



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VLIV POVRCHOVÉ ÚPRAVY VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH DESTIČEK NA TRVANLIVOST PŘI SOUSTRUŽENÍ KOROZIVZDORNÉ OCELI

EFFECT OF CUTTING INSERTS SURFACE TREATMENT ON TURNING DURABILITY OF STAINLESS STEEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Filip

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jiří Filip
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.
Akademický rok:	2022/23

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:

Vliv povrchové úpravy vyměnitelných břitových destiček na trvanlivost při soustružení korozivzdorné oceli

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se bude zabývat vlivem povrchové úpravy VBD vyrobených ze slinutých karbidů na trvanlivost při soustružení korozivzdorné oceli. Součástí práce bude návrh metodiky řezných zkoušek, analýza procesu obrábění (válcové soustružení) spojená s provedenými řeznými zkouškami, které budou zaměřeny na opotřebení břitů nástrojů a analýzu jakosti povrchu. V práci bude proveden rovněž rozbor opotřebení břitů nástrojů s využitím dostupných měřicích zařízení. Práce bude ukončena zpracováním naměřených dat, ze kterých bude patrná trvanlivost jednotlivých testovaných VBD.

Cíle diplomové práce:

Teoretický a technický rozbor řešené problematiky.

Provedení řezných zkoušek (návrh metodiky, analýza opotřebení břitů a jakosti povrchu).

Rozbor opotřebení břitů.

Zpracování naměřených dat (vyhodnocení experimentů).

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Příručka obrábění-kniha pro praktiky. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Vyd. 1. Praha: MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá testováním povlakovaných břitových destiček ze slinutých karbidů, s různými druhy povrchových úprav. Testování bylo provedeno technologií podélného soustružení za konstantních řezných podmínek a obráběným materiálem byla austenitická korozivzdorná ocel. Cílem bylo analyzovat průběh opotřebení břitů po předem stanovených časových intervalech a určit výsledné trvanlivosti zkoušených destiček. V průběhu testování docházelo k vylamování řezných hran nástrojů a nedařilo se dosahovat požadované trvanlivosti. Po důkladném vyšetření obráběného materiálu bylo ve struktuře oceli zjištěno velké množství nehomogenně rozložených vměstků, což se ukázalo jako hlavní příčina lámání břitů. Z toho důvodu bylo rozhodnuto provést náhradní test, pro který byl dodán materiál od jiného výrobce. Materiálová analýza nově dodané oceli měla výrazně lepší čistotu struktury, což se pozitivně odrazilo na výsledcích druhého testu, při kterém ani v jednom případě nedošlo ke křehkému lomu břítu a zkoušené vzorky dosahovaly požadované trvanlivosti. Nejlepšího výsledku dosáhly vzorky upravené na hřbetech novou metodou úpravy povrchu vyvinuté firmou Dormer Pramet s.r.o. Po ukončení testů byla provedena adhezní zkouška přilnavosti povlaku k substrátu nástroje pomocí Rockwellovy metody. Na základě mikroskopických snímků, které odhalily částečné odlupování povlaku bylo vyhodnoceno, že kvalita deponované vrstvy není zcela optimální. V technicko ekonomickém zhodnocení byly stanoveny potenciálně ušetřené náklady při použití referenční VBD oproti referenční destičce A.

Klíčová slova

soustružení, břitové destičky, úprava povrchu, opotřebení, trvanlivost, korozivzdorná ocel

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the testing of coated carbide inserts with different types of surface treatments. The testing was conducted using longitudinal turning technology under constant cutting conditions, and the workpiece material used was austenitic corrosion-resistant steel. The aim was to analyze the wear progress of the cutting edges after predetermined time intervals and to determine the resulting durability of the tested inserts. During the testing, the cutting edges of the tools broke off and the required durability was not achieved. After a thorough examination of the workpiece material, a significant amount of unevenly distributed inclusions was found in the steel structure, which proved to be the main cause of the insert breakage. Therefore, it was decided to perform a replacement test using material from a new supplier. Material analysis of the newly delivered steel showed a significantly better purity of the structure, which was positively reflected in the results of the second test, in which there was no brittle fracture of the edge in any case and the tested samples reached the required durability. The best results were obtained with samples treated on flanks using a new surface treatment method developed by Dormer Pramet s.r.o. After completing the tests, an adhesion test of the coating to the tool substrate was performed using the Rockwell method. Based on microscopic images that revealed partial delamination of the coating, it was evaluated that the quality of the deposited layer was not quite optimal. In a technical and economical evaluation were determined the potentially saved costs when using the experimental cutting insert compared to the reference plate A.

Keywords

turning, cutting inserts, surface treatment, wear, durability, stainless steel

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FILIP, Jiří. *Vliv povrchové úpravy vyměnitelných břitových destiček na trvanlivost při soustružení korozivzdorné oceli* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149659>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Sedlák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv povrchové úpravy VBD na trvanlivost při soustružení korozivzdorné oceli vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 26.5.2023

místo, datum

Jiří Filip

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Josefu Sedlákoví, PhD. za cenné rady a připomínky, které mi poskytl v průběhu vypracování diplomové práce. Děkuji také zaměstnancům katedry strojírenství Univerzity obrany v Brně za provedení materiálových analýz a užitečné informace. Další poděkování patří firmě Dormer Pramet s.r.o, za umožnění vzniku této práce a za poskytnutí nástrojů a materiálů k provedení experimentů. V neposlední řadě děkuji svým rodičům za podporu po celou dobu studia.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ	10
1.1 Kinematika procesu	10
1.2 Mechanismus tvorby třísky	11
1.2.1 Průřez třísky	12
1.3 Řezné síly a výkon	12
1.4 Jednotkový strojní čas	14
1.5 Soustružnické nástroje	14
1.6 Soustružnické stroje	16
2 SLINUTÉ KARBIDY	17
2.1 Výroba břitových destiček	17
2.2 Technologie povlakování	19
2.3 Značení a rozdělení	20
3 OPOTŘEBENÍ BŘITŮ NÁSTROJE	22
3.1 Opotřebení břitových destiček	22
3.2 Kritéria opotřebení	25
3.3 Trvanlivost a životnost nástroje	26
3.4 Struktura povrchu	27
3.5 Úpravy mikrogeometrie nástroje	28
1.1.1 Vliv mikrogeometrie na životnost nástroje	28
1.1.2 Technologie mokrého pískování	29
3.5.1 Technologie leštění	31
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	32
4.1 Obráběný materiál	32
4.2 Obráběcí stroj	32
4.3 Použité nástroje a přístroje	33
4.4 Průběh testování	34
4.5 Měření tvrdosti	35
4.6 Metalografická analýza obráběného materiálu	39
4.7 Druhé testování	42

4.8	Výsledky druhého testování	43
4.9	Analýza povlaku destiček	50
5	TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	52
	DISKUZE.....	54
	ZÁVĚR.....	55

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

ÚVOD

Rostoucí požadavky na vysokou produktivitu a kvalitu výroby, při co nejnižších možných nákladech, způsobují v oblasti třískového obrábění zvýšenou poptávku po kvalitních rezných nástrojích. Tato skutečnost vytváří tlak na výrobce nástrojů, kteří jsou nuceni své produkty neustále vyvíjet a přizpůsobovat je nárokům svých odběratelů.

Strojírenská společnost Dormer Pramet s.r.o., se sídlem v Šumperku v České republice, patří již dlouhou řadu let mezi přední světové výrobce a vývojáře obráběcích nástrojů. Nejvýznamnější část produkce firmy tvoří vyměnitelné břitové destičky (VBD) ze slinitých karbidů (SK). Jedním z nejdůležitějších předpokladů kvalitní VBD je, aby rezné břity při obrábění zůstaly co nejdéle ostré, tudíž průběh jejich opotřebení byl co nejpomalejší. Prodloužení životnosti břitů lze dosáhnout nanesením tenké vrstvy povlakového materiálu na substrát destičky v kombinaci s vhodnou povrchovou úpravou. Ve snaze dosáhnout co nejdelší životnosti nástroje, se firma v současnosti zabývá testováním břitových destiček s různými druhy úprav povrchu.

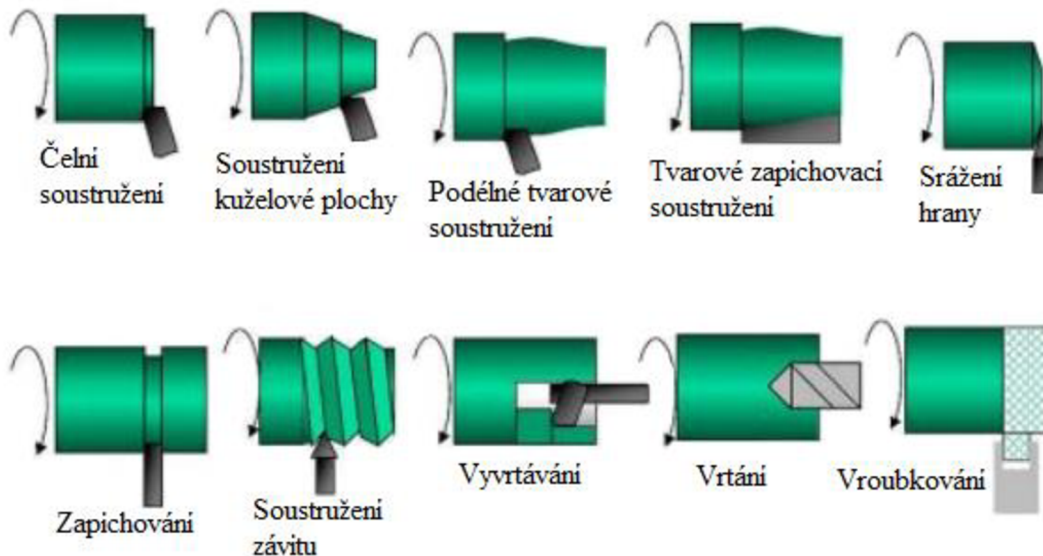
Diplomová práce se zabývá testováním nově vyvíjených VBD s různou povrchovou úpravou. Testování spočívá v provedení rezných zkoušek, technologií podélného soustružení, za konstantních rezných podmínek. Soustruženým materiálem byla korozivzdorná austenitická ocel 17 349. Obrábění bylo rozděleno do časových úseků, po uplynutí každého z nich byl rezný proces přerušen a na břitech VBD se měřilo opotřebení. Předmětem výzkumu bylo vyhodnocení průběhu opotřebení břitů experimentálních destiček a určení jejich trvanlivostí. Na obr. 1 je obecný příklad podélného válcového soustružení.



Obr. 1 Podélné válcové soustružení [1].

1 TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ

Metoda třískového obrábění, používaná pro výrobu rotačních součástí, pomocí různých typů soustružnických nožů. Jedná se o nejpoužívanější a z mnoha ohledů také nejjednodušší metodu obrábění ve strojírenské praxi. Hlavním principem je postupné zmenšování průměru, případně délky obrobku, za účelem vytvoření požadovaného tvaru a rozměrů. Používané stroje se nazývají soustruhy a kromě základních operací, kterými jsou vnější a vnitřní válcové, rovinné čelní, kuželové a tvarové soustružení, na nich lze provádět i zapichování, závitování, vrtání a další (obr. 2). [2]



Obr. 2 Základní operace prováděné na soustruhu [2].

1.1 Kinematika procesu

Popisuje relativní pohyby nástroje a obrobku, které jsou vyjádřeny příslušnými veličinami. Hlavní řezný pohyb při soustružení je rotace obrobku, vyjádřená vztahem [3]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \min^{-1}], \quad (1.1)$$

kde: v_c řezná rychlost [$m \cdot \min^{-1}$],
 D průměr obrobku [mm],
 n otáčky [\min^{-1}].

Vedlejší pohyby jsou přímočaré posuvy a vykonává je nástroj. Pokud se nástroj pohybuje v axiálním směru (rovnoběžně s osou obrobku), jedná se o podélný posuv, v případě radiálního pohybu (kolmo na osu obrobku) jde o příčný posuv. Posuvová rychlost se vypočítá jako [3]:

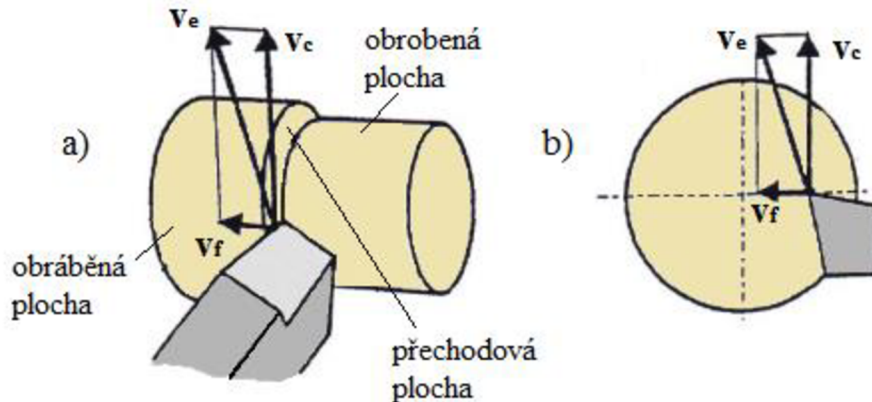
$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} [m \cdot \min^{-1}], \quad (1.2)$$

kde: v_f posuvová rychlost [$m \cdot \min^{-1}$]
 f posuv na otáčku [mm].

Výsledný pohyb nástroje vůči obrobku je určen vektorovým součtem složek řezné a posuvové rychlosti podle vztahu (1.3). Kinematické schéma procesu soustružení je na obr. 3. [3]

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [m \cdot \text{min}^{-1}], \quad (1.3)$$

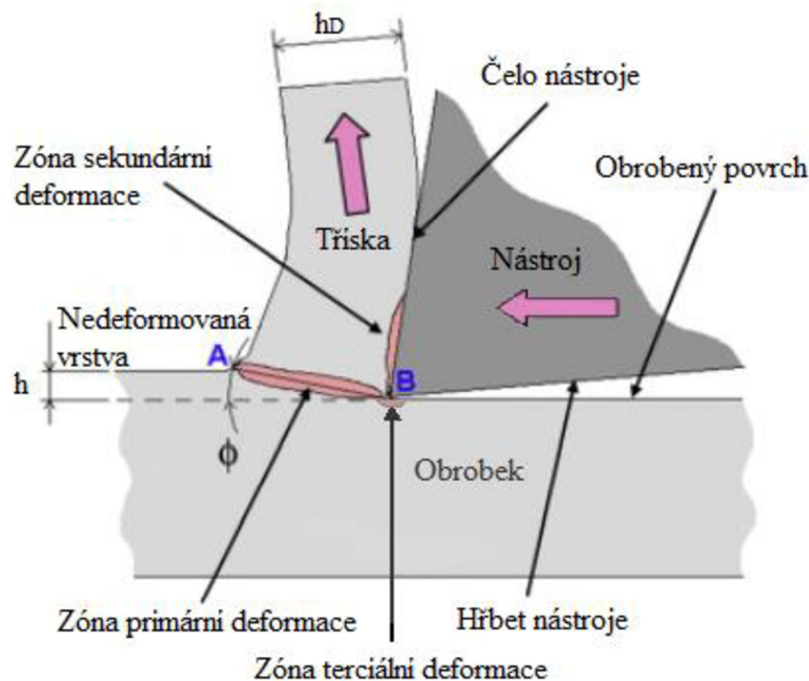
kde: v_evýsledná efektivní rychlost [$m \cdot \text{min}^{-1}$].



Obr. 3 Kinematické schéma soustružení a) podélné soustružení, b) čelní soustružení [2].

1.2 Mechanismus tvorby třísky

Během řezného procesu dochází v místě tvorby třísky nejprve k pružným a následně k plastickým deformacím způsobené vnikáním nástroje do obrobku. Princip tvorby třísky je vysvětlen pro případ ortogonálního obrábění na obr. 4. Materiál, který se nachází před řeznou hranou je nejprve stlačen a plasticky deformován podél linie A-B. Tato oblast se nazývá primární smyková zóna. Z deformovaného materiálu se tvoří tříska, která z řezu odchází podél čela nástroje. V místě styku třísky s čelem vznikají vlivem tření vysoké teploty, které jsou hlavní příčinou sekundární plastické deformace. Dále vzniká ještě terciální plastická deformace, která je vyvolána kontaktem obrobeného povrchu s hřbetem nástroje a způsobuje zpevnění povrchových vrstev. Z obrobku je odebrán materiál o tloušťce h , ale vlivem plastické deformace v primární a sekundární zóně je tříska spěchována na tloušťku h_D . [4]



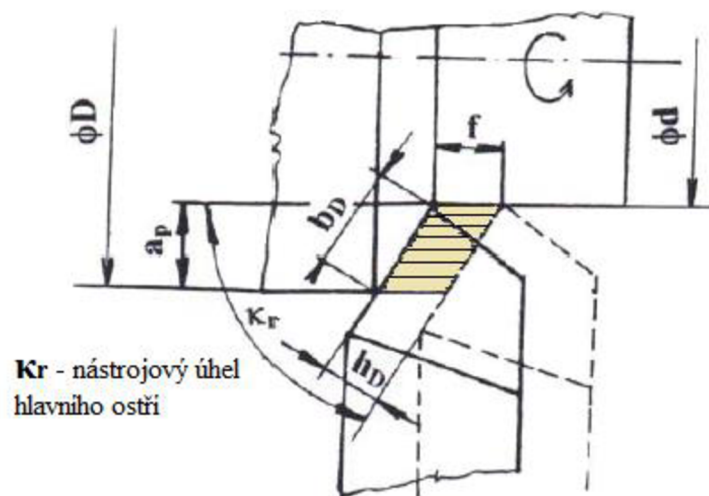
Obr. 4 Model tvorby třísky při ortogonálním obrábění [4].

