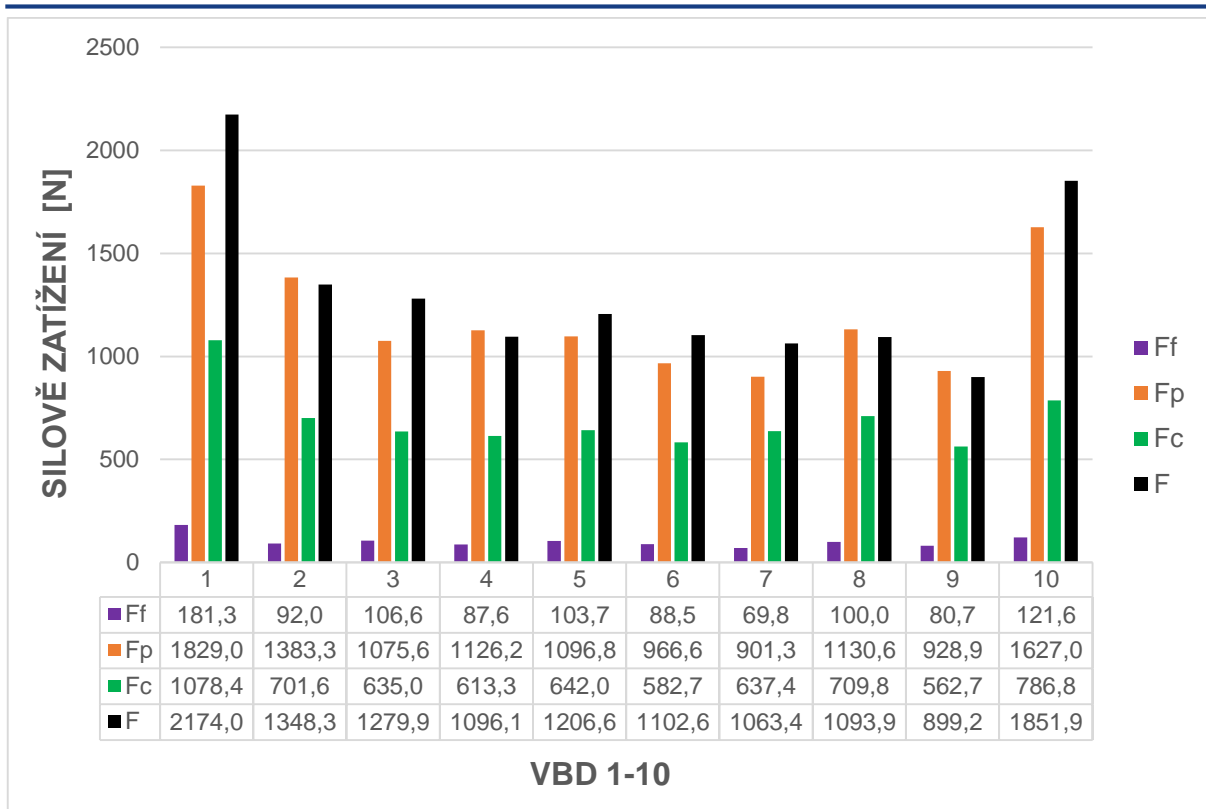
Z přiložených grafů silového zatížení vychází nejlépe VBD 7, 8 a 9. Nejnižší hodnota celkové řezné síly  $F$  vyšla 2473 N u VBD 9, 2562 N u VBD 7 a 2606 N u VBD 8. Hodnoty u VBD 2 jsou také přijatelné. Naopak největší zatížení vykazovala VBD 1 a 10. Hodnoty celkové řezné síly dosahují u VBD 1 až 3840 N, u VBD 10 až 3256 N. Ostatní hodnoty (VBD 3, 4, 5, 6) celkové řezné síly se pohybují okolo 3000 N.

Z dosažených výsledků naměřených řezných sil při krátkodobé zkoušce je zřejmé, že nejvyšší naměřená hodnota je pasivní složka řezné síly  $F_p$ , nikoli  $F_c$ , jak tomu bývá při soustružení běžnými břitovými destičkami, kdy většina velikosti řezné síly působí kolmo na řezný nástroj. To je způsobené třením v kalibrační části břitové destičky, která zatlačuje povrchovou vrstvu do materiálu a způsobuje tak obrovskou tlakovou sílu. Díky tomuto jevu je také dosažena už zmíněná vysoká kvalita povrchu. Rozložení řezných sil tak vzniká podobné jako při broušení, jelikož u broušení obvykle platí, že poměr celkové řezné síly k pasivní složce síly je  $F_c / F_p = 1,2$  až  $3,0$ . Na obr. 3.46 je pro porovnání zobrazeno silové zatížení při obrábění: a) břitovými destičkami pro loupání tyčí, b) břitovými destičkami pro soustružení, c) broušením vnějších rotačních ploch. [15]