1.2.1 Průřez třísky

Je to plocha materiálu oddělená od obrobku břitem řezného nástroje. Tříska může mít různé tvary a velikost v závislosti na druhu obráběného materiálu, řezných podmínkách a geometrii nástroje. Průřez odebírané třísky hraje důležitou roli v silovém zatížení nástroje a také jeho opotřebení. Rozměry průřezu třísky při soustružení válcové plochy jsou znázorněny v obr. 5. Výpočet jmenovitého průřezu třísky je dán vztahem [2]:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot f \quad [\text{mm}^2], \quad (1.4)$$

kde: A_D jmenovitý průřez třísky [mm^2],
 b_D jmenovitá šířka třísky [mm],
 h_D jmenovitá tloušťka třísky [mm],
 a_p šířka záběru ostří [mm].



Obr. 5 Průřez třísky při válcovém soustružení [2].

1.3 Řezné síly a výkon

Jsou v obráběcím procesu limitujícím prvkem a to z několika důvodů. Vysoké řezné síly znamenají zvýšení výkonu stroje, což se negativně odráží na spotřebě elektrické energie. Při překročení výkonu, na který je stroj dimenzován, dojde k jeho poškození. Velké silové zatížení způsobuje větší deformace břitu nástroje, vznik vibrací, zhoršení kvality obrobku a nakonec rychlé ukončení životnosti nástroje vlivem vylomení břitu. Velikost řezné síly závisí především na materiálu obrobku, řezných podmínkách a geometrii nástroje. Nástroj působí na obráběný materiál silou, která se skládá ze tří složek (obr. 6). Složky řezné síly a jejich výslednice se stanoví podle vztahů [3,5]:

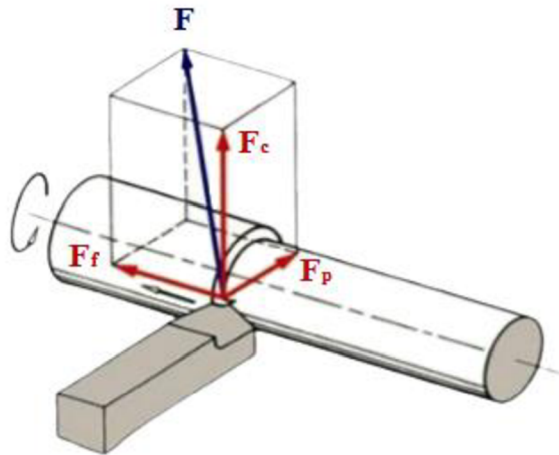
$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \quad [\text{N}], \quad (1.5)$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}], \quad (1.6)$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} \quad [\text{N}], \quad (1.7)$$

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad [\text{N}], \quad (1.8)$$

kde: F_c řezná síla [N],
 F_f posuvová síla [N],
 F_p pasivní síla [N],
 F výsledná řezná síla [N],
 C_{Fc}, C_{Ff}, C_{Fp} materiálové konstanty [-],
 x_{Fc}, x_{Ff}, x_{Fp} exponenty vlivu šířky záběru ostří [-],
 y_{Fc}, y_{Ff}, y_{Fp} exponenty vlivu posuvu [-].



Obr. 6 Řezné síly [5].

Řezná síla může být vyjádřena také ze vztahu měrné řezné síly. Měrná řezná síla je definována jako odolnost odebíraného materiálu proti překonání soudržnosti. Vypočítá se jako [3]:

$$k_c = \frac{F_c}{A_D} \text{ [MPa]}, \quad (1.9)$$

kde: k_c měrná řezná síla [MPa].

Velikost měrné řezné síly závisí na řadě technologických činitelů, jako jsou geometrie břitu, tvrdost a pevnost obráběného materiálu a tloušťka třísky. Se zmenšujícím se průřezem třísky její velikost roste. [3]

Řezný výkon, vyjádřený součinem řezné síly a řezné rychlosti, stanovuje výkon na vřetenu stroje (jinak také označován jako užitečný, nebo efektivní výkon). Vypočítá se jako:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 10^6} \text{ [kW]}, \quad (1.10)$$

kde: P_c řezný výkon stroje [MPa].

Skutečný výkon motoru obráběcího stroje je vyšší, z důvodu vzniku mechanických ztrát. Vypočítá se jako:

$$P_m = \frac{P_c}{\eta_m} \text{ [kW]}, \quad (1.11)$$

kde: P_m skutečný výkon stroje [MPa],
 η_m mechanická účinnost stroje [-].

1.4 Jednotkový strojní čas

Jednotkový strojní čas se určuje zejména z důvodu optimalizace obráběcího procesu a má přímý vliv na ekonomičnost výroby. Hodnota jednotkového strojního času se určuje z parametrů obrábění, viz obr. 7. Podélné soustružení válcové plochy se vypočítá jako:

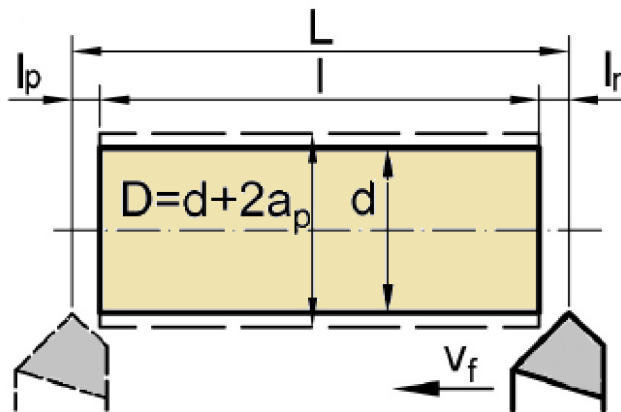
$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} [\text{min}], \quad (1.12)$$

kde: t_{AS} jednotkový strojní čas [min],
 L dráha nástroje [mm].

Dráha nástroje ve směru posuvu se určí součtem jednotlivých složek vztahem:

$$L = l + l_n + l_p [\text{mm}], \quad (1.13)$$

kde: l délka soustružené plochy [mm],
 l_n délka náběhu [mm],
 l_p délka přeběhu [mm].



Obr. 7 Jednotkový strojní čas pro podélné soustružení [2].

1.5 Soustružnické nástroje

Nejčastěji používané nástroje jsou soustružnické nože, které se z technologického hlediska dělí na radiální, prizmatické, kotoučové a tangenciální. Největší skupinu tvoří radiální nože, které se rozlišují podle konstrukce, směru posuvu, způsobu obrábění a tvaru tělesa nože. Z konstrukčního hlediska jsou radiální nože:

- celistvé – těleso i řezná část jsou jeden celek ze stejného materiálu,
- s pájenými břitovými destičkami – na těleso nástroje z konstrukční oceli je připájena břitová destička z řezného materiálu,
- s vyměnitelnými břitovými destičkami – do nožového držáku z konstrukční oceli je mechanicky upnuta břitová destička z řezného materiálu.

Podle směru posuvu se radiální nože dělí na:

- pravé – pohyb směrem k vřetenu,
- levé – pohyb směrem od vřetena.

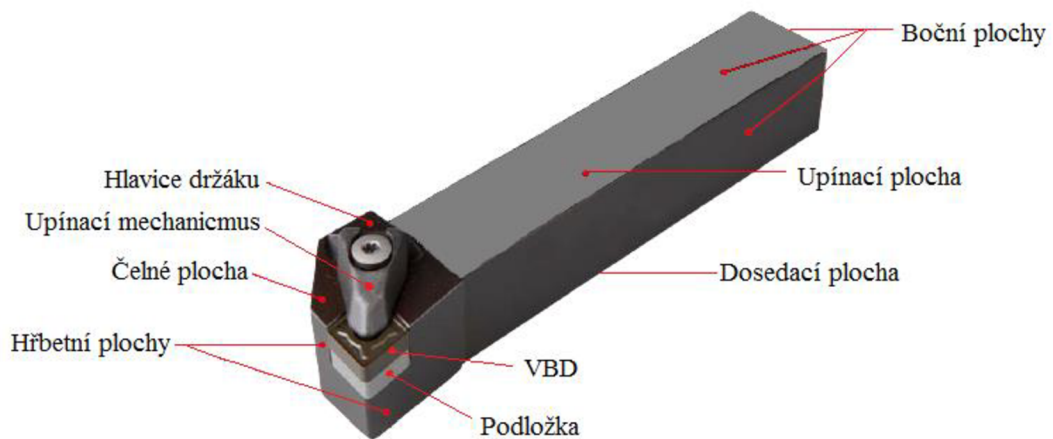
Podle způsobu obrábění se radiální nože používají pro:

- obrábění vnějších ploch,
- obrábění vnitřních ploch.

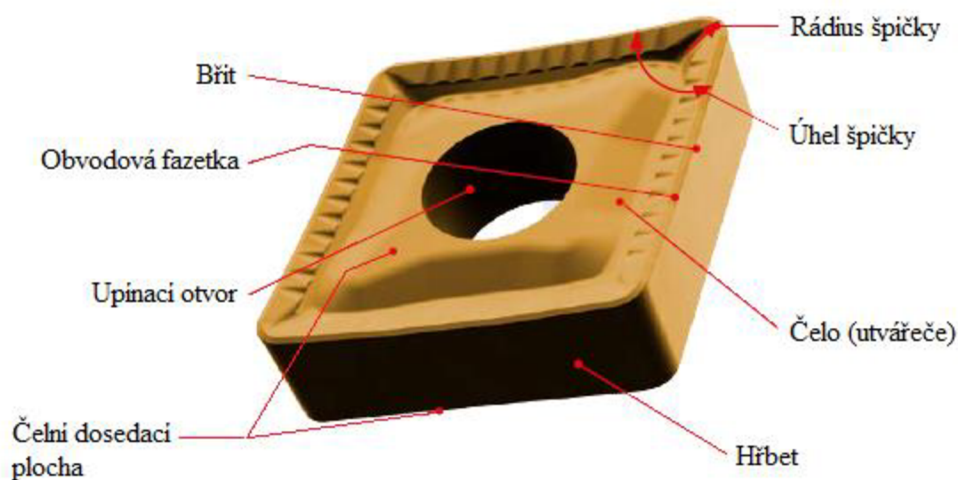
Podle tvaru těla jsou nože:

- přímé,
- ohnuté.

Podle způsobu operace se vnitřní a vnější nástroje dále dělí na uběrací, kopírovací, zapichovací, upichovací, tvarové a závitové. Nejběžněji používané jsou nástroje s VBD, které mají mechanický způsob upínání, viz obr. 8. Destičky se vyrábí ze slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky, polykrystalického nitridu boru nebo polykrystalického diamantu. Téměř všechny vyráběné destičky v dnešní době jsou vícebřité a většinou také oboustranné. To znamená, že např. u čtvercové VBD lze využít až osm řezných hran. Na obr. 9 je ukázka čtvercové VBD s popisem jednotlivých částí. [2]



Obr. 8 Konstrukce radiálního soustružnického nože s VBD [6].

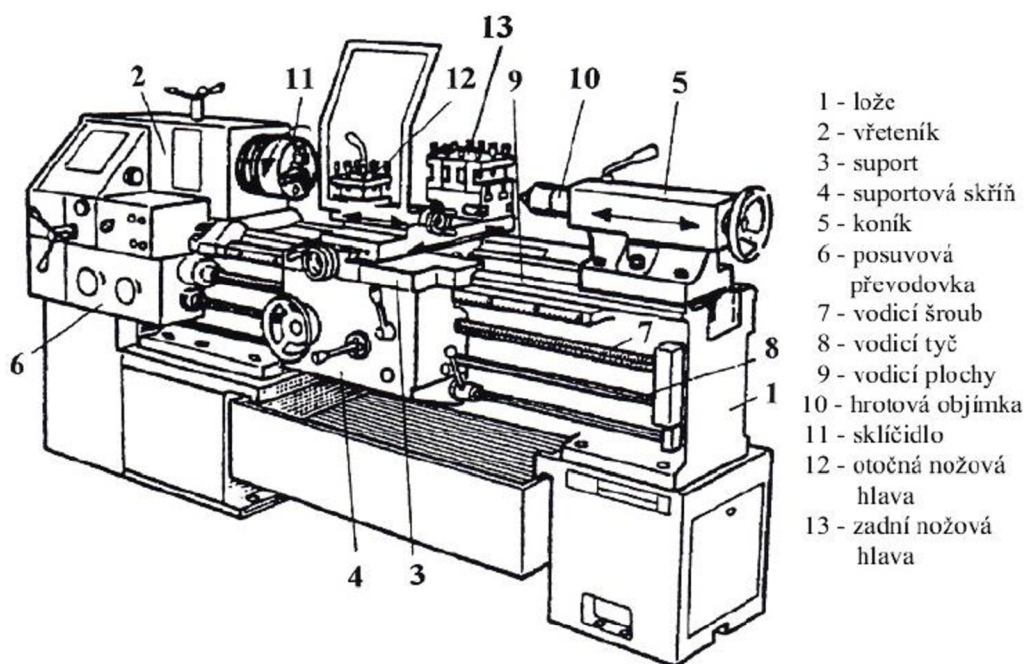


Obr. 9 Popis částí VBD [6].

1.6 Soustružnické stroje

Soustruhy tvoří hlavní část strojírenské obráběcí techniky. V různých typech obráběcích provozů strojírenských podniků se vyskytují ve velkém množství a mohou mít různou úroveň automatizace. Dle konstrukčně technologického hlediska jsou rozdělovány na hrotové, svislé, revolverové a speciální. Další rozdělení je podle stupně automatizace na ručně ovládané, poloautomatické a automatické. [2, 7]

Nejobecnější jsou univerzální hrotové soustruhy (obr. 10), které se používají v kusové a malosériové výrobě. Lze na nich obrábět jak vnitřní tak vnější rotační plochy, rovinné čelní plochy, zapichovat, soustružit kuželové i tvarové plochy a řezat závit. Soustružnické nástroje jsou upnuty v rotační nástrojové hlavě, kam lze upnout celkem čtyři nože. Velikost hrotových soustruhů je posuzována zejména podle rozměru největšího průměru obrobku, který je na nich možné obrobřit. Dalším kritériem je největší délka soustružení, určená vzdáleností mezi hroty. [2, 7]



Obr. 10 Univerzální hrotový soustruh [7].

Svislé soustruhy, neboli karusely, se používají pro výrobu středních a velkých rotačních součástí, které mají malý poměr délky vůči průměru. Hlavními elementy těchto strojů jsou otočný stůl, stojany a příčnický se suporty. Tyto soustruhy jsou nejčastěji dvou stojanové, díky čemuž lze obrábět několika nástroji najednou. [2]

Revolverové soustruhy slouží pro výrobu malých a středních sérií, kde je pro zhotovení jednoho dílu potřeba použít větší počet nástrojů. Součásti jsou na těchto strojích obráběny na jedno upnutí, postupně pomocí nástrojů upnutých v revolverové hlavě. Ve srovnání s hrotovými soustruhy je na revolverových dosahováno rychlejšího a přesnějšího polohování nástroje vůči obrobku a lze obrábět více nástroji najednou. Revolverové hlavy s nástroji jsou otočné jak v horizontální, tak ve vodorovné ose. [2]

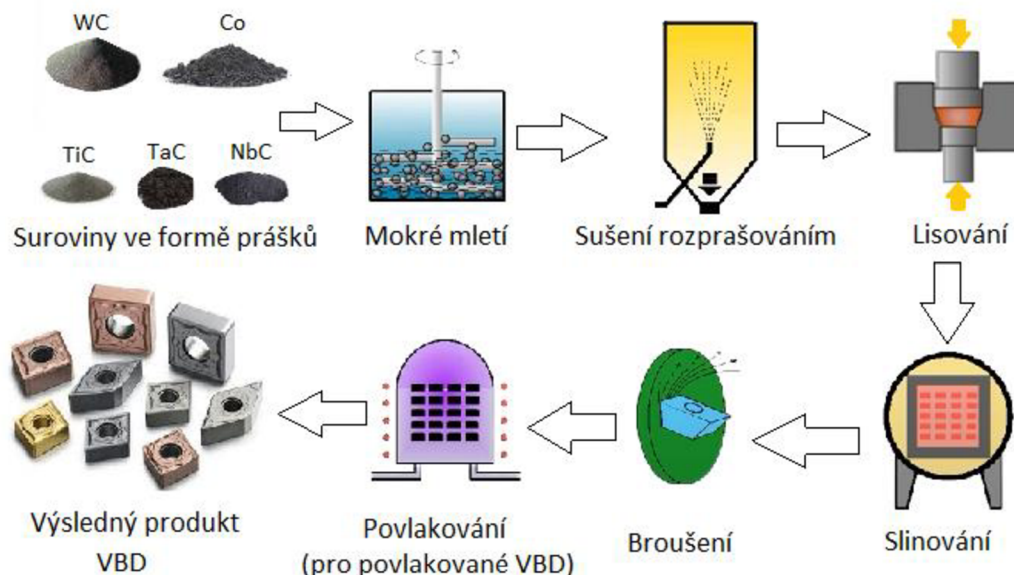
V dnešní době jsou již velmi rozšířené automatické CNC soustruhy, které umožňují automatickou výměnu nástrojů a v některých případech i obrobků. Kromě toho umí na obráběné součásti vykonávat také další operace jako radiální vrtání nebo frézování drážek. Soustruh opatřený více suporty a vřeteny s možností použití poháněných nástrojů, navržený pro různé operace na jedno upnutí se označuje jako soustružnické obráběcí centrum. [2]

2 SLINUTÉ KARBIDY

Jsou tvrdé, ořezavzdorné materiály, které se používají zejména pro výrobu řezných nástrojů a vyměnitelných břitových destiček. Důvodem jejich rozsáhlého uplatnění je vyvážená kombinace tvrdosti a lomové houževnatosti, kterou si zachovávají i při teplotách až do 900 °C. Z těchto důvodů lze používat při obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro náročné přerušované řezy. Jsou tvořeny částicemi karbidů, zejména wolframu, titanu, tantalu nebo Niobu. Zrna karbidů jsou k sobě vázány kovovým pojivem, nejčastěji kobaltem, které má vliv na pevnost a houževnatost nástroje. Vyrábí se metodou práškové metalurgie, což znamená spékání práškových hmot. Díky svým mechanickým vlastnostem dominují nad ostatními nástrojovými materiály, jako jsou rychlořezné oceli nebo diamant. Slinuté karbidy lze použít pro obrábění různých druhů materiálů, jak měkkých, kterými jsou mosazi a slitiny hliníku, tak i těch nejtvrdších, ke kterým patří žárovečné slitiny nebo bílá litina. Pro zvýšení obráběcího výkonu se používá tzv. povlakování, což je nanášení velmi tenké vrstvy hmoty na nástroj, která má zpravidla vyšší tvrdost i pevnost než samotný homogenní materiál. [8, 9, 10]

2.1 Výroba břitových destiček

Slinuté karbidy zaujímají významnou část strojírenské oblasti zvané prášková metalurgie, která se zabývá kompletním procesem výroby součástí z práškových hmot. Výrobní cyklus zahrnuje přípravu vhodných karbidů a kovového pojiva ve formě prášků, jejich vhodné smíšení v předepsaných poměrech, lisování a následně slinování neboli spékání při teplotě blízké se bodu tavení pojiva. Takto vznikne celistvý velmi tvrdý a pevný produkt, který je dále ještě upravován do konečné podoby. U břitových destiček, které tvoří převládající část produkce, to bývá broušení a povrchová úprava ve formě tenké vrstvy povlaku. Průběh celého postupu je schematicky znázorněn na obr. 11. [10]



Obr.11 Proces výroby VBD ze slinutých karbidů [11, 12].