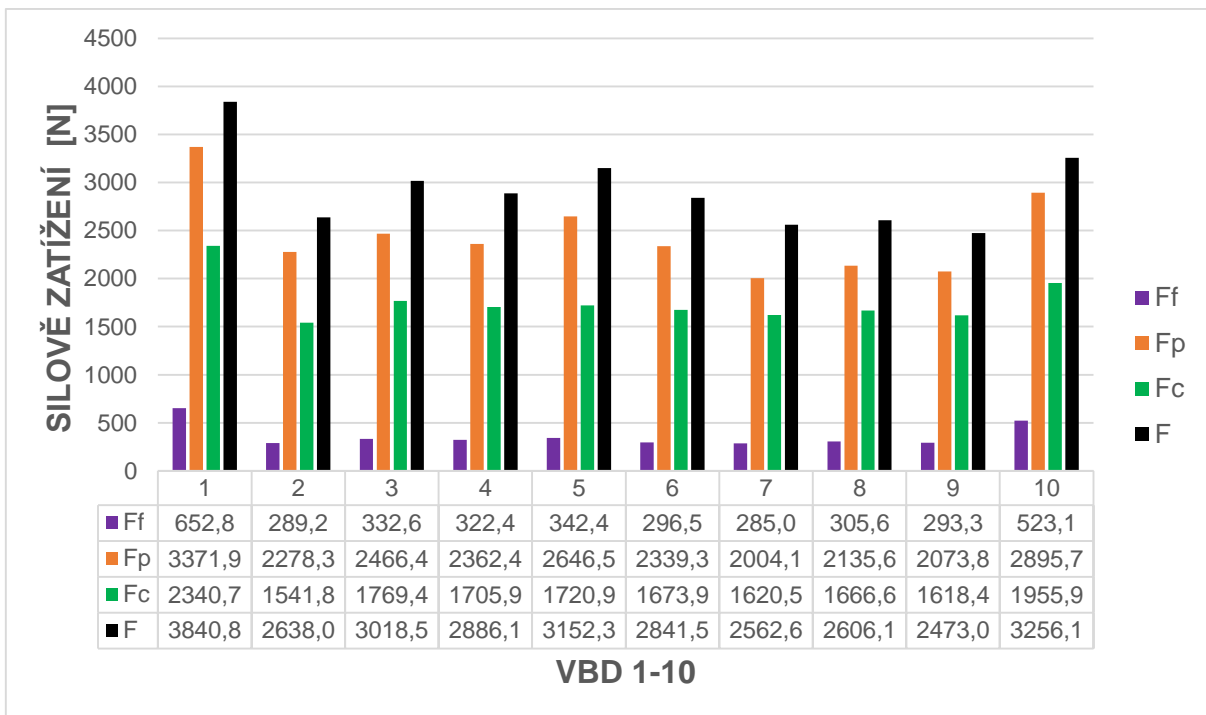


Obr. 3.46 Porovnání výslednic řezných sil. [15].

Z provedených krátkodobých zkoušek bylo potřeba vybrat břitové destičky, které nejlépe obstály v kombinaci opotřebení, tvaru třísky, drsnosti povrchu a silového zatížení pro praktické zkoušky v provozních podmínkách ve firmě. Z uvedených kombinací byly primárně doporučeny pro další testování VBD 7, 8 a 9.



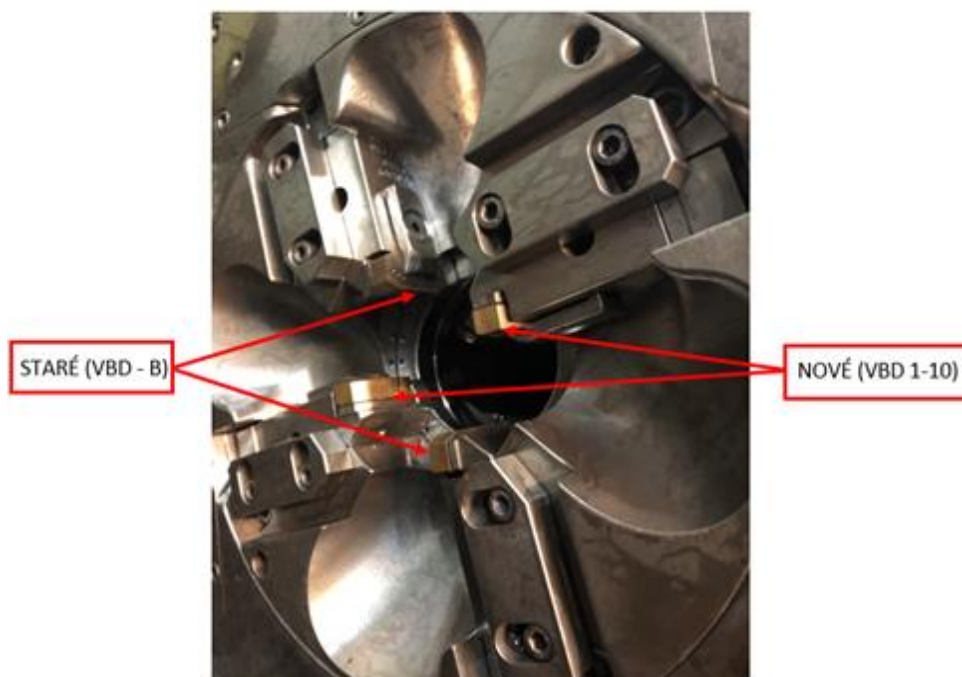
Obr. 3.47 Průměrné hodnoty řezných sil u VBD 1 – 10.



Obr. 3.48 Maximální hodnoty řezných sil u VBD 1 – 10.

### 3.6 Testování v provozních podmínkách

Pro praktické zkoušky v provozních podmínkách byly v předcházející kapitole primárně doporučeny břitové destičky VBD 7, 8 a 9, avšak zkoušeny v provozních podmínkách byly všechny testované břitové destičky VBD 1 – 10. Pro porovnání se stávajícím stavem byly vždy dvě nové břitové destičky umístěny v loupací hlavě, společně s dvěma břitovými destičkami stávajícího stavu (VBD – B) naproti sobě. Uspořádání břitů v loupací hlavě je zobrazeno na obr. 3.49.



Obr. 3.49 Ustavení břitových destiček v loupací hlavě.

Tyč je monitorována v loupacím stroji, kde jsou zobrazeny všechny nastavené parametry jako průměry, řezné podmínky a veškeré procesní parametry jako druh oceli, číslo tavby, vstupní a výstupní průměr loupané tyče, tolerance loupané tyče, zatížení stroje, rychlost linky a další, viz obr. 3.50. Důležitou součástí upnutí břitových destiček do loupací hlavy je jejich správné seřízení, kvůli přesnému úběru loupané tyče a rovnoměrnému zatížení břitových destiček. Z nepříznivého seřízení vyplývá nepříznivý vliv na celou soustavu a znehodnocení loupané tyče.