Výroba břitových destiček ze slinutých karbidů začíná těžbou rudy v níž je obsažen prvek wolframu. Jsou to například scheelit CaWO_4 , nebo wolframit $(\text{Fe, Mn})\text{WO}_4$. Největší ložiska těchto rud se nachází v Číně, Vietnamu, Rusku a Kanadě, z evropských zemí v Rakousku a Španělsku. Po vytěžení se ruda nadrtí, odstraní se z ní nečistoty (oxidy, vodík, kyseliny) tak, aby zůstal pouze čistý prášek wolframu. Následuje nauhličení smícháním wolframu se sazemí za vysokých teplot 1800 až 2500 °C a výsledkem je prášek WC. Dalším krokem je smíchání wolframového karbidu s pojivem – kobaltem a dalšími přísadami (TiC, TaC, NbC a další) tak,

aby bylo dosaženo rovnoměrně rozptýlených karbidických zrn obalených velmi jemným práškem kobaltu. Nezbytné je také přidání plastifikátoru (např. syntetický kaučuk rozpuštěný v benzínu), který zvyšuje stupeň zhuštění a hlavně přispívá k pozdějšímu udržení tvaru polotovaru po lisování. Důležitou vlastností tohoto organického pojiva je, aby při slinování šel snadno odstranit aniž by znečistil směs. [10, 11, 14]

Mletí se provádí za sucha nebo častěji s použitím kapaliny, např. etylalkohol, metylalkohol, aceton, benzín, někdy voda. Kapalina pomáhá k lepšímu rozptýlení částic, snižuje pracovní teplotu a tvoří ochranný účinek proti oxidaci. Nevýhodou mokrého prostředí je nutnost důkladného vysušení směsi po ukončení mlecí operace, což však netvoří velký problém. K míchání látek se používá atritor. To je válcová nádoba s míchacími rameny na rotujícím hřídeli. K promíchávání zde pomáhají kuličky, jejichž průměry jsou 4 až 7 mm. Vnitřní obložení nádoby a mlecí komponenty by měly být vyrobeny z materiálu o stejném složení, jako připravovaná směs, z důvodu, aby při jejich abrazivním opotřebení nedošlo ke znečištění směsi. Proces mletí je zdlouhavý, podle předpisu trvá většinou 8 až 55 hodin. [10, 11, 14]

Následuje sušení, prováděné ve speciálním stroji pomocí rozprašování. Smíchané látky jsou tryskami dopraveny do vysoké válcové nádoby, která je ve spodní části zúžena, kvůli snadnému vyjímání po usušení. Pomocí horkého vzduchu, proudícího dovnitř komory, se kapaliny začnou velmi rychle vypařovat a tak se dosáhne suché směsi, která se poté v barelech uloží do skladu. Ze skladovací haly je sypký materiál přepraven k formovacímu lisu. [10, 11, 14]



Obr. 12 Lisovací nástroj firmy Dormer Pramet [13].

Tvarování směsi probíhá mezi dvěma pohyblivými lisovníky a statickou matricí. Lisovníky vtlačují směs do otvoru matrice, čímž vytváří požadovaný polotovar. Působící tlak mezi nástroji se pohybuje mezi 50 až 200 MPa, záleží na předpisu pro daný druh výroby. Na obr. 12 je ukázka lisovacího nástroje firmy Dormer Pramet s.r.o. Operace lisování a odebírání výlisků je plně automatická. Vzniklý polotovar je velmi křehký, proto na řadu přichází vytvrzování ve slinovací peci, při kterém se z křehkého výrobku během zhruba 13. hodin při teplotě přibližně 1500 °C, stane produkt téměř stejně tvrdý, jako diamant. Při spékání se spálí plastifikátor a destička se smrští o 20 až 50 %. Záleží na množství karbidů, kobaltu, velikosti zrna a lisovacím tlaku. Přebytné teplo vzniklé při spékání je možné recyklovat a v zimním období použít pro vytápění prostor. [10, 11, 14]


Destičky v tomto stavu jsou broušeny na různých typech brusek, aby bylo dosaženo přesných rozměrů, geometrie a tolerancí. K broušení se používají kotouče z průmyslových diamantů. Převážná většina břitových destiček před balením a exportem k zákazníkovi, pokračuje na stanoviště povrchové úpravy ve formě mikro vrstvy velmi tvrdého povlaku, nazývané

technologie povlakování, které se věnuje následující kapitola. Použité, opotřebované destičky se recyklují tak, že se rozemelou na jemný prach, který se smíchá s ostatními surovinami a použije se pro výrobu nových VBD. [10, 11, 14]

2.2 Technologie povlakování

Jedná se o nanášení tenké vrstvy materiálu, o tloušťce několika mikrometrů, na povrch nástroje, za účelem ochrany proti opotřebení, prodloužení jeho životnosti a zvýšení efektivity výroby. Povrchová vrstva v této formě má mnohonásobně vyšší tvrdost a pevnost než stejný materiál v jakékoliv jiné podobě. Důvodem je, že struktura povlaku neobsahuje žádné pojivo, má podstatně jemnější zrnitost, méně pórů a dutin. Povlakování může být jak jednovrstvé, tak vícevrstvé, které je odolnější proti šíření trhlin a lépe vyrovnává zbytkovou tahovou napjatost. Mezi nejpoužívanější povlaky pro VBD ze slinutých karbidů patří TiN, TiCN, TiC, TiAlN, a Al₂O₃. Jednotlivé druhy povlaků jsou voleny z hlediska operace, pro kterou mají být použity na základě jejich užitečných vlastností viz tab. 1. [10, 15]

Tab. 1 Porovnání vlastností povlaků [10].

Hodnocení povlaku	Tvrdost	Tvrdost za tepla	Odolnost proti oxidaci	Chemická stabilita
nejlepší  nejhorší	TiC	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
	TiCN	TiAlN	TiAlN	TiAlN
	Al ₂ O ₃	TiN	TiN	TiN
	TiAlN	TiCN	TiCN	TiCN
	TiN	TiC	TiC	TiC

Z tab. 1 vyplývá, že nejlepšími výsledky dosahuje Al₂O₃, který je vhodné použít při vysokých režných rychlostech, kde dochází k tepelné únavě. Tento kov ve formě mikro vrstvy má vysokou termochemickou stabilitu a tím pádem delší trvanlivost. Oproti tomu tvrdší TiC je lepší při nižších rychlostech, kde převládá brusné opotřebení. V průběhu let vzniklo několik různých technologií depozice těchto materiálů, nejpoužívanějšími jsou metody CVD (chemical vapour deposition), MT-CVD (moderate temperature chemical vapour deposition) a PVD (physical vapour deposition). [10, 15]

- Metoda CVD – je založena na chemické reakci plyných sloučenin, probíhající těsně nad povrchem podkladového materiálu, přičemž se výsledné produkty reakce zachycují na tomto povrchu. Plyny vstupující do procesu musí obsahovat speciální sloučeninu, která se přivedením energie (ohřevem, laserovým paprskem, plazmovým obloukem) chemicky rozloží. Dále je v nich obsažena také reaktivní nekovová látka, např. N₂, NH₄, nebo CH₄, která je spouštěčem této reakce a na základě níž je vytvořena tenká vrstva. Neméně důležitou složkou je tzv. nosný plyn, používá se Ar nebo H₂, který zajišťuje dopravu směsi a pomocí něhož lze řídit proces růstu požadované vrstvy. Povlakovými materiály jsou TiC, TiCN, TiN a oxid hlinitý Al₂O₃. Celá metoda probíhá za vysokých teplot 700 až 1300°C v uzavřené trubkové pece. Na jedné straně šachty je nižší teplota, zde je vložena keramická nádoba s práškovou směsí a na opačném konci, v místě s nejvyšší teplotou, se umístí vzorek. Po uzavření pece a ohřevu začne prášek produkovat reaktivní výpar, který se přemísťuje do nejvíce ohřáté zóny, kde reaguje s nekovovou plynou látkou, např. NH₄. Výsledná nano struktura se usazuje na povrchu vzorku. Mezi výhody patří velmi dobrá přilnavost povlaku k podkladu, nanášení silnějších vrstev, až 13 μm, nebo pokovování součástí geometricky složitých tvarů. Nevýhodami jsou zbytková tahová napětí, nelze povlakovat ostré

hrany a vlivem vysoké teploty je ovlivněn podkladový povrch, což má za následek snížení pevnosti v ohybu. [10, 16, 17, 18]

- Metoda MT-CVD – funguje na principu snížených pracovních teplot CVD, které jsou v rozmezí 700 až 800 °C. Rozdíl oproti konvenční metodě je v použité vstupní plynné sloučenině, kterou je nejčastěji acetonitril. Hlavní předností nižších reakčních teplot je, že nedochází k ovlivnění materiálu pod nanášenou vrstvou, čímž není snížena jeho houževnatost. Břitové destičky jsou tak mnohem odolnější proti mechanickým rázům a při obrábění je lze použít při vyšších posuvových rychlostech. VBD tak lze vyrábět i s menšími úhly břitu bez obavy, že by při přerušovaných řezech docházelo k vyламování ostří. [16]
- Metoda PVD – principem je srážení atomů, které se uvolňují ze zdroje fyzikálními metodami rozprašováním, nebo odpařováním. Operace probíhá v uzavřené vakuové komoře, která je vyplněna inertním a reaktivním plynem, nejčastěji argonem. Volné atomy jsou ionizovány, reagují s atmosférou uvnitř komory a záporným napětím v řádech stovek voltů jsou urychleny směrem k povrchu součásti kde se usazují a vytváří tenkou homogenní vrstvu. Používané povlaky jsou oxidy, oxinitridy, nitridy a karbonitridy. Jednou z nejběžnějších metod fyzikálního napařování je obloukové iontové pokovování, které probíhá ve čtyřech krocích. Nejprve jsou z prostoru peci odčerpány nečistoty jako kyslík a vodní páry, čímž se vytvoří vakuum. Následuje ohřev, kterým se ze součásti i celého prostoru komory vypaří vlhkost. Dále se pomocí iontů argonu, generované ze zdroje plazmy, provádí leptání k odstranění oxidů ulpívajících na povrchu dílce. Posledním bodem je nanášení povlaku. Mezi kovovým materiálem a komorou dojde k obloukovému výboji, kov se začne vypařovat a ionizovat prvky. Na objekt, který má být povlakován, je přivedeno záporné napětí, kladně nabitě částice na něj naráží a vytváří na povrchu tenký film. PVD probíhá za nízkých pracovních teplot, pod 500 °C, díky čemuž nedochází k negativnímu ovlivnění podkladu. K dalším přednostem patří schopnost povlakovat i ostré hrany. Nevýhodami jsou složitější příprava povrchu součásti, který musí být důkladněji očištěn a potřeba neustálého pohybu s tímto dílem, aby došlo k nanesení kovové vrstvy i na plochy odvrácené od místa odpařování částic. Přední technologií této metody je tzv. HiPIMS – high-power impulse magnetron sputtering, neboli vysokovýkonné pulzní magnetronové rozprašování, které produkuje velmi intenzivní pulzy vysokého napětí s čímž souvisí i hustý iontový tok. Pomocí těchto pulzů je dosažena vysoká ionizace nanášených materiálů, lepší hloubkový průnik částic u tvarových nástrojů a zlepšená přilnavost povlaku. [10, 15, 16, 19]

2.3 Značení a rozdělení

Slinuté karbidy určené pro řezné operace jsou dle normy ISO 513 rozděleny do šesti barevně označených skupin P, M, K, S, H a N, podle druhu slitiny, kterou obrábí. Dále se dělí do podskupin označené vždy písmenem příslušné skupiny a dvojcifernou číslicí, která vyjadřuje pevnost a relativní opotřebení. Obecně platí, že čím vyšší číslo, např. P30 – P60, tím více pojiva ve struktuře, což znamená lepší houževnatost, ale nižší tvrdost a odolnost proti otěru. Použití je vhodné pro hrubovací a přerušované řezy s nízkou řeznou a vyšší posuvovou rychlostí. Naopak P01 – P10 jsou určeny pro dokončování, kde se obrábí vysokou řeznou rychlostí, nižším posuvem, nepřerušovaným řezem a malou hloubkou záběru. Tyto SK mají vyšší obsah karbidů a méně pojiva, čímž jsou odolnější vůči plastické deformaci a difuzi, na druhou stranu jsou však celkem křehké. Kompletní přehled zmíněných druhů slinutých karbidů včetně jejich využití je uveden v tab. 2. [3]

Tab. 2 Rozdělení slinitých karbidů podle ISO 513 [3].

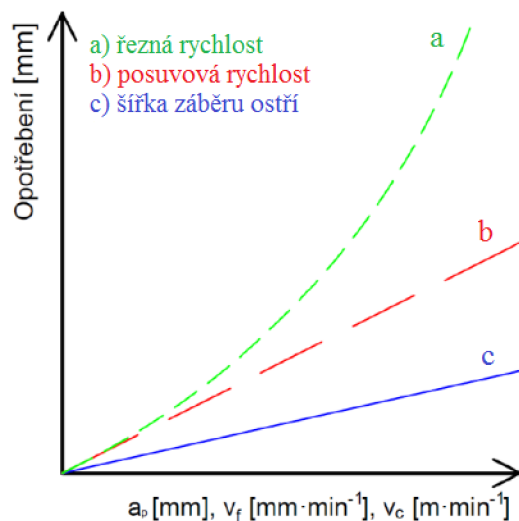
Skupina	Podskupina	Použití
P	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	Obrábění materiálů tvořící dlouhou třísku. Uhlíkové oceli, feritické korozivzdorné oceli a slitinové oceli.
M	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	Obrábění materiálů tvořící dlouhou a střední třísku. Lité oceli, tvárné litiny a austenitické korozivzdorné oceli.
K	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	Obrábění materiálů tvořící krátkou, drobivou třísku. Neželezné slitiny, šedé litiny a nekovové materiály
S	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30	Obrábění speciálních žárupevných slitin na bázi titanu, kobaltu, niklu nebo železa
H	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30	Obrábění zušlechtěných a kalených ocelí a tvrzených slitin
N	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30	Obrábění neželezných kovů, slitin hliníku a mědi, kompozitních materiálů, plastů nebo dřeva

Skupina P s modrým označením se používá pro materiály, které při obrábění produkují dlouhou třísku. Patří sem uhlíkové, slitinové a feritické korozivzdorné oceli. Důležitou složku skupiny tvoří karbidy TiC, TaC a NbC, které si udržují velmi dobrou tvrdost i při vyšších teplotách, což neplatí pro WC. Přísada TiC také zvyšuje odolnost proti difúzi při vysokých teplotách, způsobujících tvorbu výmolu na čele nástroje, k níž dochází v místě kontaktu s odcházející třískou. Naopak nevýhodou TiC, ve srovnání s WC, je jeho křehkost a nízká odolnost vůči abrazi. Skupina M žlutá, je považována za kategorii s univerzálním použitím. Její chemické složení umožňuje obrábět slitiny tvořící dlouhou a střední třísku, což jsou lité a austenitické korozivzdorné oceli nebo tvárné litiny. Relativně vysoká houževnatost předurčuje SK z této skupiny také k použití pro těžké hrubovací a přerušované řezy. Nevýhodou jsou vyšší hodnoty řezných sil, způsobující vydrolování ostří. Skupina K je charakteristická červenou barvou a určena pro slitiny, tvořící při obrábění krátkou a drobivou třísku, což splňují například litiny. Zrna karbidů mají rozměry 0,2 až 10 μm . Menší zrna, společně s vyšším obsahem pojiva, zaručují lepší houževnatost a odolnost ke křehkému lomu. Jedinou tvrdou strukturální složkou je zde karbid wolframu, který má při pokojové teplotě podobnou tvrdost jako TiC. Tu však při nárůstu tepla rychle ztrácí. Z tohoto důvodu nejsou slinité karbidy červené skupiny vhodné pro řezání materiálů tvořících dlouhou třísku, která tepelně zatěžuje čelo nástroje daleko více, protože s ním má větší plochu styku a působí na něj po delší dobu. [3, 10]

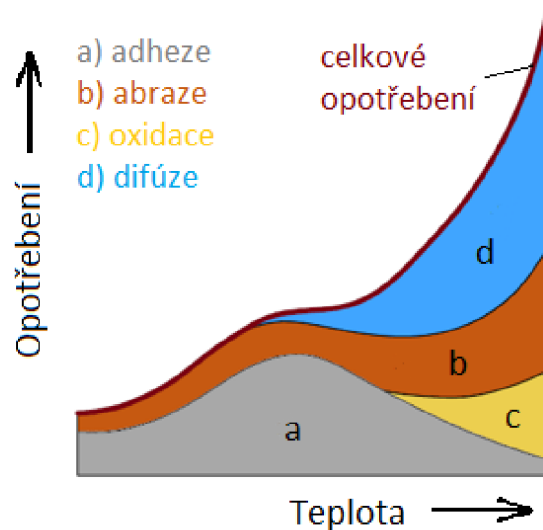
Následující tři skupiny SK jsou z hlediska vývoje novější a méně známé. Slouží hlavně pro zpracovávání speciálních typů materiálů. Skupina S hnědá, je vyhrazena pro materiály, které se obtížně zpracovávají a jejichž využití je třeba v leteckém průmyslu nebo u plynových turbín a generátorů. Obrábí se tepelně odolné, vysoce legované slitiny. Charakteristickými znaky jsou tvorba dlouhé třísky a potřeba vysokých řezných sil a výkonu. Do skupiny H šedé barvy, patří zejména tvrzené litiny a kalené, nebo zušlechtěné oceli, používané v automobilovém průmyslu a taky pro výrobu strojů a forem. Tříska při zpracování je dlouhá, plynulá a řezné síly dosahují velice vysokých hodnot. Skupina N zelená zahrnuje neželezné a měkké kovy jako slitiny hliníku, mědi, bronzu a mosazi, které se používají v oblasti výroby letadel, nebo pro kola automobilů. Při obrábění vzniká dlouhá tříska, která je zejména u Al slitin lepkavá, proto je potřeba řezat ostrými hranami. Řezné síly jsou poměrně nízké. [14]

3 OPOTŘEBENÍ BŘITŮ NÁSTROJE

Opotřebení je nevyhnutelnou součástí strojních procesů tam, kde dochází k vzájemnému silovému kontaktu a relativnímu pohybu mezi strojními elementy. Postupná ztráta kvality nástroje při obrábění je způsobena jeho silovým působením vůči obrobku a také odcházející třískou. Jedná se o proces, při kterém se stav nástroje postupně zhoršuje, čímž ztrácí schopnost pracovat spolehlivě a efektivně. Průběh stárnutí nástroje je ovlivněn celou řadou faktorů, jako jsou fyzikální a mechanické vlastnosti materiálu obrobku, druh obráběcí operace (hrubování nebo dokončování), typ řezu (plynulý nebo přerušovaný), geometrie nástroje, způsob chlazení a řezné podmínky, kterými jsou řezná rychlost, posuv a šířka záběru. Vliv řezných podmínek na opotřebení nástroje je na obr. 13. [3, 21]



Obr. 13 Vliv řezných podmínek na opotřebení [2].



Obr. 14 Vliv teploty na opotřebení [2].

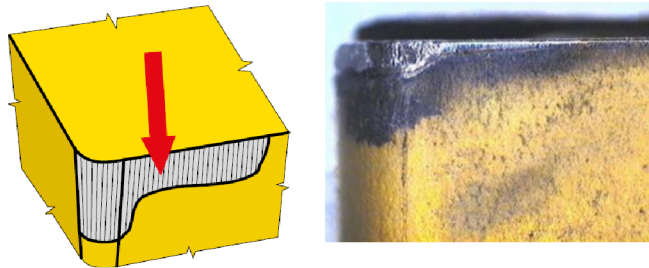
Hlavními příčinami opotřebení jsou tepelná, mechanická a molekulární působení mezi břitem, obráběným materiálem a třískou. Soubor těchto faktorů se různými formami podílí na zkracování životnosti nástroje. Na obr. 14 je graficky znázorněn vliv teploty na základní mechanismy opotřebení. Adheze nastává při vysokém tlaku, teplotě a chemické afinitě. Tyto činitele jsou příčinou pro vznik mikro svarových spojení mezi obrobkem a nástrojem, které po následném okamžitém přerušení, řezným pohybem, zapříčiňují vytrhávání částic bříty. Abraze spočívá v uvolňování tvrdých mikročástic z materiálů obrobku a nástroje dostávajících se do místa řezu, kde vlivem tření způsobují nežádoucí brusný otěr. Oxidace se projevuje vznikem chemických sloučenin na povrchu nástroje, za vysokých teplot a přítomnosti kyslíku v okolním prostředí. Difúze je jev při němž nastává migrace atomů mezi materiály obrobek-nástroj a naopak. Výsledkem je tvorba chemických sloučenin ve struktuře nástroje, které znehodnocují kvalitu řezného materiálu. U slinutých karbidů dochází k difuzi nejprve mezi kobaltem a železem a to již při teplotě 680°C. Wolfram difunduje v rozmezí 900 až 950 °C, titan nad 1050°C. Dalším závažným poškozením je křehký lom, který může nastat při vysokém mechanickém zatížení, kolizi s tvrdou fází nebo neočekávané změně hloubky záběru. V neposlední řadě zde patří plastická deformace, vznikající při vysoké teplotě a nadměrnému tlaku působícího na řeznou hranu, která se tím deformuje. U slinutých karbidů takto dochází zejména k deformaci pojiva. [3, 21]

3.1 Opotřebení břitových destiček

Břítové destičky při soustružení vykazují celou řadu charakteristických opotřebení, které mohou způsobovat nepřesnosti ve výrobě a nízkou produktivitu práce. Pečlivá a včasná kontrola stavu destiček je důležitá pro rozpoznání jednotlivých druhů opotřebení, díky čemuž

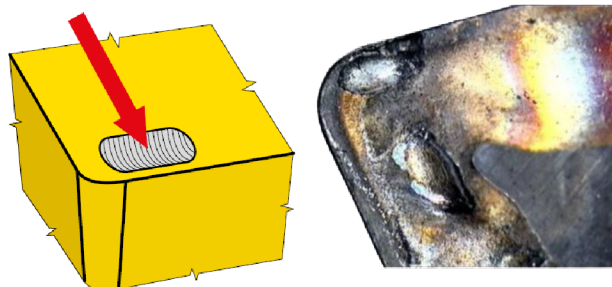
je možné upravit data obrábění tak, aby byla zajištěna jejich maximální životnost. Nejčastějšími typy opotřebení břitových destiček jsou [22]:

- Otěr hřbetu (obr. 15) – nejčastější příčinou je abraze, ke které dochází zasekáváním tvrdých mikroskopických vměstků karbidů a zakalených částic materiálu obrobku do ostří nástroje. To způsobí vymílání kobaltu z matrice, vedoucí ke ztrátě soudržnosti karbidických zrn a jejich vylamování. Při vyšších řezných rychlostech, které generují vysoké teploty na břitu, je hlavním činitelem opotřebení difúze. Opotřebení hřbetu má podobu obroušené plochy podél ostří a je ideální, pokud k němu dochází postupně a rovnoměrně. Rychlý a nestejný otěr vede ke kratší životnosti destičky a je třeba provést nápravná opatření jako jsou snížení řezné rychlosti, zvýšení posuvu, řádná aplikace chladicí kapaliny nebo volba odolnější třídy destiček. [21, 22]



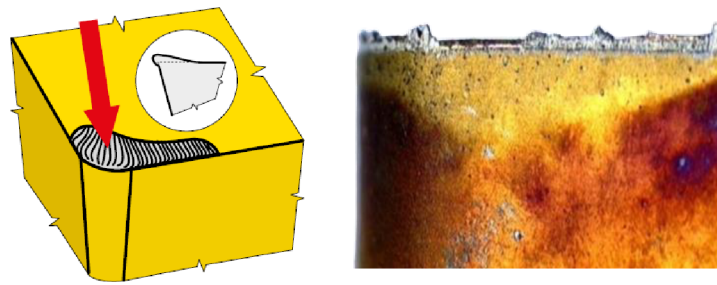
Obr. 15 Otěr na hřbetu [6, 22].

- Výmol na čele (obr. 16) – je způsoben chemickou reakcí mezi materiálem obrobku a břitovou destičkou při odchodu rozžhavené třísky po čele nástroje. Vlivem vysoké teploty dochází k uvolňování prvků slinutého karbidu a jejich difúzi do třísky. Na čelní ploše, v blízkosti řezné hrany, vzniká výmol, který může narůst tak, že způsobí odštípnutí boku nebo urychlí opotřebení hřbetu. Doporučení pro minimalizaci tohoto druhu poškození jsou používat silné vrstvy povlaků, aplikovat chladicí kapalinu a snížit řeznou i posuvovou rychlost. [21, 22]



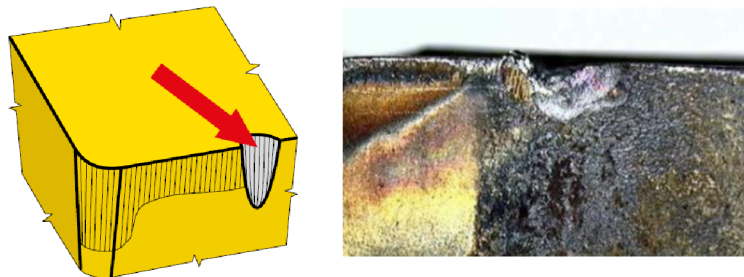
Obr. 16 Výmol na čele [6, 22].

- Tvorba nárůstku (obr. 17) – vzniká z úlomků obrobku, které se v důsledku vysoké teploty, tlaku a chemické afinity v místě řezu, lepí na řeznou hranu destičky. Ulpívající vrstva postupně narůstá, stává se nestabilní a dojde k její odlomení společně s částmi břitu. Tento mechanismus opotřebení vzniká převážně u lepidelných materiálů jako jsou korozivzdorné oceli, nebo neželezné materiály. Možná opatření k omezení vzniku nárůstku jsou zvýšení řezné rychlosti a posuvu, volba destičky s ostřejší geometrií a hladším čelem, výběr destičky s povlakem TiN a použití intenzivnějšího chlazení. [21, 22]



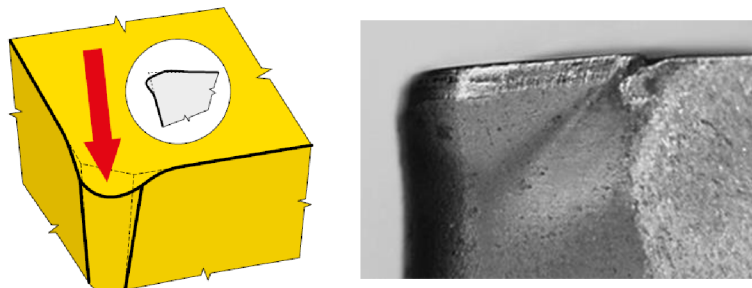
Obr. 17 Tvorba nárůstku [6, 22].

- Vrubové opotřebení (obr. 18) – vzniká abrazivním otěrem hřbetu o tvrdou povrchovou vrstvu obrobku, která je typická pro výkovky a odlitky. Dále vzniká také u korozivzdorných ocelí vlivem deformačního zpevňování po předchozích řezech. Vzniku vrubu se dá předejít snížením rychlosti posuvu, změnou hloubky řezu a použitím více průchodů nástroje, volbou tvrdší destičky a použitím nástroje s větším úhlem náběhu. [21, 22]



Obr. 18 Vrubové opotřebení [6, 22].

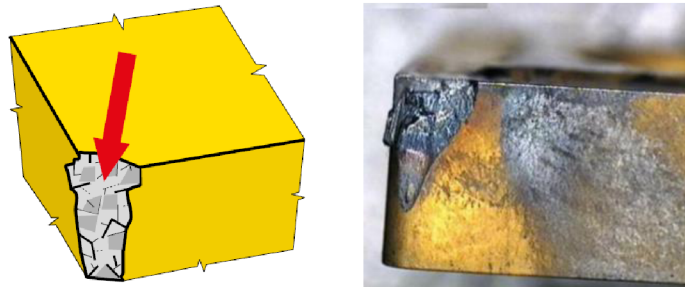
- Plastická deformace břitu (obr. 19) – hlavní příčinou je nadměrné tepelné zatížení, generované při vysokých řezných a posuvových rychlostech, které způsobuje měknutí kobaltu v matrici slinutého karbidu. Mechanická zatížení pak změkklý povrch břitu deformují, v krajním případě dochází k ulomení špičky nástroje nebo zrychlené deformaci hřbetu. Zdeformovaná hrana se může projevit výrobou nepřesných rozměrů na obrobku. Tento druh poškození vzniká obráběním deformačně zpevněných povrchů, které typicky vykazují austenitické korozivzdorné oceli. Lze jej eliminovat snížením řezné rychlosti a posuvu, použitím destičky s větším zaoblením špičky, volbou tvrdší sady karbidů s nižším obsahem pojiva a správnou aplikací chladicí kapaliny. [21, 22]



Obr. 19 Plastická deformace [6, 23].

- Křehký lom (obr. 20) – je důsledkem nadměrného mechanického zatížení, které překoná pevnost břitu a ten se zlomí. Projevuje se nárůstem mikrotrhlin v oblasti špičky nástroje, k čemuž může přispět kterýkoliv z výše zmíněných typů opotřebení. Častou příčinou je špatná volba řezných podmínek, ale může k němu dojít i při neočekávaném kontaktu

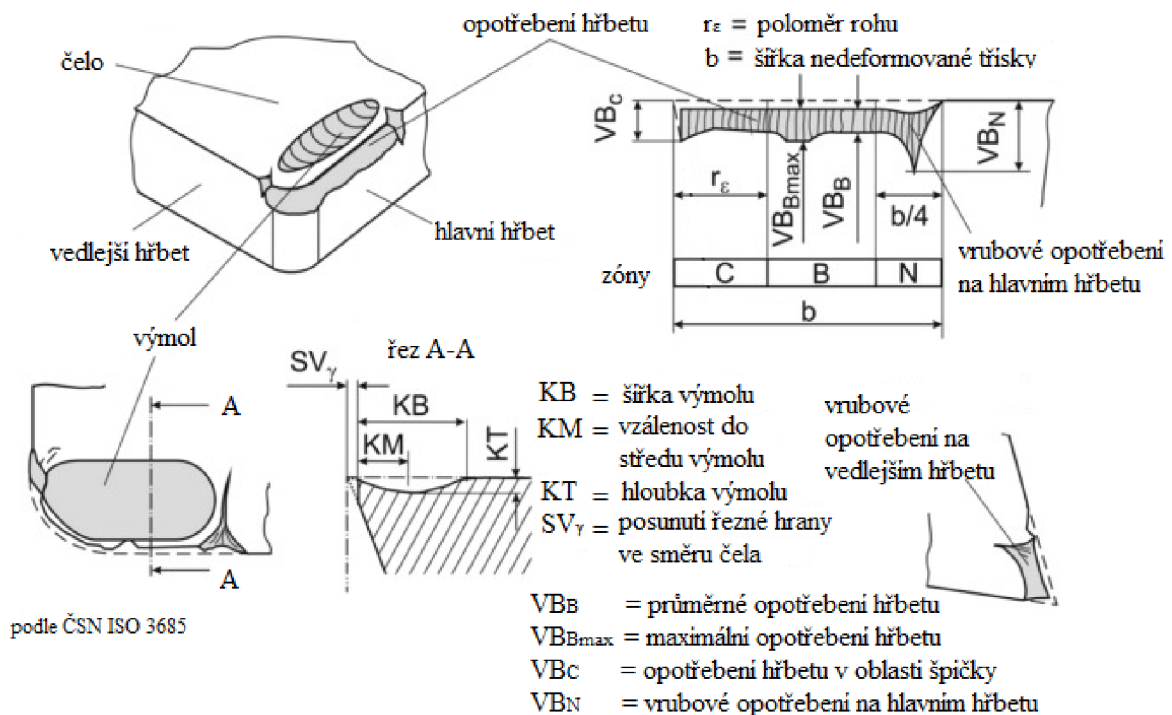
břitu s tvrdým vměstkem. Lom řezné hrany automaticky znamená okamžité ukončení životnosti nástroje. Křehkému lomu lze předejít vhodným nastavením řezných podmínek, volbou houževnatější třídy řezného materiálu, použitím silnější destičky a také kontrolou, jestli se v obrobku nenachází tvrdé částice. [21, 22]



Obr. 20 Křehký lom [6, 22].

3.2 Kritéria opotřebení

Stanovují mez, při jejíž dosažení je nástroj považován za otupený a je potřeba jej vyměnit. Pokud se tak nestane, nemůže být garantována předepsaná kvalita obráběného povrchu. Volba kritéria opotřebení závisí na druhu prováděné operace. Při hrubování je možné zvolit vysoké hodnoty, až na hranici celkové životnosti nástroje, naopak u dokončování, kde je potřeba splnit předepsaný požadavek na rozměrovou přesnost a jakost povrchu, je tolerována nižší míra otupení. Vždy je nutné najít rovnováhu mezi ekonomickým hlediskem, kde je požadována maximální využitelnost nástroje, a požadavkem na kvalitu výroby, při kterém nelze připustit příliš velké opotřebení břitu. Kritéria pro posouzení velikosti opotřebení řezného nástroje jsou definována normou ČSN ISO 3685, viz obr. 21. [2, 24, 25]



Obr. 21 Kritéria opotřebení nástroje podle ČSN ISO 3685 [24].