Loupací linka pracovala při následujících řezných podmínkách:

Řezná rychlost:  $v_c = 143 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Axiální šířka záběru:  $a_p = 1 \text{ mm}$

Otáčky:  $n = 650 \text{ min}^{-1}$

Posuv:  $f = 9,2 \text{ mm}$  (pro výpočet je třeba uvažovat posuv pro jeden nástrojový držák, proto je třeba posuv násobit koeficientem 0,25, proto používaný posuv  $f_k = 2,3 \text{ mm}$ )

Chladicí / mazací kapalina: ano (6 – 8 %)

Posuvová rychlost:  $v_f = 6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$



Obr. 3.50 Parametry loupacího procesu.

Přibližný výpočet teoretického výkonu jednoho držáku  $P$  [kW] lze spočítat podle vztahu 1.1 z kap. 1.3.

$$P = \frac{143 \cdot 1 \cdot 2,3 \cdot 2215,046}{60000} = 12,14 \text{ kW}$$

Kde vyplývá ze vztahu 1.9 a 1.12:

$$h = 2,3 \cdot \sin 25 = 0,972 \text{ mm}$$

$$k_c = \frac{2200}{0,972^{0,2}} = 2215,046 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Hodnotu  $k_c = 2200$  MPa a  $m_c = 0,2$  volím dle [2] pro obráběný materiál 42CrMo4.

Při výpočtu je třeba brát v potaz, že přibližný vypočítaný řezný výkon je počítán pro jeden nástrojový držák. Při použití čtyř držáků je třeba násobit koeficientem 4. Obecný příklad v provozních podmínkách pro dané parametry obrábění podle obr. 3.50 je následující:

Proudové zatížení činilo pro dané obrábění 151 A. To znamená, že výkon činil 57, 38 kW při napájení 380 V. Vynásobením koeficientem 0,25 pro čtyři nástrojové držáky činí hodnota výkonu 14,345 kW. Tato hodnota se lehce liší s teoretickou hodnotou, která byla vypočítána na 12,14 kW na jeden držák. Odebrané množství materiálu za čas, je spočítáno dle vztahu 1.8.

$$Q = 1 \cdot 143 \cdot 9,2 = 1315,6 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Práce, potřebná k obrobení jedné tyče o délce 6 m, se spočítá jako součet práce řezání  $E_c$ , podle vztahu 3.2, která je potřebná k zajištění hlavního pohybu pro odebrání určitého množství materiálu, a práce posuvu  $E_f$ , která je potřebná na zajištění posuvového pohybu. Posuvovou práci při výpočtu zanedbáme. [13]

$$\text{Práce řezání} \quad E_c = F_c \cdot v_c \cdot t_p \quad 3.2$$

kde:  $F_c$  = řezná síla [N]

$t_p$  = čas řezného procesu [min]

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

Jelikož není možné změřit řeznou sílu pomocí dynamometru, je třeba řeznou sílu spočítat pomocí řezného výkonu  $P$ , podle rovnice 3.3, který působí na ostří v daném čase. [13]

$$\text{Řezný výkon} \quad P = \frac{F_c \cdot v_c}{60000} \rightarrow F_c = \frac{P \cdot 60000}{v_c} \quad 3.3$$

$$F_c = \frac{14,345 \cdot 60000}{143} = 6018,9 \text{ N}$$

kde:  $F_c$  = řezná síla [N]

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

V daném čase tedy řezná síla působila velikostí  $F_c = 6018,88$  N. Tato hodnota by měla být téměř konstantní během celého procesu obrábění jedné tyče. Podle vztahu 3.4 lze spočítat dobu, po kterou je tyč obráběna v loupací hlavě.

$$\text{Doba obrobění jedné tyče} \quad t = \frac{L}{n \cdot f} \text{ [min]} \quad 3.4$$

$$t = \frac{6000}{650 \cdot 9,2} = 1 \text{ min}$$

kde:  $L$  = délka tyče [mm]

$n$  = otáčky loupací hlavy [ $\text{min}^{-1}$ ]

$f$  = posuv [mm]

Práce potřebná pro odebrání materiálu z jedné tyče je tedy spočítaná podle vztahu 3.2.

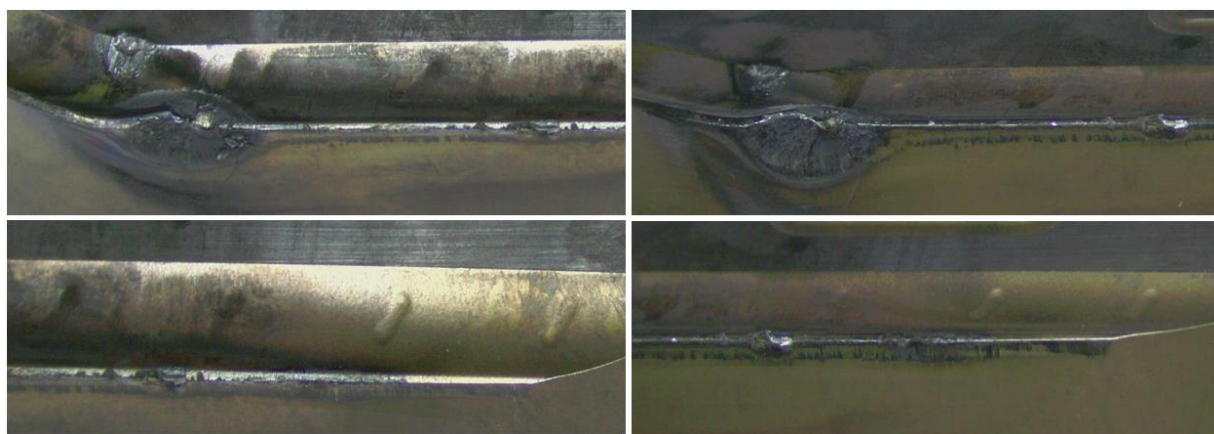
$$E_c = 6018,9 \cdot 143 \cdot 1 = 860\,702,7 \text{ J} \rightarrow 860,7 \text{ kJ}$$

Loupané tyče byly obráběny s požadovanou přesností h9 a jakostí povrchu všemi typy břitových destiček VBD 1 – 10. Na obr. 3.51 jsou zobrazeny hotové loupané tyče o průměru 70 mm a délce 6 m.