Vyhodnocení opotřebení lze provést přímými a nepřímými metodami měření. Nepřímé způsoby poskytují informaci o špatném stavu nástroje, aniž by bylo nutné jej vyjmout z pracovního prostoru obráběcího stroje. Hodnocení jsou provedena na základě charakteristických znaků,

které doprovází proces opotřebování. Patří sem změny velikosti působících sil při obrábění, změna tvaru a barvy třísky, výskyt ostřin na hranách obrobku, výskyt lesklých proužků na obrobeném povrchu, zhoršení drsnosti povrchu, nebo vznik vibrací a doprovodného nežádoucího zvuku. Pomocí těchto indikátorů lze poznat, že je nástroj opotřeben, nelze však přesně určit o jaký typ opotřebení se jedná, v jaké části břitu se nachází a jak je velké. Přesnější údaje o stavu nástroje jsou dosaženy přímými metodami měření, které se většinou provádí na nástroji mimo pracovní prostor. V dnešní době jsou však vyvíjeny a testovány systémy, které jsou umístěny přímo v pracovním prostoru stroje a pomocí laserového snímače a příslušného softwaru, dokážou provést, během několika sekund, přesnou analýzu opotřebení nástroje, aniž by došlo k zastavení obrábění. Použitím těchto systémů je odstraněna potřeba ruční kontroly a minimalizuje se čas potřebný k měření opotřebení. Výzkumem této problematiky se ve svých publikacích zabývají Čerče a kol. [25] a Lang [26]. Pro experimentální část této práce bude použita metoda mikrometrického měření pomocí mikroskopu vybaveného softwarem, díky kterému lze pořídit snímek zkoumané oblasti břitu a v tomto snímku přímo odměřit velikost opotřebení. [3]

3.3 Trvanlivost a životnost nástroje

Trvanlivost nástroje udává součet všech čistých časů řezání od naostření až po dosažení hodnoty předem stanoveného kritéria opotřebení. Závisí na vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a na řezných podmínkách. Největší vliv na opotřebení nástroje, tudíž na jeho trvanlivost, má řezná rychlost, což bylo v roce 1905 experimentálně zjištěno F.W. Taylorem. Postup určení trvanlivosti začíná v grafu časových křivek řezných rychlostí (obr. 22), ze kterých se při zvoleném konstantním kritériu opotřebení, odečtou řezné časy. Získané hodnoty se vynesou do diagramu s logaritmickými souřadnicemi T a v_c , kde vytvoří lineární závislost, odpovídající zvolené hodnotě kritéria opotřebení (obr. 23). [2, 3, 27]

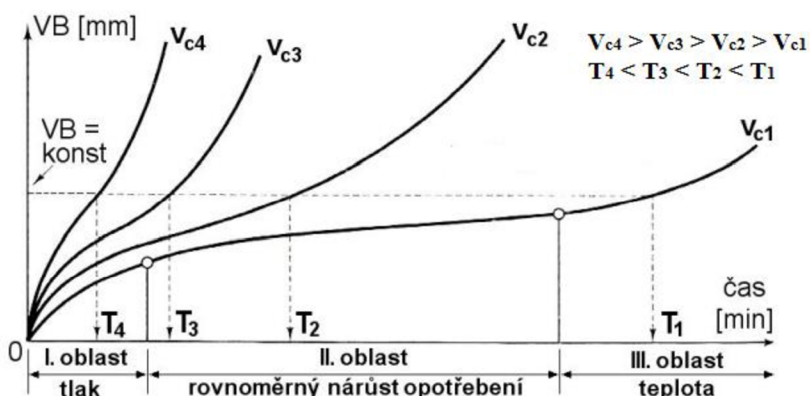
Vzniklá lineární závislost z obr. 23, je matematicky vyjádřena vztahem [3]:

$$\log T = \operatorname{tg} \alpha \cdot \log v_c + \log C_T [-]. \quad (3.1)$$

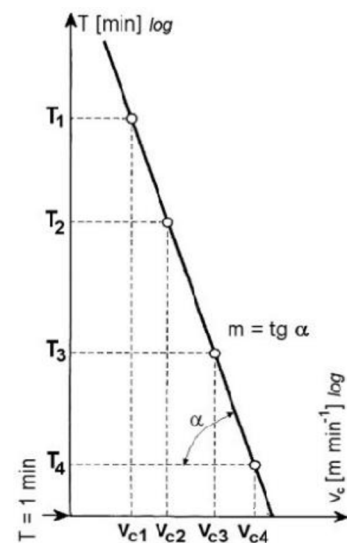
Po odlogaritmování vznikne rovnice pro výpočet trvanlivosti [3]:

$$T = C_T \cdot v_c^{-m} [\text{min}], \quad (3.2)$$

kde: Ttrvanlivost nástroje [min],
 C_Tmateriálová konstanta (10^8 až 10^9) [-],
 msměrnice přímky (pro SK se volí 2,5 až 5) [-].



Obr. 22 Časová závislost opotřebení pro různé řezné rychlosti [2].



Obr. 23 Závislost $T-v_c$ [2].

Životnost nástroje je definována jako součet všech jeho trvanlivostí, nebo také jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do řezu až po jeho vyřazení. V případě břitových destiček je životnost ukončena po opotřebení všech použitelných řezných hran. Výpočet životnosti VBD je dán vztahem [3]:

$$Z = p \cdot \sum_{1}^{n} T_i \text{ [min]}, \quad (3.3)$$

kde: Z životnost nástroje [min],
 p destička jednostranná p = 1, oboustranná p = 2 [-],
 n_b počet využitelných břitů [-].

3.4 Struktura povrchu

Reálný povrch obrobku lze rozdělit na makro nerovnosti a mikro nerovnosti. Makro nerovnosti se označují jako vlnitost povrchu způsobená vibracemi soustavy stroj-nástroj-obrobek-prostředí. Mikro nerovnosti jsou dle normy ČSN EN ISO 21920-2 definovány jako souhrn povrchových výškových rozdílů, které nevyhnutelně vznikají při výrobě součásti. Jsou dány stopami břitu nástroje, případně brusivem, na obráběném povrchu a jsou souhrnně nazývány jako drsnost povrchu. Hlavní vliv na velikost drsnosti povrchu mají především řezná a posuvová rychlost a opotřebení řezného nástroje. Zhoršující se kvalita povrchu může značit potřebu výměny nástroje. Dále mají na drsnost povrchu vliv tvar a geometrie břitu, fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu, řezná kapalina nebo způsob upínání obrobku. [28, 29]

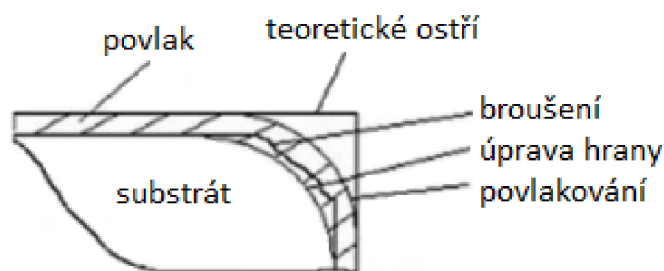
Ve strojírenské praxi se drsnost povrchu nejčastěji vyjadřuje parametrem aritmetického průměru výšky Ra, což je průměrná absolutní odchylka nepravidelností drsnosti od střední čáry během jedné základní délky l_r (vzdálenost, na které jsou odchylky měřeny). Tento parametr je dobře definovatelný, snadno měřitelný a poskytuje obecný popis změn výšky. Nedává však žádnou informaci o základní délce a nereaguje citlivě na extrémní výšky výstupků profilu a hloubky rýh profilu. Další běžně používaný parametr Rz je citlivější na změny profilu a je dán součtem výšky nejvyššího výstupku R_p a hloubky nejnižší rýhy R_v uvnitř základní délky. Význam popsanych parametrů je na obr. 24. [30, 31]



Obr. 24 Parametry hodnocení drsnosti povrchu [32].

3.5 Úpravy mikrogeometrie nástroje

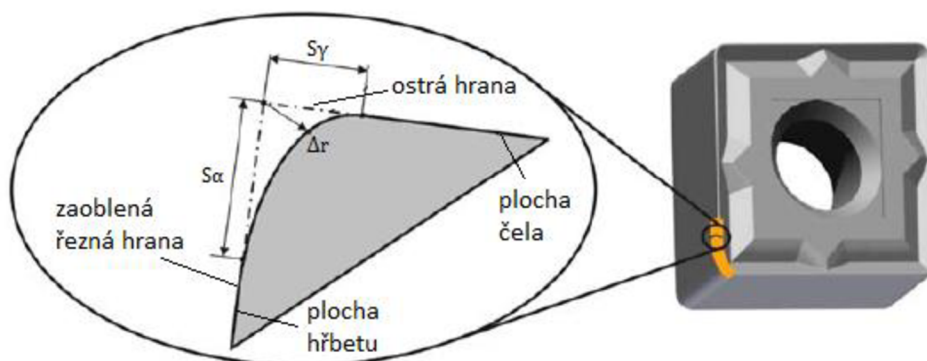
Z hlediska kvality řezného nástroje hraje v dnešní době čím dál důležitější roli úprava mikrogeometrie řezných břitů, která se provádí za účelem zvýšení trvanlivosti nástroje, snížení drsnosti ploch, zkvalitnění jakosti obráběného povrchu a zlepšení přilnavosti povlakové vrstvy na ostří substrátu. Mikrogeometrii jsou myšleny zakřivení a úkoso v řádech mikrometrů a ostré hrany vznikající vlivem broušení břitových destiček. Broušením také vznikají různé mikrotrhliny a defekty na řezné hraně, které často vedou k předčasnému ukončení životnosti nástroje. Při povlakování ostré hrany je problémem nízká přilnavost z důvodu velkého napětí povlaku působícího na malé ploše vlivem čehož dochází k odlupování. Úpravou mikrogeometrie dojde k zaoblení hran ostří což má velmi pozitivní dopad jak na řezné vlastnosti a životnost nástroje, tak i na jakost povrchu obrobku. Na obr. 25 jsou znázorněny stavy břítu ostří nástroje po broušení, úpravě hrany a povlakování. [33, 34]



Obr. 25 Vliv úpravy mikrogeometrie [35].

1.1.1 Vliv mikrogeometrie na životnost nástroje

Pro posouzení vlivu mikrogeometrie na obráběcí proces je nejprve důležité určit parametry jejího hodnocení. Geometrii řezné hrany lze obecně rozdělit na ostrou, zkosenou, zaoblenou nebo kombinace zkosené a zaoblené. Ostrá hrana je dána průsečíkem teoretických ploch čela S_γ a hřbetu nástroje S_α . Co se týče zkosené hrany, její geometrie je dána rovinnou plochou spojující čelo a hřbet. Zkosené ostří se často používá u těžkých hrubovacích procesů nebo přerušovaného obrábění u nástrojů z keramiky a kubického nitridu bóru. Obr. 26 ukazuje geometrii zaoblené hrany, kde závisí na tvaru profilu spojujícího S_γ a S_α . Denkena a kol. ve své publikaci uvádí způsob vyhodnocení úpravy řezné hrany pomocí tvarového k-faktoru, kde $k = 1$ značí symetrické zaoblení, $k > 1$ sklon směrem k ploše hřbetu a $k < 1$ sklon směrem k ploše čela. [34, 36, 37]



Obr. 26 Charakteristika zaoblené hrany [37].

K faktor je bezrozměrná veličina a vypočítá se jako podíl teoretických ploch ostří vztahem [37]:

$$K = \frac{S_\gamma}{S_\alpha} [-], \quad (3.4)$$

kde: K.....k-faktor [-],
 S_γ teoretická plocha ostré hrany čela [μm],
 S_α teoretická plocha ostré hrany hřbetu [μm].

Symetricky zaoblené břity jsou vyjádřeny střední velikostí teoretických ploch S_γ a S_α . Výpočet je dán rovnicí [37]:

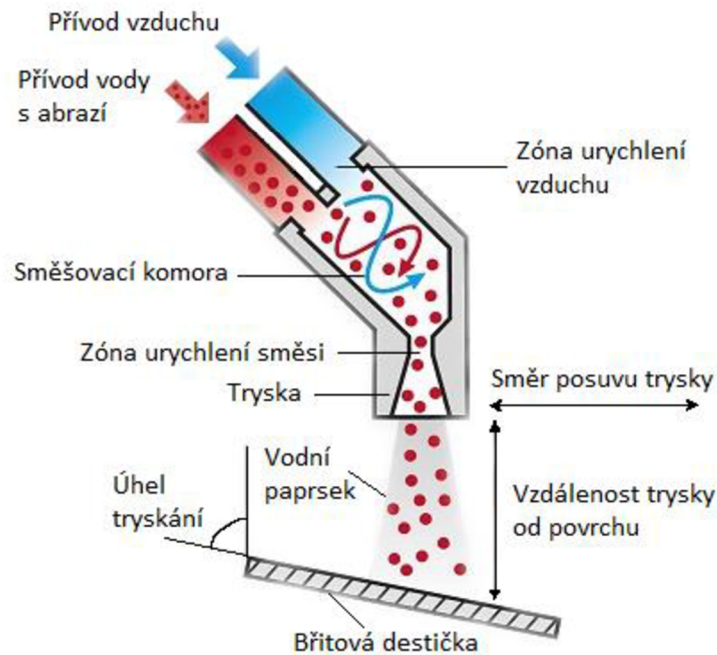
$$\bar{S} = \frac{(S_\gamma + S_\alpha)}{2} [\mu\text{m}], \quad (3.5)$$

kde: \bar{S} střední velikost zaoblených ploch [μm].

Práce Denkena a kol. se dále zabývala experimentem, při kterém byl zkoumán vliv různě upravených řezných hran nástrojů v porovnání s neupravenými břity. V experimentu byly použity povlakované břitové destičky ze slinutých karbidů při ortogonálním soustružení za konstantních řezných podmínek. Obráběným materiálem byla ocel AISI 1045 a životnost nástroje se vyhodnocovala délkou jeho dráhy v řezu. U neupravených břitů docházelo k vylamování ostří již po relativně krátké uražené dráze, kdežto u upravených hran nebyly zjištěny žádné odštěpky a tyto nástroje dosáhly kritéria životnosti buď prostřednictvím výmolu na čele, nebo opotřebením hřbetu. Všechny destičky s upravenou hranou dosáhly vyšší životnosti, než ty bez úpravy ostří. Nejdelší životnost byla zaznamenána u destiček, jejichž geometrie hrany byla upravena na $S_\gamma = 50 \mu\text{m}$, $S_\alpha = 30 \mu\text{m}$. Nejkratší životnost vykazovaly nástroje při $S_\gamma = 100 \mu\text{m}$, $S_\alpha = 100 \mu\text{m}$ a $S_\gamma = 50 \mu\text{m}$, $S_\alpha = 100 \mu\text{m}$. Ukázalo se, že při vyšších hodnotách S_α dochází k zvýšenému opotřebením hřbetu, naopak tvorbu výmolu na čele více ovlivňuje S_γ . [37] Úprava mikrogeometrie se provádí buď před depozicí povlaku (pre-treatment), nebo po depozici (post-treatment), pomocí různých technologií. Mezi běžně používané patří pískování (suché nebo mokré), omílání, úprava laserem, kartáčování, lapování a leštění. V následující části bude rozebrána metoda mokrého pískování a leštění. [33]

1.1.2 Technologie mokrého pískování

Technologie mokrého pískování, také nazývaná jako tryskání, slouží k povrchové úpravě břitových destiček, pomocí abrazivních částic unášených vodním roztokem. Abrazivní médium, kterým je nejčastěji oxid hlinitý (Al_2O_3) se ve směšovací komoře smíchá s vodou a následně se stlačeným vzduchem skrz trysku urychlí směrem k povrchu nástroje. Mokré pískování má při procesu výroby VBD více využití. Před depozicí povlaku na substrát se používá především pro úpravu řezné hrany, kde vodní paprsek dopadající do zaměřeného místa způsobuje úběr materiálu prostřednictvím lokální deformace a tvorby mikro třísek. Metoda mokrého pískování je schematicky znázorněna na obr. 27. [38, 39, 40]

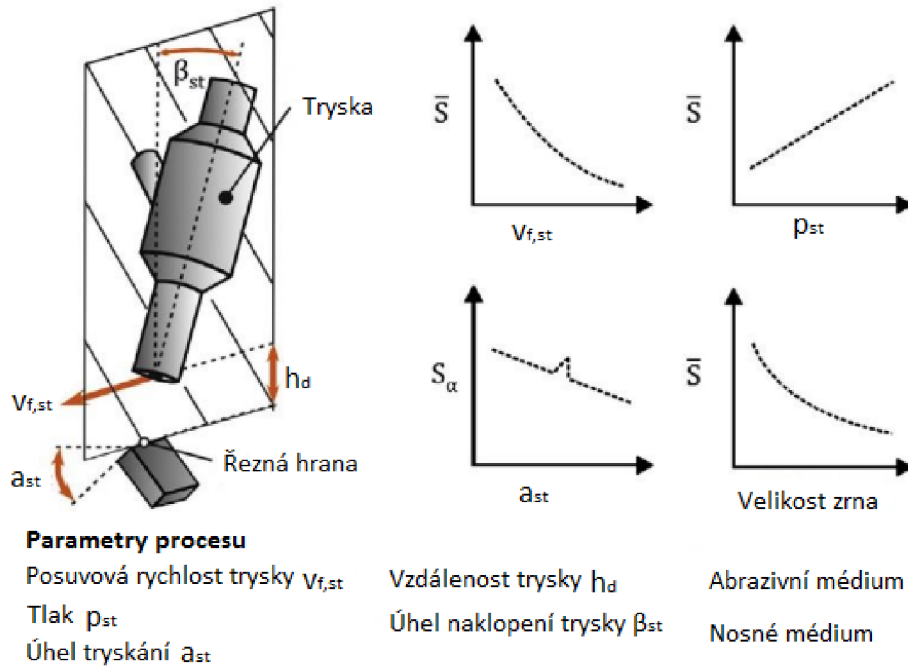


Obr. 27 Princip mokrého pískování [41].

Výsledky procesu úpravy řezné hrany mokřím pískováním ovlivňují parametry jako jsou vzdálenost trysky od povrchu destičky, úhel sklonu trysky a v neposlední řadě velikost zrna. Zásadní vliv na průběh procesu má rychlost posuvu paprsku. Zvýšená rychlost vede ke kratší době nárazu abraziva na povrch, tím pádem k menšímu úběru materiálu. Rozhodujícím faktorem je také tlak trysky. Vyšší tlak způsobí nárůst kinetické energie abrazivních zrn vedoucí k tvorbě většího zaoblení řezné hrany. Nastavení úhlu tryskání primárně ovlivňuje, jestli se odebere větší množství materiálu z hřbetu, nebo z čela nástroje. Přibližně stejného úběru na obou stranách je docíleno, pokud abrazivní zrna dopadají na hranu stejnoměrně. Vliv zmíněných parametrů na geometrii břitu ukazuje obr. 28. [38, 42]

Dále se metoda pískování využívá pro úpravu povrchu destičky po nanesení povlaku. Hlavním cílem je změna zbytkových tahových napětí na tlakové, neboli uzavření trhlin tvořících se v tenké vrstvě při CVD depozici. Toho se dosáhne vlivem plastických deformací vznikajících při dopadu tvrdých částic na povrch nástroje. Tlaková napětí přenášená na povrch destičky zvyšují její tvrdost ale zároveň i křehkost. Vlivem abrazivních částic dochází také ke změně drsnosti povrchu a snížení tloušťky povlaku, což se v řezném procesu může negativně projevit na životnosti VBD. Z těchto důvodů je nutné dbát na správnou volbu procesních parametrů. [43]

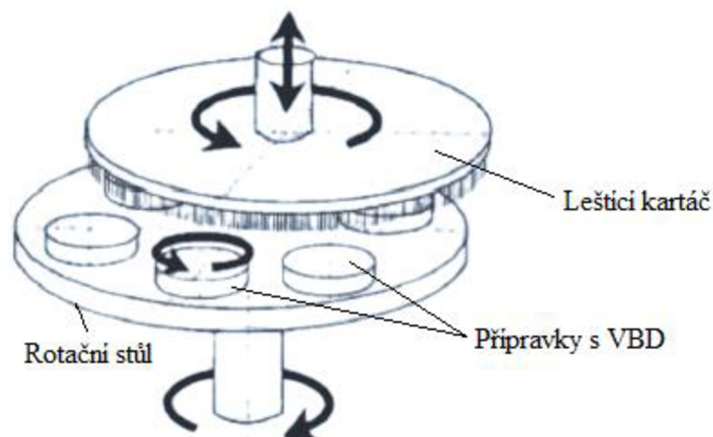
Obecně je hlavní nevýhodou technologie obtížnost zajistit naprosto stejné výsledky úpravy pro každý břit. Problém může nastat třeba kvůli nepravidelnému toku abrazivní směsi a celkově z důvodu mnoha ovlivňujících parametrů. Na druhou stranu je zde celá řada výhod, jako nízká drsnost povrchu, která zlepšuje adhezi povlaku, zamezení vzniku nečistot na upravované ploše díky vodě nebo skutečnost, že se jedná poměrně o nízkonákladovou metodu. Za největší výhodu lze považovat to, že při použití abrazivního paprsku nevznikají na VBD žádné tepelně vyvolané deformace. [38]



Obr. 28 Vliv parametrů pískování na řeznou hranu [38].

3.5.1 Technologie leštění

Je to úprava řezné hrany, prováděná po operaci povlakování. K leštění se používá měkký leštící kartáč s přírodními, nebo polymerními vlákny, na kterém je nanesena brusná pasta obsahující diamantové částice nebo granule. Břitové destičky jsou uloženy v přípravcích, na planetově rotačním stole. Vzájemným pohybem kartáče a stolu, které se vůči sobě otáčejí protiběžně a jsou spolu nesouosé, dochází vlivem brusné pasty a vláken kartáče, k zaoblení hran a zvýšení jakosti povrchu VBD. Poloměr zaoblení a drsnost povrchu závisí na velikosti abrazivních částic v brusné pastě. Princip popsané technologie je na obr. 29. [36, 44]



Obr. 29 Technologie leštění [44].

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část práce se zabývá testováním vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů, s různými druhy povrchových úprav. Předmětem zkoušení je měření opotřebení na břitech nástrojů po daných časových úsecích, za konstantních řezných podmínek při soustružení austenitické korozivzdorné oceli. Řezné podmínky pro testování byly odladěny pro referenční destičku „A“, kde bylo cílem dosáhnout trvanlivosti 15 až 20 minut. Destičky „A“ mají standartně zavedenou povrchovou úpravu metodou mokrého pískování. U ostatních testovaných vzorků jsou prováděny experimenty s různými druhy povrchových úprav. Testování probíhá ve spolupráci s výrobcem a vývojářem těchto obráběcích nástrojů, kterým je firma Dormer Pramet s.r.o.

4.1 Obráběný materiál

Testy byly provedeny soustružením kruhového polotovaru o průměru 250 mm a délce 400 mm z austenitické chromniklové oceli 17 349 (ČSN 41 7349). Označení podle jiných norem je také 316L (AISI), X2CrNiMo17-12-2 (DIN) nebo 1.4404 (W.Nr.). Jedná se o materiál velmi dobře odolávající atmosférické korozi i v průmyslovém ovzduší, odpadním vodám obsahující halogeny a působení mořské vody. Ocel je celkem dobře obrobitelná, velmi dobře svařitelná, leštitelná až do zrcadlového lesku a mimořádně dobře tvárná (ohýbání, lisování, hluboké tažení, zakružování). Použití je vhodné pro součásti v chemického průmyslu, při výrobě zařízení pro úpravu teplé vody, nebo konstrukčních dílů, přicházejících do styku s mořskou vodou. Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli je uvedeno v tab. 3. Bližší specifikace materiálu uvádí materiálový list viz příloha 1. [45, 46]

Tab. 3 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli [45].

Materiál	Ocel 17 349	
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti v tahu Rm [MPa]	530 až 680
	Minimální mez pružnosti Rp0,2 [MPa]	240
	Minimální tažnost A5 [%]	40
	Maximální tvrdost HB	215
Chemické složení	Uhlík C [hm. %] max.	0,03
	Křemík Si [hm. %] max.	1,00
	Mangan Mn [hm. %] max.	2,00
	Fosfor P [hm. %] max.	0,045
	Síra S [hm. %] max.	0,03
	Dusík N [hm. %] max.	0,11
	Chrom Cr [hm. %]	16,50 až 18,50
	Molybden Mo [hm. %]	2,00 až 2,50
Nikl Ni [hm. %]	11,00 až 14,00	

4.2 Obráběcí stroj

Obrábění bylo provedeno na čtyřosém CNC soustruhu SP 280 SY od firmy Kovosvit MAS viz obr. 30. Stroj je vybaven programovatelným konikem, který snižuje nutné zásahy obsluhy do obráběcího procesu, a revolverovou hlavou, kterou lze osadit dvanácti nástroji. Pevná a stabilní konstrukce umožňuje vysokou tuhost, vysoký krouticí moment na vřetenu, a použití vysokých pracovních rychlostí v jednotlivých osách. Maximální možné rozměry soustružení jsou průměr 280 mm a délka 490 mm. Stroj je programován pomocí softwaru Sinumerik, jednoduché operace nebo drobné korekce programu je možné jednoduše provést přímo na ovládacím panelu stroje. Další technické informace jsou uvedeny v příloze 2. [47]



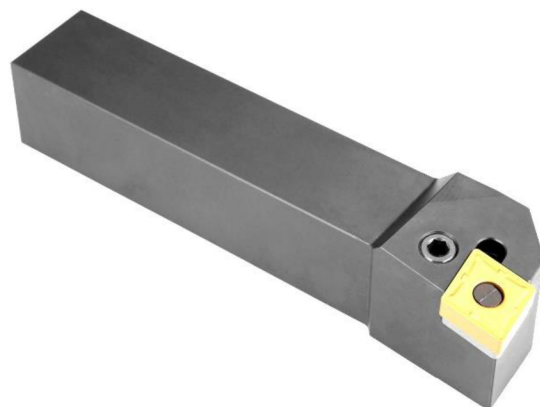
Obr. 30 CNC soustruh SP 280 SY.

4.3 Použité nástroje a přístroje

Testovanými nástroji jsou VBD s označením CNMG 120408-SF:T7325 (obr. 32). Jedná se o typ oboustranné soustružnické destičky ve tvaru kosodélníku, povlakované metodou MT-CVD. Podle rozdělení ISO se řadí do třídy M10-M25 a S10-S25, což znamená vhodnost použití pro jemné až střední obrábění korozivzdorných ocelí a žárupevných slitin. Předepsané řezné podmínky pro obrábění korozivzdorných ocelí při standardním používání, jsou šířka záběru 0,8 až 3 mm, řezná rychlost 100 až 195 $m \cdot min^{-1}$ a posuv 0,15 až 0,27 mm. Destičky se upínají do nožového držáku PCLNL 2525 M12 (obr. 31). Podrobnější informace o použitém typu VBD a nástrojovém držáku jsou uvedeny v příloze 3. [48]



Obr. 31 Destička CNMG 120408-SF:T7325 [48].



Obr. 32 Soustružnický držák PCLNL 2525 M12 [49].

Opotřebení destiček bylo snímáno optickým mikroskopem Zeiss Stemi 2000-C (obr. 33), který se používá pro pozorování objektů nebo vzorků v trojrozměrném zobrazení. Mikroskop je vybaven osvětlovacím zařízením KL 1500 LCD a softwarem ZEISS ZEN 2. Pomocí softwaru lze ukládat pořízené snímky a odměřovat velikost opotřebení. Na soustruženém polotovaru byla průběžně měřena drsnost povrchu pomocí přenosného tvrdoměru INSIZE ISR-C003 (obr. 34).



Obr. 33 Optický mikroskop Zeiss Stemi 2000-C.



Obr. 34 Přenosný drsnoměr INSIZE ISR-C003.

4.4 Průběh testování

Testování břitových destiček probíhalo v laboratorních prostorách na VUT v Brně. Firmou Dormer Pramet s.r.o. bylo dodáno šest druhů vzorků, s označením CNMG 120408-SF:T7325 (obr. 32). Od každého druhu byly standartně testovány dvě destičky. V případě, že procentuální odchylka trvanlivostí dvou destiček stejné skupiny vyšla vyšší než 15 %, byla použita třetí, doplňující destička. Všechny VBD mají stejný substrát i povlak, liší se od sebe pouze metodou povrchové úpravy. Jednotlivé druhy nástrojů budou dále rozlišovány písmeny A až F. Vzorky skupin A, B jsou upraveny metodou mokrého pískování, odlišují se od sebe velikostí použitého tlaku trysky, který se pohybuje v řádu jednotek Barů. Pro skupinu B byl použit vyšší tlak. Pro varianty C, D a E byla aplikována nová, blíže nespecifikovaná metoda povrchové úpravy, vždy z jiné strany VBD. C – na čele, D – na hřbetech, E – na čele i na hřbetech. U vzorku F byly vyleštěny řezné hrany. Všechny povrchové úpravy použitých vzorků byly provedeny metodou post treatment, což znamená po depozici povlaku. Destičky s označením A jsou standartně zavedené, písmena B až F značí nově vyvíjené nástroje. Výsledky experimentálních skupin (B až F) budou srovnávány vzhledem k etalonové skupině A.

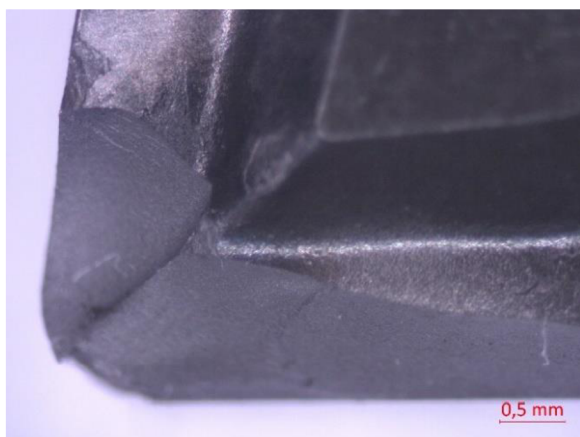
Průběh pracovního procesu lze rozdělit na dvě stanoviště. První je u CNC obráběcího centra, kde probíhalo podélné soustružení materiálu. Stanovené řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 4. Tab. 4 Řezné podmínky.

Řezná rychlost vc	Posuv fot	Hloubka řezu ap	Chladicí kap.	Přeruš. řez
200 m·min ⁻¹	0,25 mm	2 mm	ANO	NE

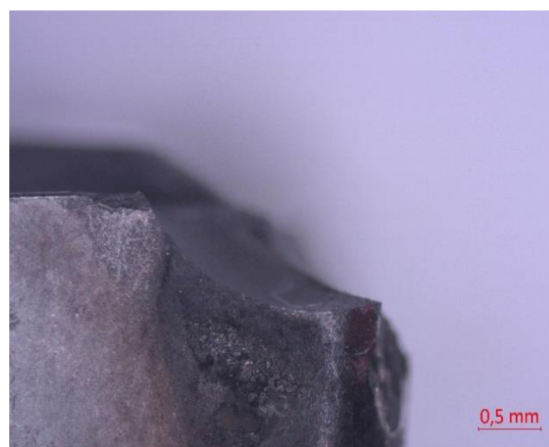
Obsluha stroje upnula příslušnou testovanou destičku do nástrojového držáku s označením PCLNL 2525 M12 (obr. 32), spustila obráběcí cyklus a stopkami měřila čas nástroje v řezu. Každý časový úsek byl nastaven na pět minut. Po uplynutí stanovené doby byla destička

vyjmuta a na druhém stanovišti v laboratorní místnosti, se pomocí mikroskopu pořídily snímky čela, hlavního hřbetu a vedlejšího hřbetu. Z pořízených fotografií se odměřovaly a zapisovaly velikosti opotřebení na hlavním hřbetu (VBb) a vedlejším hřbetu (VBc). Tento cyklus se opakoval až do dosažení některého ze stanovených kritérií opotřebení $VBb = 0,3 \text{ mm}$, $VBc = 0,6 \text{ mm}$, nebo dokud nedošlo k jinému způsobu ukončení životnosti nástroje.

Průběh testování přinesl nečekané výsledky. Zkoušené vzorky nedosahovaly požadovaných trvanlivostí, navíc docházelo k nežádoucím formám opotřebení. Téměř u všech destiček došlo k odlomení špičky, nebo křehkému lomu celého břitu. U vzorku F1 došlo k odlomení špičky již po 4,5 minutách obrábění. Pohled na čelo destičky F1 po odlomení špičky je zobrazen na obr. 35, pohled na hlavní hřbet je na obr. 36. Podobným způsobem dopadly všechny testované vzorky. Při hledání možné příčiny nevyhovujících výsledků testu byla provedena důkladná analýza obráběného materiálu. Prvním krokem bylo měření tvrdosti na polotovarech použité oceli 17 349.



Obr. 35 Čelo vzorku F1 po odlomení špičky.



Obr. 36 Hlavní hřbet vzorku F1 po odlomení špičky.

4.5 Měření tvrdosti

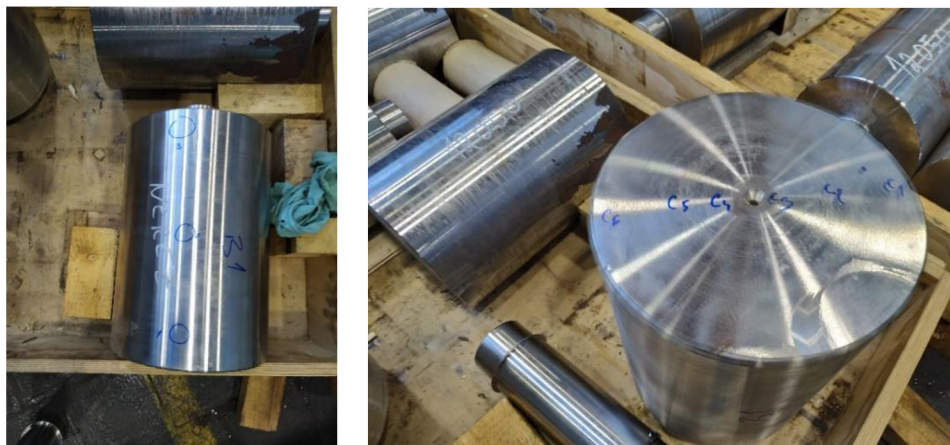
Zkoušení tvrdosti vzorků bylo provedeno pomocí přenosného tvrdoměru HT-2000A (obr. 37), který měří tvrdost materiálu na principu dopadu tělíčka a výsledky vyhodnocuje v Leebově stupnici (HL). Z této stupnice se pak hodnoty, s použitím konverzní tabulky, převedou do stupnice podle Brinella (HB). Pro měření se nastavil režim stainless steel (SS) se stupnicí 300 až 800 HL, což odpovídá rozsahu 86 až 670 HB. Měření probíhalo v hale, při teplotě 22 °C , přičemž zkoušené polotovary byly při této teplotě skladovány zhruba 2 dny. Měření byla provedena na očištěných místech na obrobeném povrchu.



Obr. 37 Přenosný tvrdoměr HT-2000A.



Obr. 38 Nehybný tvrdoměr Zwick/Roell ZHR.



Obr. 39 Měřený polotovár B1.

Pro obrobene díly bylo dále provedeno srovnávací měření na přístroji Zwick/Roell ZHR (obr. 38), na kterém byla tvrdost měřena v Rockwellově stupnici (HRB). Výsledky byly pomocí komparační tabulky převedeny do HB. K měření na tomto přístroji byl použit prizmatický přípravek, aby byla zajištěna stabilita měření.

Byly měřeny čtyři vzorky s označením B1 až B4. B1 a B2 jsou polotovary o průměru 250 mm, B3 a B4 obrobene zbytky s průměrem 80 mm. Válcová plocha každého polotovaru byla měřena ve dvou liniích, které byly vůči sobě pootočené o 180°. Počet měření v každém z označených míst závisel na velikosti polotovaru a použitém tvrdoměru. Čelní plocha byla očíslována postupně od kraje vnějšího průměru přes střed až k protilehlému okraji. Polotovár B1 je na obr. 39.

Na obvodu B1 byly na každém z označených míst provedeny tři měření, na čele dvě měření. Naměřené hodnoty tvrdosti na obvodu a na čele polotovaru B1 jsou uvedeny v tab. 5 a tab. 6. Měření byla provedena tvrdoměrem HT-2000A.

Tab. 5 Naměřené hodnoty na obvodu polotovaru B1 tvrdoměrem HT-2000A.