Obr. 3.51 Loupané tyče.

Opotřebení stávající břitové destičky (VBD – B) bylo pozorováno v mnohem větším rozsahu, než u kterékoliv břitové destičky nového typu (VBD 1 – 10). Na obr. 3.52 je zobrazen častý typ opotřebení u VBD – B, kdy vznikala plastická deformace ve velkém rozsahu na řezné hraně. Dále je vidět značné opotřebení v rohu utvařeče na čelní ploše. Značné abrazivní opotřebení, místy až odlupování břitu, bylo pozorováno na hřbetní ploše.



Obr. 3.52 Opotřebení VBD – B.

Opotřebení nových typů břitových destiček (VBD 1 – 10) bylo pozorováno v mnohem menším rozsahu oproti VBD – B. Nejlépe z nových typů břitových destiček obstály VBD 7, 8 a 9, které byly vytipovány při krátkodobých zkouškách. U těchto břitových destiček nedocházelo k plastickému opotřebení oxidačního a difuzního typu, ani k vylamování částic břitu. Docházelo ke kontrolovatelnému opotřebení jak v řezné části, tak i v kalibrační části břitových destiček. Ostatní břitové destičky vykazovaly vyšší opotřebení, ovšem nejednalo se o tak spádová a rozdílná opotřebení, jako u VBD – B.

Dlouhodobé testy byly ovlivněny nedostatkem materiálu, a tak nebylo možné dále testovat a zjistit tak možné hranice produktivity nově testovaných břitových destiček. Pro dlouhodobější testování byly primárně doporučeny VBD 7, 8 a 9.



## 4 DISKUSE

Testování břitových destiček na VUT v Brně bylo prováděno na klasickém hrotovém soustruhu. Břítové destičky jsou ale v provozních podmínkách testovány na loupacím stroji, kde loupací hlava s nástroji koná rotující pohyb a obrobek koná přímočarý posuvný pohyb. Při provozních podmínkách vznikají hodnoty řezných sil vzhledem k vysokému řeznému výkonu pod takovým rozsahem, který je, vzhledem k vysoké hodnotě pasivní síly  $F_p$ , jen těžko měřitelný pomocí dynamometru. Umístění dynamometru do loupací hlavy by ale pravděpodobně nebylo možné. Proto proběhlo vyhodnocení řezných sil na VUT v Brně, i když za zjednodušených podmínek, kdy byly provedeny pouze krátkodobé testy. Pro detailnější popis a zkoumání břitových destiček z hlediska silového zatížení a z hlediska opotřebení, by bylo potřeba provést testy dlouhodobější, ovšem pro porovnání řezivosti pro testy v provozních podmínkách byly krátkodobé zkoušky dostačující.

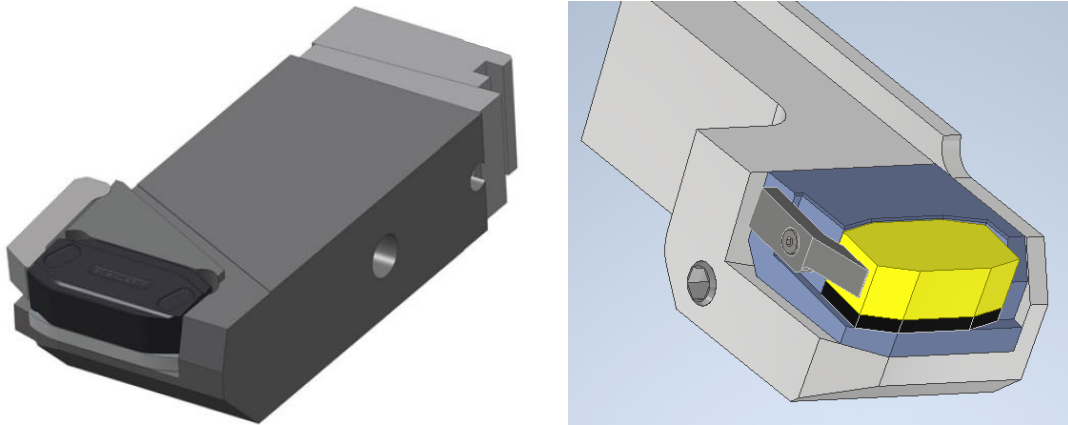
Při testování vybraných břitových destiček v provozních podmínkách byly dlouhodobé zkoušky omezeny dodávkami materiálu a nebylo tak možné plnohodnotněji vyhodnotit testy a podrobit tak břitové destičky delšímu zatížení v provozu. Při testování v provozních podmínkách byl spočítán řezný výkon a práce potřebná pro odebrání materiálu z jedné tyče pro jeden příklad obrábění. Pro porovnání mezi jednotlivými břitovými destičkami VBD 1 – 10 bohužel nebyly snímány všechna zatížení na loupacím stroji.

Při testování břitových destiček v provozních podmínkách, bylo pozorováno upínání břitových destiček do loupací hlavy. Stávající stav v provozních podmínkách je takový, že břitové destičky jsou upnuty do držáku, pomocí upínky, která tlačí na břitovou destičku z boku nebo shora (obr. 4.1), jak už bylo zmíněno v kapitole 1.2. Při ustavení břitové destičky do držáku je třeba dbát zvýšené pozornosti, aby destička byla správně upnuta. Pro přesný úběr je nutné správné seřízení držáku břitové destičky pomocí úchylkoměru.