Místo měření	OBVOD B1				
	HB1	HB2	HB3	Průměrná hodnota HB	Směrodatná odchylka
1	238	237	251	242	6,4
2	279	274	265	273	5,8
3	259	278	252	263	11,0
4	275	250	245	257	13,1
5	264	274	263	267	5,0
6	285	280	259	275	11,3

Tab. 6 Naměřené hodnoty na čele polotovaru B1 tvrdoměrem HT-2000A.

Místo měření	ČELO B1			
	HB1	HB2	Průměrná hodnota HB	Směrodatná odchylka
1	273	256	264,5	8,5
2	272	265	268,5	3,5
3	236	219	227,5	8,5
4	235	243	239,0	4,0
5	265	264	264,5	0,5
6	312	215	263,5	48,5

Polotovar B2 byl označen a měřen obdobným způsobem jako B1, měřícím přístrojem HT-2000A. Každé označené místo na čele bylo měřeno pouze jednou. Naměřené hodnoty z obvodu a čela polotovaru B2 jsou v tab. 7.

Tab. 7 Naměřené hodnoty na obvodu a čele polotovaru B2 tvrdoměrem HT-2000A.

Místo měření	OBVOD B2					ČELO B2
	HB1	HB2	HB3	Průměrná hodnota HB	Směrodatná odchylka	HB1
1	225	223	225	224,3	0,9	199
2	222	220	219	220,3	1,2	187
3	217	208	217	214,0	4,2	184
4	228	234	225	229,0	3,7	182
5	225	225	223	224,3	0,9	182
6	219	217	215	217,0	1,6	186

Polotovar B3 byl nejprve měřen přenosným tvrdoměrem HT-2000A. Tímto přístrojem byly v každém označeném místě na válcové ploše provedeny dvě měření a na čele jedno měření. Výsledné hodnoty jsou v tab. 8. Dále byl B3 měřen na nehybném tvrdoměru Zwick/Roell ZHR, kterým se z důvodu konstrukčního uspořádání přístroje a délce polotovaru měřil pouze obvod součásti. Naměřené hodnoty jsou v tab. 9.

Tab. 8 Naměřené hodnoty na obvodu a čele polotovaru B3 tvrdoměrem HT-2000A.

Místo měření	OBVOD B3				ČELO B3
	HB1	HB2	Průměrná hodnota HB	Směrodatná odchylka	HB1
1	171	155	163,0	8,0	152
2	168	170	169,0	1,0	141
3	176	171	173,5	2,5	149
4	166	157	162,0	4,5	135
5	179	177	178,0	1,0	-
6	169	181	175,0	6,0	-

Tab. 9 Naměřené hodnoty na obvodu polotovaru B3 tvrdoměrem Zwick/Roell ZHR.

Místo měření	OBVOD B3				
	HB1	HB2	HB3	Průměrná hodnota HB	Směrodatná odchylka
1	135	142	136	138	3,1
2	141	142	140	141	0,8

Posledním zkoušeným dílcem byl B4. Měření bylo provedeno obdobně, jako v předchozím případě. Hodnoty naměřené na obvodu a čele přístrojem HT-2000A, jsou v tab. 10. Výsledky měření obvodu tvrdoměrem Zwick/Roell ZHR jsou v tab. 11.

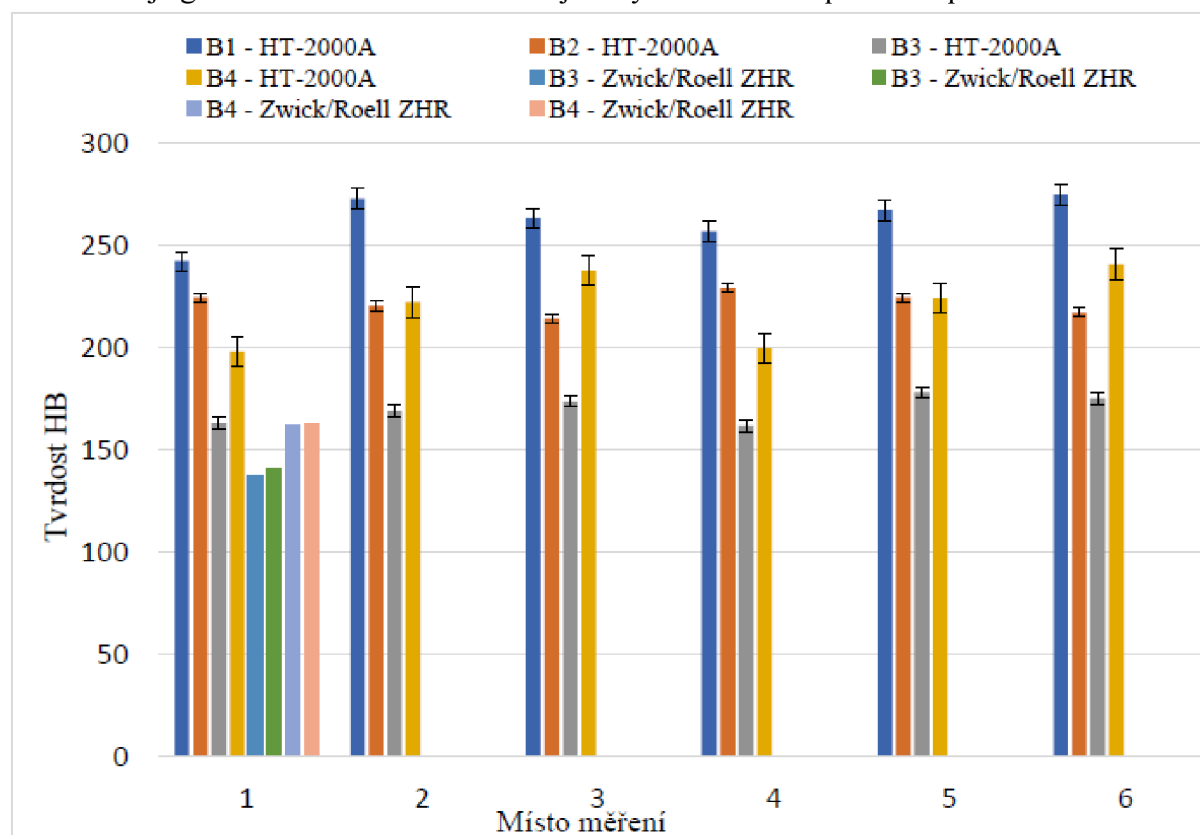
Tab. 10 Naměřené hodnoty na obvodu a čele polotovaru B4 tvrdoměrem HT-2000A.

Místo měření	OBVOD B4				ČELO B4
	HB1	HB2	Průměrná hodnota HB	Směrodatná odchylka	HB1
1	201	195	198,0	3,0	255
2	228	216	222,0	6,0	218
3	242	233	237,5	4,5	248
4	206	193	199,5	6,5	204
5	226	222	224,0	2,0	-
6	241	240	240,5	1,0	-

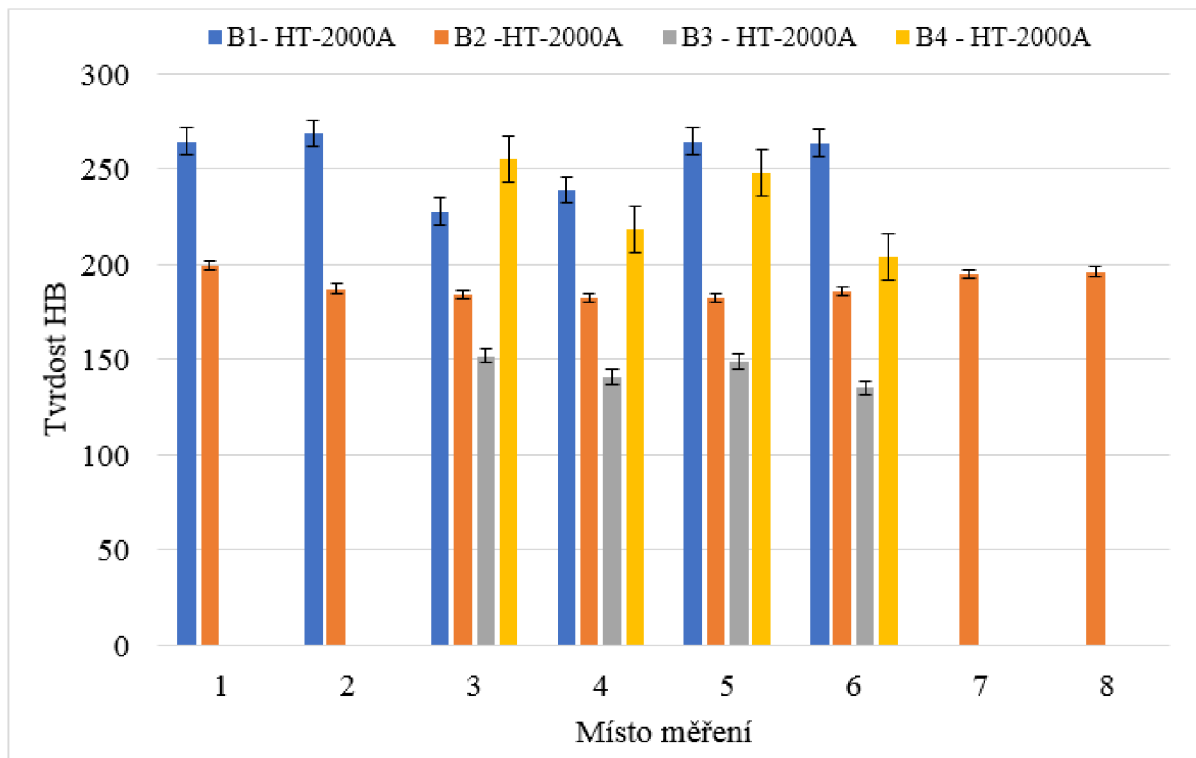
Tab. 11 Naměřené hodnoty na obvodu polotovaru B4 tvrdoměrem Zwick/Roell ZHR.

Místo měření	OBVOD B4			
	HB1	HB2	HB3	Průměrná hodnota HB
1	163	160	162	162
2	162	163	163	163

Z průměrných hodnot HB byly vytvořeny grafické závislosti, porovnávající tvrdost materiálu v daných místech. Graf na obr. 40 porovnává hodnoty tvrdosti naměřené na obvodech válců. Na obr. 41 je grafické znázornění tvrdostí zjištěných na čelních plochách polotovarů.



Obr. 40 Grafické znázornění průměrných hodnot tvrdosti na obvodech B1, B2, B3, B4.



Obr. 41 Grafické znázornění průměrných hodnot tvrdosti na čelech B1, B2, B3, B4.

Z grafických znázornění (obr. 40 a obr. 41) je zřejmé, že tvrdost polotovarů je velmi proměnlivá. Polotovar B1 dosahoval přibližně o 30 HB vyšší tvrdosti, než B2. Tvrdost obrobeneho válce B3 byla o 45 HB nižší, než B4. Kolísání tvrdosti se při soustružení negativně projevilo na trvanlivosti VBD. Pro zjištění možné příčiny rozdílných tvrdostí se přistoupilo k metalografické analýze materiálu.

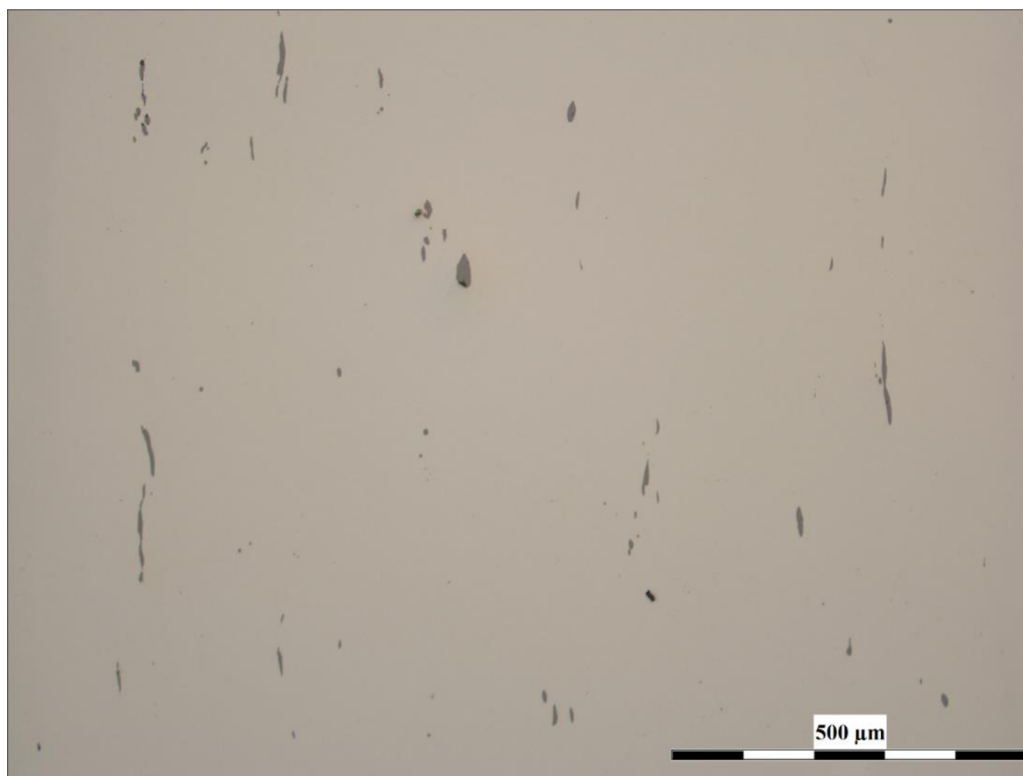
4.6 Metalografická analýza obráběného materiálu

Ze zkoušené oceli 17 349 byly odebrány tři vzorky z různých míst polotovaru viz obr. 42, a na Univerzitě obrany v Brně se provedla materiálová analýza. Vzorky se nařezaly na požadovanou velikost na dělicí kotoučové pile s vlastním chlazením Viper (Leco USA). Po nařezání byly vzorky důkladně očištěny a přístrojem Struers Citopress – 15 za tepla zalisovány do bakelitu. Následovalo broušení brusnými kotouči od nejhrubšího (FEPA P180) k nejjemnějšímu (FEPA P500). Dále proběhlo hrubé a jemné leštění. Hrubé na vlněném kotouči s leštící diamantovou pastou o hrubosti zrna 1 μm , jemné na sametovém kotouči a diamantovou pastou o zrnitosti 0,5 μm . Obě operace byly provedeny na automatické brusce Leco PX500. Na připravených vzorcích se pomocí světelného mikroskopu Olympus GX51 zkoumala čistota materiálu. Na obr. 43 je ukázán povrch vyleštěného vzorku při sto násobném zvětšení.



Obr. 42 Řezání vzorků z obráběného polotovaru.

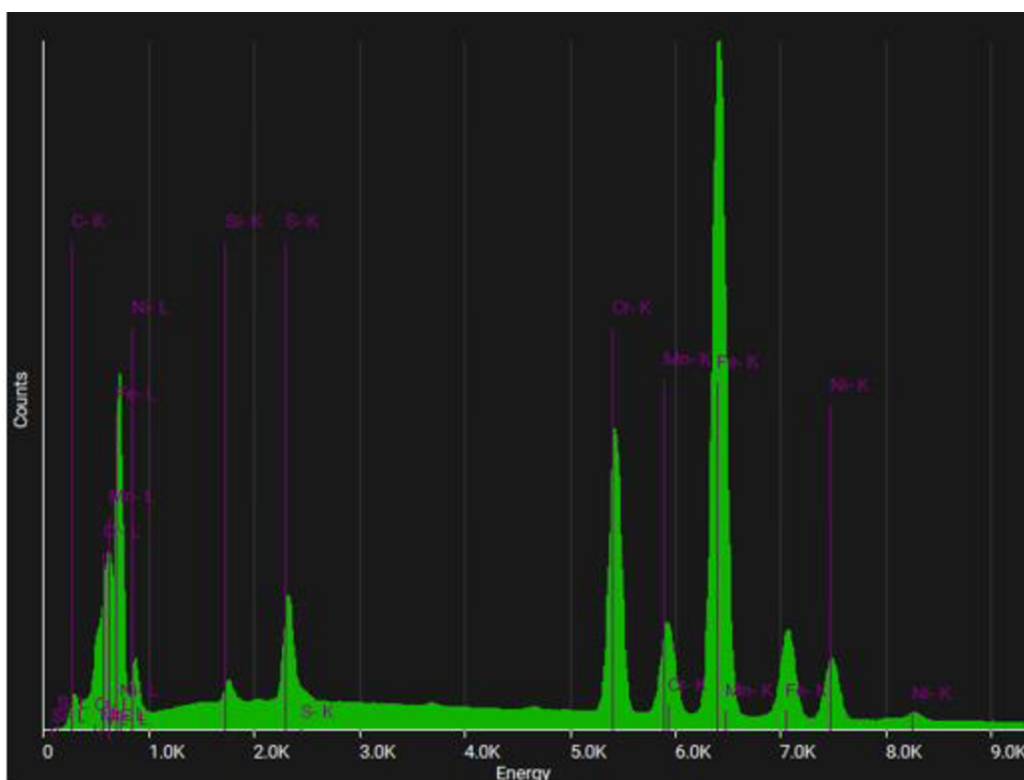
Mikroskopické pozorování odhalilo značně znečištěnou austenitickou strukturu plnou vměstků. Z obrázku 43 lze vyhodnotit, že by se dle normy ČSN ISO 4967, mělo jednat o vměstky sulfidické a oxidické. Pro bližší specifikaci vměstků byla provedena metalografická analýza, jejíž postup bude v následující části popsán a graficky znázorněn pro jeden vybraný vzorek. Vyleštěný povrch vzorku byl naleptán lučavkou královskou, po leptání očištěn a zkoumán pod skenovacím elektronovým mikroskopem (SEM) TESCAN Mira 4. Pomocí SEM byl vzorek snímán a byla vytvořena fotografie nejvíce znečištěné oblasti.



Obr. 43 Struktura vzorku po leštění zobrazena mikroskopem Olympus GX51.