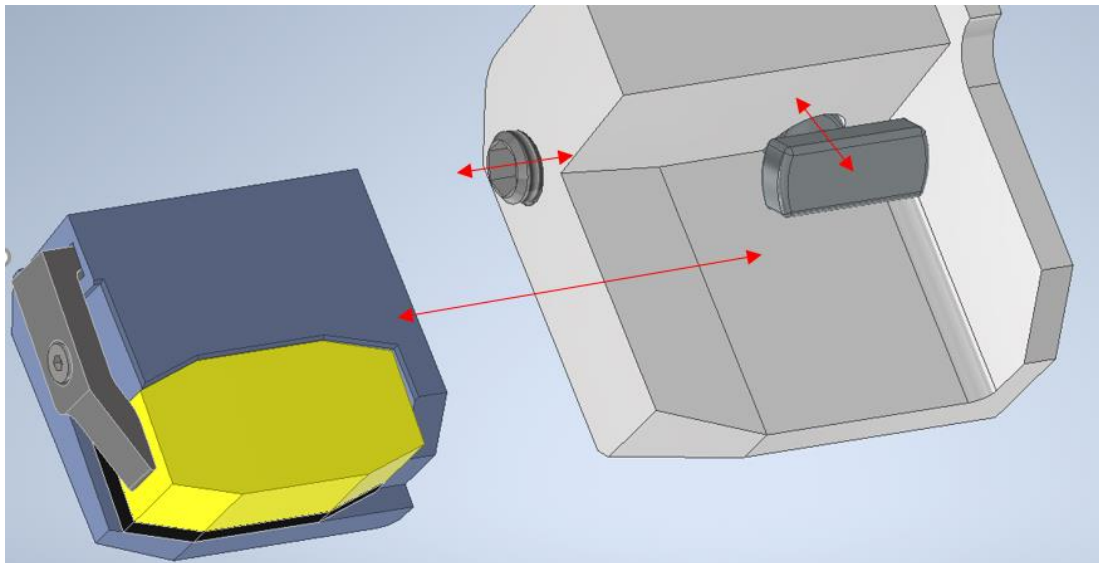


Obr. 4.1 Stávající upínání v provozu.

Výměna břitové destičky přímo na stroji je těžko přístupná a časově nevýhodná. Je to proces, který je důležitý z hlediska trvanlivosti nástroje a kvality povrchu loupané tyče, proto je do budoucna kladen důraz na zefektivnění výměny břitových destiček pro zkrácení časů na měření, seřízení a výměny nástrojů. Snížení času při výměně břitových destiček je výhodné nejen z hlediska časového, ale i z pohledu přesnosti upnutí. Některé společnosti, které se zabývají loupáním tyčí, preferují pro výměnu nástroje kazetový systém (kap. 1.2), kde je destička upnuta do kazety pomocí upínky mimo stroj a při výměně destičky se vymění pouze kazeta (obr. 4.3). Na obr. 4.2 je zobrazeno vlevo upnutí břitové destičky pomocí upínky v držáku nástroje a vpravo upnutí břitové destičky pomocí upínky a v kazetě.

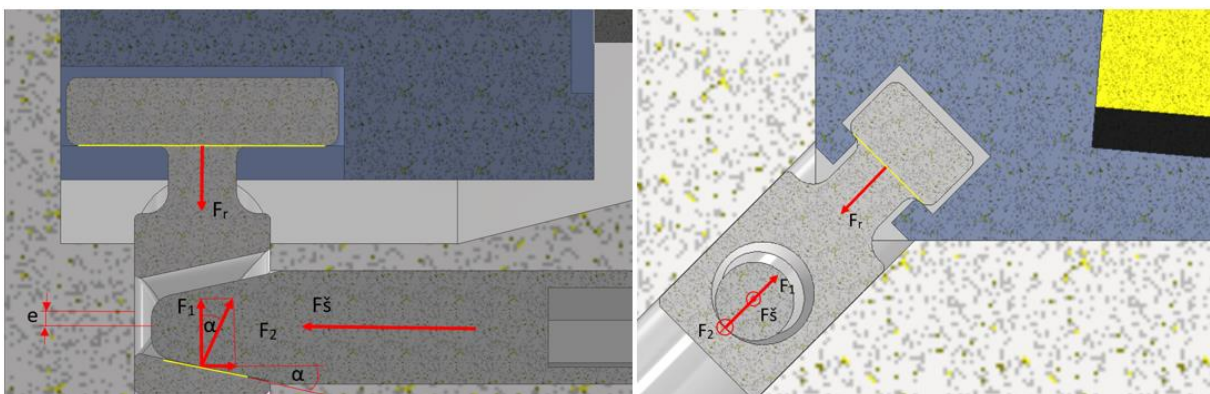


Obr. 4.2 Upnutí břitové destičky: Vlevo v držáku, vpravo v kazetě [3].



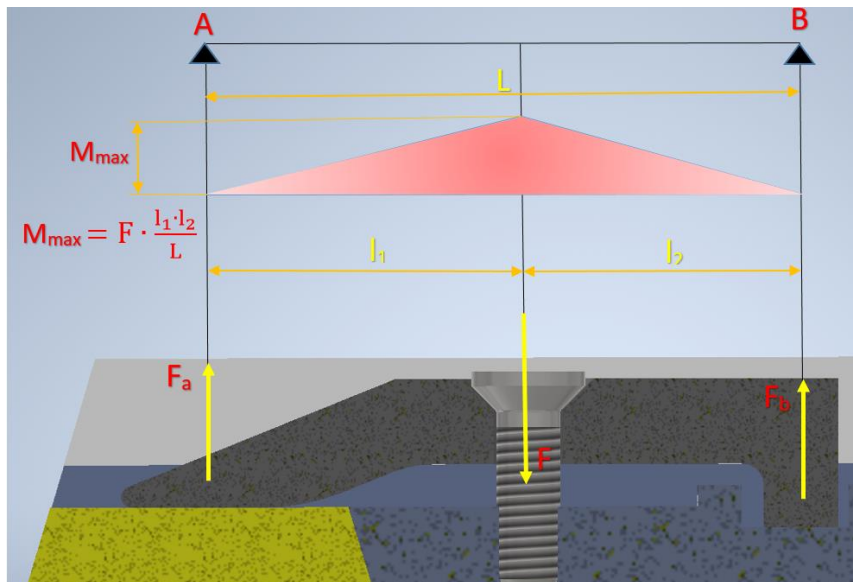
Obr. 4.3 Výměna kazety v držáku nástroje.

Výhoda tohoto systému spočívá v rychlosti výměny opotřebeného nástroje, jelikož se destička upne do kazety a správně seřídí mimo stroj, ovšem k doladění pomocí úchylkoměru na daný loupací průměr musí i tak dojít. Kazetový systém tak přináší výhody v podobě zkrácení času upnutí a bezchybného ustavení břitové destičky v držáku. Kazeta může být upnuta v nožovém držáku pomocí kuželové části šroubu a zajišťovacího kolíku, kterým je kazeta přitlačována do držáku. Upnutí kazety v držáku je konstruováno podle výrobce držáku. Řez možného upnutí kazety v držáku a rozklad silového zatížení bez tření při upínání je zobrazen na obr. 4.4.



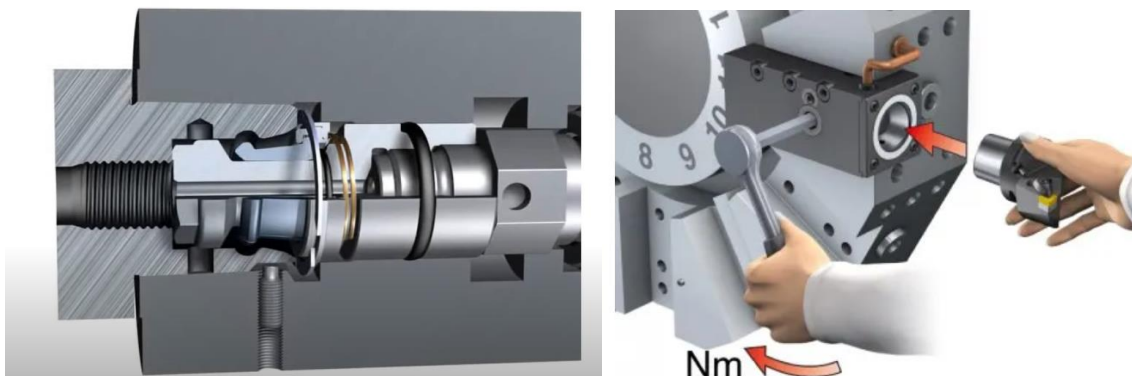
Obr. 4.4 Možné upnutí kazety v držáku pomocí kuželového šroubu a zajišťovacího kolíku.

Kazeta je zatlačována do lůžka silami působícími na řezný proces. Upínací síla  $F_r$ , která tlačí kazetu do držáku, vzniká díky utahovací síle šroubu  $F_s$ . Vzhledem k silovému rozkladu, kdy nejvyšší řeznou složkou je síla působící v pasivním směru  $F_p$ , působí celková řezná síla pod určitým směrem, který v reakci působí do rohu kazety, kde vzniká upnutí. Aby mohl vznikat stabilní řezný proces, je třeba, aby docházelo ke správnému silovému působení na kazetu a zatlačování kazety do držáku. Proto je potřeba stabilní upnutí břitové destičky, aby se síly dále přenášely do kazety. Proto je důležité správně dimenzovat upínku. Upínka je přitlačována utahovací silou šroubu  $F$  a působí zároveň na podpěru a destičku a je tak namáhána na ohyb. Silové zatížení upínky je zobrazeno na obr. 4.5. Jak už bylo zmíněno v kapitole 1.2 (obr. 1.6), břitové destičky bývají upnuty dvěma způsoby. Pokud je břitová destička upnuta pomocí upínky, může být upnuta ze dvou směrů a to shora (obr. 4.1) nebo z boku (obr. 4.2). Upnutí shora je vhodné, když upínka zadržuje břitovou destičku v lůžku vůči největší složce řezné síly  $F_c$ , jak tomu je při běžném soustružení. Jak je ale zmíněno na obr. 3.46, při použití břitových destiček pro loupání tyčí, vzniká největší složka řezné síly jako síla pasivní  $F_p$ , proto směřuje výslednice řezných sil jiným směrem než při běžném soustružení. V tomto případě je tak vhodné použít upínání břitových destiček z boku. Dalším důvodem je také směr odchodu třísek, jak je zmíněno v kap. 1.2.



Obr. 4.5 Silové rozložení v upínce.

Ideálního stavu by bylo dosaženo, pokud by byla navržena loupací hlava, v které by byl používán rychloupínací systém, kde by bylo dosaženo přesné výměny nástroje, jako je například upínací systém CAPTO od firmy Sandvik Coromant (obr. 4.6), který je popsán normou ISO 26623.

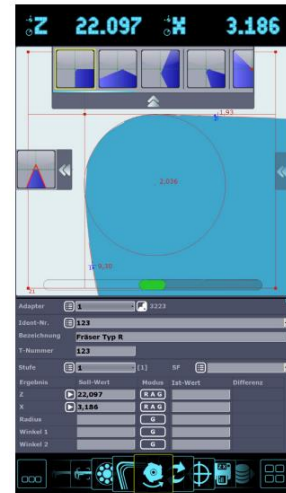


Obr. 4.6 Upínací systém Coromant Capto [29].

Destička by tak byla upnuta v držáku a v ustavovacím zařízení (obr. 4.7) by byla seřízena na požadovanou přesnost (obr. 4.8). Při potřebné výměně destičky by tak mohlo dojít k rychlé výměně pomocí rychloupínacího systému a nebylo by potřeba dodatečného seřizování. Pro takovýto systém by však musela být vyvinuta i loupací hlava, ve které by byly připravovány a seřizovány nástroje před výměnou.



Obr. 4.7 Měření nástroje na ustavovacím zařízení [30].



Obr. 4.8 Detailní seřízení [30].

Při návrhu nového držáku je třeba brát v potaz vysoké hodnoty řezných sil, které působí na břitovou destičku a na nástrojový držák, které ovlivňují celkovou stabilitu obrábění a působí na kvalitu výsledného produktu, tedy loupané tyče. Důležitým parametrem geometrické přesnosti loupané tyče je drsnost povrchu. Proces tvorby povrchové vrstvy je ovlivněn kombinací několika působících faktorů, z nichž hlavní mohou zahrnovat metody zpracování obrobku, typ a stav nástrojů, fyzikálně – mechanické vlastnosti obrobků, řezné podmínky, délku vyložení držáku nástroje, řeznou sílu, řezný výkon, tuhost soustavy, schopnost stroje absorbovat vibrace, způsob a kvalitu chladicích a mazacích kapalin a mnoho dalších vlivů. Většina zmíněných řezných aspektů je nastavena technologickým postupem, ale usazení nožového držáku bývá často nastaveno libovolně, proto je potřeba brát v potaz vyložení nožového držáku, vzhledem k obráběcímu procesu a vlivu na kvalitu povrchu. Vzhledem k tomu, jak velké řezné síly vznikají při loupacím procesu, je proto potřeba při návrhu loupací hlavy zvolit správné vyložení při upnutí nástrojového držáku a samotné upnutí nástrojového držáku. [31]

---

## ZÁVĚR

V diplomové práci je sepsán teoretický rozbor procesu loupání tyčí, principu loupací linky, používaných břitových destiček a vlivů působících na loupací proces a břitové destičky, jako je opotřebení, tvorba třísky nebo povlakování slinutých karbidů. Praktická část je rozdělena do tří částí. První část se zabývá testováním stávajících dvou typů břitových destiček na VUT v Brně, označených jako VBD – A, VBD – B. Druhá část se zabývá testováním nových typů břitových destiček na VUT v Brně, označených VBD 1 – 10. Třetí část se zabývá testováním nových typů břitových destiček VBD 1 – 10 v provozních podmínkách při porovnání se stávající používanou břitovou destičkou VBD – B.

Shrnutí výsledků první části testování:

- u stávajících typů břitových destiček VBD – A; VBD – B vznikalo nevýhodné silové zatížení,
- nežádoucí difuzní opotřebení na čele břítu vznikalo u obou typů stávajících břitových destiček VBD – A, B,
- tříška u obou typů břitových destiček VBD – A; VBD – B vznikala nepřerušená celistvá

Shrnutí výsledků druhé části testování:

- nejvýhodnější silové zatížení u nových typů břitových destiček vykazovala VBD 7, 8 a 9,
- nejvýhodnější tříška u nových typů břitových destiček vykazovala VBD 7 a 8,
- díky plastifikaci povrchové vrstvy kalibrační částí břitové destičky bylo dosaženo drsnosti povrchu **R<sub>a</sub>** u VBD 2, 3, 4, 5, 7 do hodnoty 0,7 μm. U VBD 8 bylo dosaženo drsnosti povrchu **R<sub>a</sub>** 0,4 μm, což je hodnota přijatelná pro dokončovací broušení vnějších rotačních ploch,
- nejmenší opotřebení u nových typů břitových destiček vznikalo u VBD 7,
- v kombinaci uvedených břitových destiček byly primárně doporučeny na další testování VBD 7, 8 a 9

Shrnutí výsledků třetí části testování:

- u všech typů nových břitových destiček (VBD 1 – 10) nevznikalo tak rozsáhlé opotřebení, jako u VBD – B,
- u břitových destiček s označením VBD 7, 8 a 9 vznikalo pouze abrazivní opotřebení, nikoli difuzního nebo oxidačního typu,
- všechny nové typy břitových destiček (VBD 1 – 10) vykazovaly klidný a tichý chod oproti VBD – B,
- pro dlouhodobější testování v provozních podmínkách byly doporučeny primárně VBD 7, 8 a 9, u kterých byly potvrzeny příznivé výsledky z krátkodobého testování

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Loupání tyčí - nástroje a řešení pro celý proces. *Ceratizit* [online]. [cit. 2022-05-12]. Dostupné z: [https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs/odv\\_tvi/loup\\_aacute\\_n\\_iacute\\_tyiacute.html](https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs/odv_tvi/loup_aacute_n_iacute_tyiacute.html)
  2. Katalog Dormer Pramet: *Loupání tyčí 2022* [online]. 2022 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cz/en/>
  3. Katalog Boehlerit: *Loupání tyčí 2019* [online]. 2019 [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.boehlerit.com/en/products/heavy-duty-machining/bar-peeling>
  4. DARJI, Ankit a Tarun S Prajapati. An experimental investigation of peeling operation for AISI 202 steel with response surface method. *GJRA – Global journal for research analysis*. [online]. 2006. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.worldwidejournals.com/global-journal-for-research-analysis-GJRA/article/an-experimental-investigation-of-peeling-operation-for-aisi-202-steel-with-response-surface-method/NjU0Mg==/?is=1>
  5. AARON, T., E. aj. *Metals Handbook - Volume 16 - Machining*. 9. ed. Metals Park, OH 44073: ASM International [B. r.]. 944 s. ISBN 0-87170-007-7.
  6. DAVIM, J. Paulo, ed. *Machining: fundamentals and recent advances*. London: Springer, c2008. 361 s. ISBN 978-1-84800-212-8.
  7. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
  8. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
  9. DE VOS, Patrick., STÄHL, Jan-Eric. *Opotřebení rezných nástrojů: praktické zkušenosti*. Fagersta: Seco Tools AB, 2014
  10. Hoffmann GmbH Qualitätswerkzeuge. Příručka obrábění. Cross Media Solutions GmbH, Würzburg, 2016, 561 s. ISBN 978-3-9818286-2-7
  11. *Technická příručka obrábění: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů: příručka firmy Sandvik Coromant*. Praha: Sandvik Coromant, [2005].
  12. Tenké vrstvy, [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: [https://www.opi.zcu.cz/tenke\\_vrstvy\\_sma.pdf](https://www.opi.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf)
  13. HUMÁR, Anton. Technologie I – Technologie obrábění – 1. část. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu. Brno, 2003. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabení/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabení/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
-

- 
14. FIALA, Zdeněk. Experimentální metody – Přednášky. Akademický rok 2021/2022
  15. HUMÁR, Anton. Technologie I – Technologie obrábění – 3. část. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu. Brno, 2003. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/Dokoncovaci\\_a\\_nekonvencni\\_metody\\_obrabeni/TI\\_TO-3.cast.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf)
  16. Píška, Miroslav. Trendy v PVD a CVD povlakování. *MM Průmyslové spektrum*. [online]. [cit. 26-04-2022]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-pvd-a-cvd-povlakovani>
  17. Stavba nové loupací linky začala. In: JURÁSKOVÁ, Petra. *Tiskové zprávy* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.trz.cz/clanky/37/dok275/stavba-nove-loupaci-linky-zacala-p=6>
  18. Třinecký inženýring a.s. [online]. [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.trineckyinzenyring.cz/listyng/38.pdf>
  19. SANDVIK: *Chip breaking* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.materials.sandvik/en/products/bar-and-hollow-bar/sanmac/chip-breaking/>
  20. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
  21. Pramet: Grades for turning, [online]. [cit. 2022-4-29]. Dostupné z: <http://nicecut.co.kr/new/pdf/6-1-5.pdf>
  22. Boing, D., Oliveira, A.J., & Schroeter, R.B. Evaluation of wear mechanisms of PVD and CVD coatings deposited on cemented carbide substrates applied to hard turning. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. [online]. 106, [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-020-05000-x
  23. Ginting, A., Skein, R., Cuaca, D., Herdianto, Pieter, Masyithah, Z. The characteristics of CVD and PVD coated carbide tools in hard turning of AISI 4340. *Measurement 129*. [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.07.072>
  24. Boing, D., de Oliveira, AJ., Schroeter, RB. Limiting conditions for application of PVD (TiAlN) and CVD (TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN) coated cemented carbide grades in the turning of hardened steels. *Wear*. [online]. [cit. 2022-04-15] Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.10.007>
-

- 
25. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 2. zcela přeprac. vyd. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-123-9.
  26. *Kistler: Multicomponent Dynamometer* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/files/document/000-151e.pdf>
  27. *MITSUBISHI MATERIALS: Functions of chip breakers* [online]. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <http://carbide.mmc.co.jp/permanent/courses/75/functions-of-chip-breakers.html>
  28. 42CrMo4 Datasheet. *SCRIBD* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/509527759/42CrMo4-datasheet>
  29. *SANDVIK Coromant: Coromant Capto* [online]. [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant\\_capto/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant_capto/pages/default.aspx)
  30. *ZOLLER: Měření a seřizování* [online]. [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.zoller.cz/produkty/mereni-a-serizovani-nastroju/>
  31. Allenov, D., G., Deinova, K.,B., Solomatin, S.,V., Lazarenko, O., I., Effect of fixing the pass-through turning tool in the tool holder on the roughness and surface macro deviations during turning. *RUDN Journal of Engineering Research*. doi: 10.22363/2312-8143-2020-21-2-105-112



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
A	průřez třísky	[mm <sup>2</sup> ]
a <sub>p</sub>	řezná hloubka	[mm]
B	šířka břitové destičky	[mm]
D	průměr obrobku	[mm]
f	posuv celkový	[mm]
F	celková řezná síla	[N]
F <sub>c</sub>	řezná síla	[N]
F <sub>f</sub>	pasivní složka řezné síly	[N]
f <sub>k</sub>	posuv na jeden držák	[mm]
F <sub>p</sub>	posuvová složka řezné síly	[N]
h	tloušťka třísky	[mm]
h <sub>m</sub>	tloušťka třísky pro kruhovou destičku	[mm]
k	počet držáků	[ks]
k <sub>c</sub>	měrná řezná síla	[N · mm <sup>-2</sup> ]
l	délka loupací destičky	[mm]
m <sub>c</sub>	materiálový exponent	[-]
n	otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
P	řezný výkon	[kW]
Q	rychlost úběru třísek	[cm <sup>3</sup> · min <sup>-1</sup> ]
R <sub>a</sub>	střední aritmetická úchylka profilu	[μm]
R <sub>z</sub>	nejvyšší výška profilu	[μm]
s	tloušťka břitové destičky	[mm]
v <sub>c</sub>	řezná rychlost	[m · min <sup>-1</sup> ]
v <sub>f</sub>	posuvová rychlost	[m · min <sup>-1</sup> ]
κ <sub>r</sub>	úhel nastavení hlavního ostří	[°]
μ	účinnost stroje	[%]
φ	úhel střížné roviny	[°]

## Zkratky

Označení	Legenda
VBD	Vyměnitelná břitová destička
HRC	tvrdost dle Rockwella
CVD	Chemical Vapour Deposition
MTCVD	Midle Temperature Chemical Vapour Deposition
PVD	Physical Vapour Deposition
PACVD	Plasma Assisted Chemical Vapour Deposition
CNC	Computer numerical control

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1      Hodnoty při měření průřezu VBD – B  
Příloha 2      Fotografie z krátkodobých zkoušek

Alicona Imaging GmbH  
 Dr.-Auner Strasse 21a  
 A-8074 Raaba/Graz



# EdgeMasterModule Measurement Report

Date of Measurement:  
 Edge Profile Type:  
 Reference Type:

Negative Bevel  
 Edge Quality 10x

Operator:

Administrator

Name	Value	Unit	Description
r	97.883	µm	Mean radius of mean edge
by	306.117	µm	True negative bevel length w.r.t. tangent-line crossing
by1	329.445	µm	True negative bevel length w.r.t. tangent point
γb	18.655	°	Angle of negative bevel
α	-0.086	°	Clearance angle
β	89.030	°	Wedge angle
γ	1.056	°	Rake angle
φ	853.774e-9	°	Symmetry angle
Sa	65.445	µm	Dist. apex to end of clearance roundness
Sy	79.777	µm	Dist. apex to end of rake roundness
K	1.219		Symmetry of cutting edge
Δr	21.410	µm	Min. dist. of edge to apex
WΔr	61.466	µm	Edge width
Eq	0.350	µm	Form deviation of circle (RMS)
Ftype	Trumpet		Estimated Curvature
Rmean_robust	97.304	µm	Mean radius in areas without defects