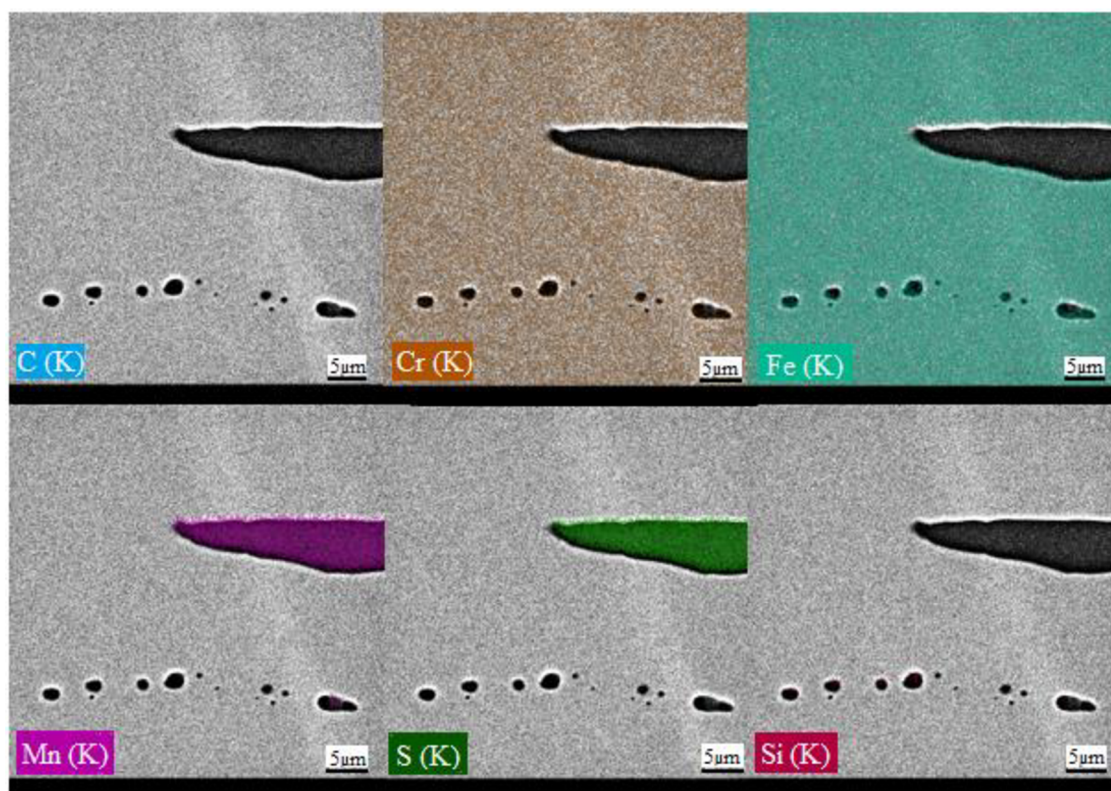
Přístroj TESCAN Mira 4 je vybaven energiově disperzním spektrometrem (EDS), fungujícím na principu detekce uvolněné energie elektronů při rentgenovém záření. Takto uvolněná energie je jedinečná pro každý prvek periodické soustavy, proto je možné zjistit, jaké prvky se v ozářeném povrchu nachází a v jakém poměru. [50, 51, 52]

Výsledky z EDS pro zvolený vzorek byly vyhodnoceny dvěma způsoby. Prvním je graf spektrální analýzy (obr. 44), který ukazuje spektrum četnosti zájmových chemických prvků ve vybrané oblasti. V druhém způsobu jsou jednotlivé prvky zobrazeny barevně přímo v dané mapě. Barva každého prvku značí oblast a intenzitu jeho výskytu. Ve vybrané mapě byl zkoumán výskyt prvků C, Cr, Fe, Mn, S a Si. Z obr. 45 lze vidět, že plocha největšího vměstku je nejvíce pokryta fialovou barvou značící mangan a zelenou barvou, která ukazuje zastoupení síry. Z toho lze vyhodnotit, že se jedná o sulfidický vměstek MnS. Chemické složení menších vměstků, nacházejících se v mapě, nebylo touto analýzou zjištěno.



Obr. 44 EDS graf spektrální analýzy.

Z celkového hodnocení zkoumaných vzorků pomocí EDS je patrné, že se ve struktuře zkoušeného materiálu 17 349 nachází velké množství vměstků zejména sulfidických MnS a oxidických SiO_2 a Al_2O_3 . Tyto nečistoty se do struktury oceli mohly dostat stykem materiálu s vyzdívkou vysoké peci při tavení, nebo ze vzduchu při oxidaci, případně ze strusky. Nadměrné množství nehomogenně rozložených vměstků ve struktuře oceli způsobilo lokální zvýšení napětí a sníženou plasticitu oceli. To byl hlavní důvod kolísavé tvrdosti obráběného materiálu, vedoucí k nežádoucímu opotřebení v podobě vylamování břitů. Pro kontrolu chemického složení byl materiál podroben atestu pomocí spektrometru TASMÁN Q4. Výsledky ukázaly, že procentuální zastoupení prvků je v pořádku a odpovídá předepsanému chemickému složení pro ocel 17 349. Výsledek atestu je uveden v příloze 4.



Obr. 45 EDS vyhodnocení prvkových map.

4.7 Druhé testování

Po vyhodnocení materiálových zkoušek bylo rozhodnuto provést nový test VBD, při kterém byly použity typově stejné destičky, jako pro první test. Pro obrábění byla dodána korozivzdorná ocel 17 349 od jiného dodavatele, než v prvním případě. U nové oceli byla provedena materiálová analýza před začátkem obrábění, aby se neopakovala předchozí zkušenost, kdy byly objeveny vady v materiálu až po ukončení testu. Byla provedena zkouška tvrdosti, která neukázala výrazné kolísání hodnot. Průměrná tvrdost oceli vyšla 201 HB. Dále byla pomocí mikroskopu Olympus GX51 provedena kontrola čistoty materiálu. Na obr. 46 je zobrazen povrch vyleštěného vzorku při sto násobném zvětšení. Na první pohled lze vidět, že struktura nové oceli je relativně čistá, bez velkého množství nehomogenně rozložených vměstků. Při srovnání s materiálem dodaným pro první testování, viz obr. 43, se jedná o výrazné zlepšení. Výsledek atestu nové oceli ze spektrometru TASMÁN Q4 je uveden v příloze 5.

Druhé testování probíhalo stejným způsobem jako v prvním případě, v laboratorních prostorách na VUT v Brně s použitím stejného obráběcího centra (obr. 30) a mikroskopu (obr. 33). Dále byla navíc průběžně měřena drsnost obráběného povrchu pomocí přenosného drsnoměru INSIZE ISR-C003 (obr. 34). Časové intervaly soustružení byly upraveny na pět minut pro první dva úseky, poté bylo opotřebení měřeno po každých dvou minutách až do ukončení životnosti nástroje. Z řezných podmínek se změnila řezná rychlost, která byla zvýšena na $210 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 12.

Tab. 12 Řezné podmínky pro druhé testování.

Řezná rychlost v_c	Posuv f_{ot}	Hloubka řezu a_p	Chladicí kap.	Přeruš. řez
$210 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	0,25 mm	2 mm	ANO	NE



Obr. 46 Vyleštěný povrch vzorku zobrazen mikroskopem Olympus GX51.

4.8 Výsledky druhého testování

Při druhém testování bylo dosaženo příznivějších výsledků, než při prvním. Břitové destičky dosahovaly požadované trvanlivosti v rozmezí patnácti až dvaceti minut, navíc ani v jednom případě nedošlo k odlomení špičky, nebo ke křehkému lomu břitu a u většiny vzorků bylo dosaženo VBb nebo VBc. Vzorek D2 byl ukončen výmolem na čele společně s plastickou deformací (obr. 47). Ke stejnému typu opotřebení došlo také u E1 (obr. 48).



Obr. 47 Výmol na čele a plastická deformace vzorku D2.

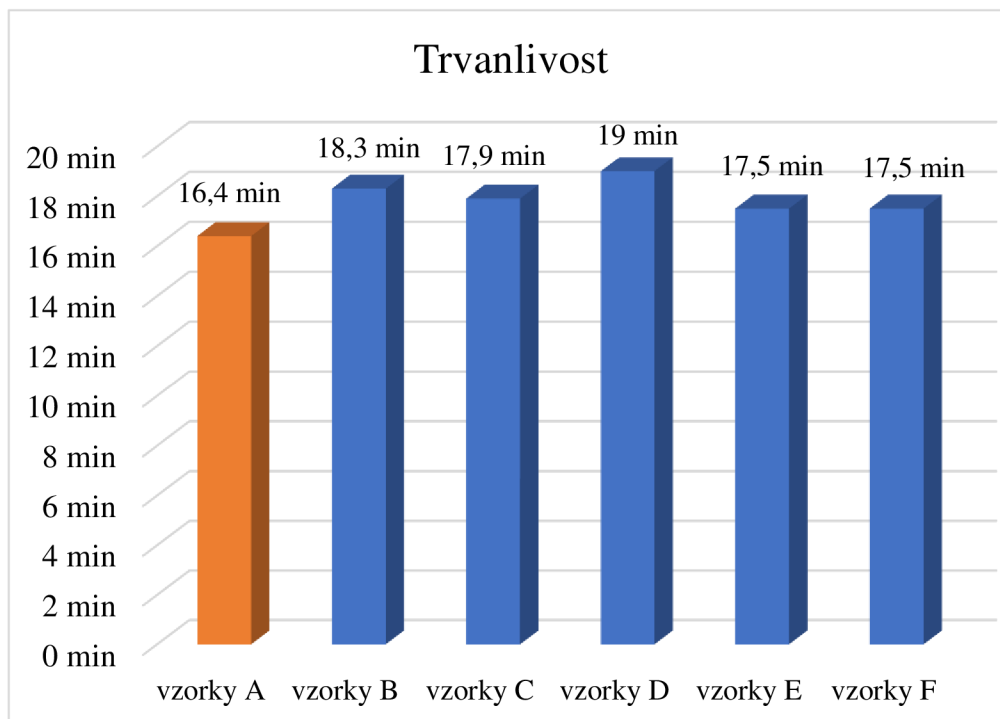


Obr. 48 Výmol na čele a plastická deformace vzorku E1.

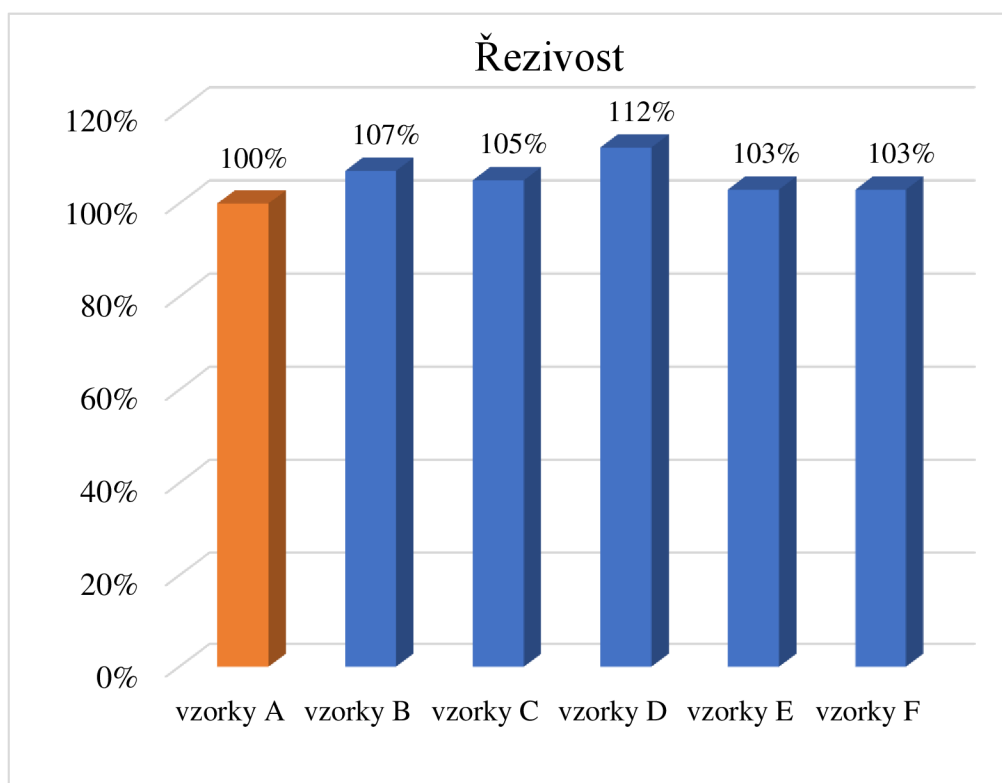
Tab. 13 Výsledky druhého testování.

Vzorek	Povrchová úprava	Trvanlivost [min]	Průměr [min]	Řezivost [%]	Ukončení životnosti
A1	Mokrě pískování	18,7	16,4	100	Dosažení kritéria opotřebení VBc, vznik plastické deformace
A2		14			Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
B1	Mokrě pískování	18	18,3	107	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
B2		18,5			Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
C1	Nová metoda, úprava čela	17,8	17,9	105	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
C2		18			Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
D1	Nová metoda, úprava hřbetů	18	19,0	112	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
D2		20			Výmol na čele, vznik plastické deformace
E1	Nová metoda, úprava čela i hřbetů	16	17,5	103	Výmol na čele, vznik plastické deformace
E2		19			Dosažení kritéria opotřebení VBb i VBc, výmol na čele
F1	Vyleštěné řezné hrany	18	17,5	103	Dosažení kritéria opotřebení VBc, výmol na čele
F2		17			Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu

Výsledky druhého testu jsou uvedeny v tab. 13. Z dosažených dílčích trvanlivostí destiček byl pro každou skupinu vytvořen aritmetický průměr, na základě kterého bylo provedeno hodnocení jednotlivých druhů povrchových úprav. Graf v obr. 49 znázorňuje výsledky dosažených trvanlivostí, na obr. 50 je zobrazen výsledek procentuální řezivosti, vztahené ke skupině A.



Obr. 49 Grafické znázornění trvanlivosti dle jednotlivých úprav povrchu.



Obr. 50 Grafické znázornění řezivosti dle jednotlivých úprav povrchu.

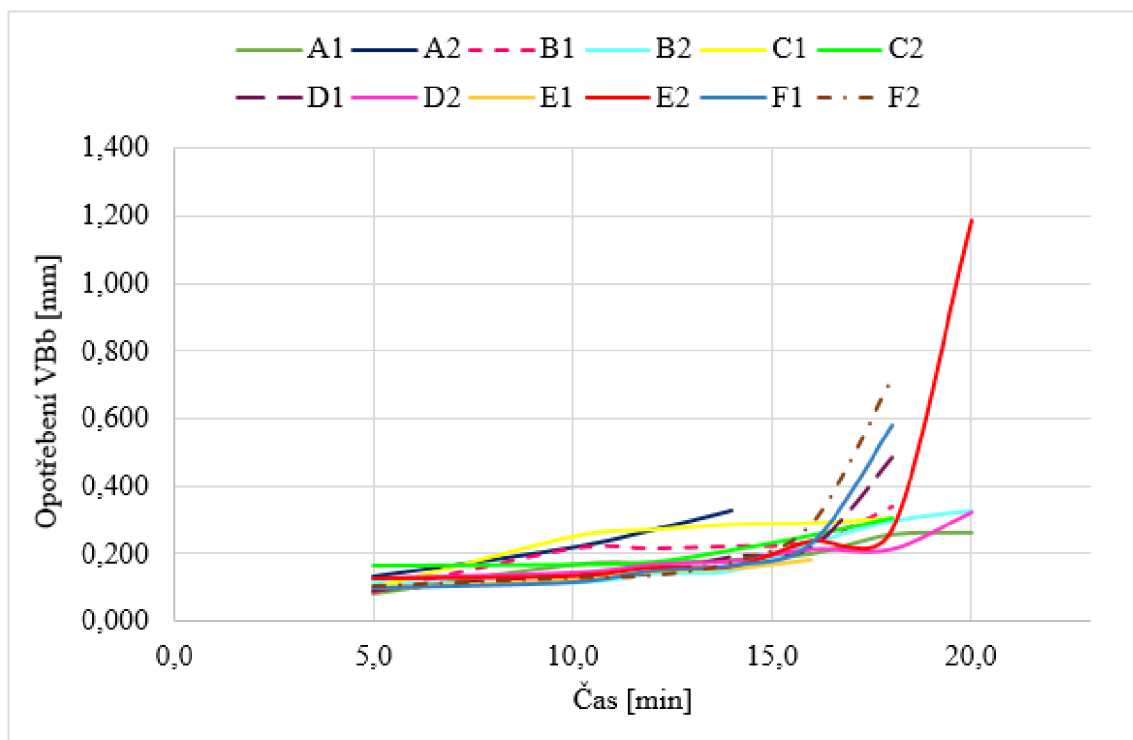
Z obr. 49 lze vidět, že nejlepšího výsledku z hlediska trvanlivosti dosáhly vzorky skupiny D, které měly povrch upravený na hřbetech pomocí nové metody. Jejich průměrná trvanlivost byla 19 minut.

Nejkratší trvanlivost byla zaznamenána destičkami skupiny A. Průměrnou hodnotu snížil vzorek A2, kde bylo dosaženo VBb již po čtrnácti minutách soustružení. Pro tuto destičku je pomocí pořízených fotografií v tab. 14 znázorněn časový průběh opotřebení na čele a hlavním hřbetu. Z tab. 14 lze vidět, že v desáté minutě se na hlavním hřbetu vytvořil vrub, který se postupně zvětšoval a nakonec byl hlavním důvodem brzkého ukončení destičky A2. Pravděpodobná příčina vrubu je abrazivní oěr o deformačně zpevněnou vrstvu po předchozím řezu. Jak bylo zjištěno v publikacích [53, 54], důležitý vliv na tvorbu vrubu má také velikost zrna obráběného materiálu.

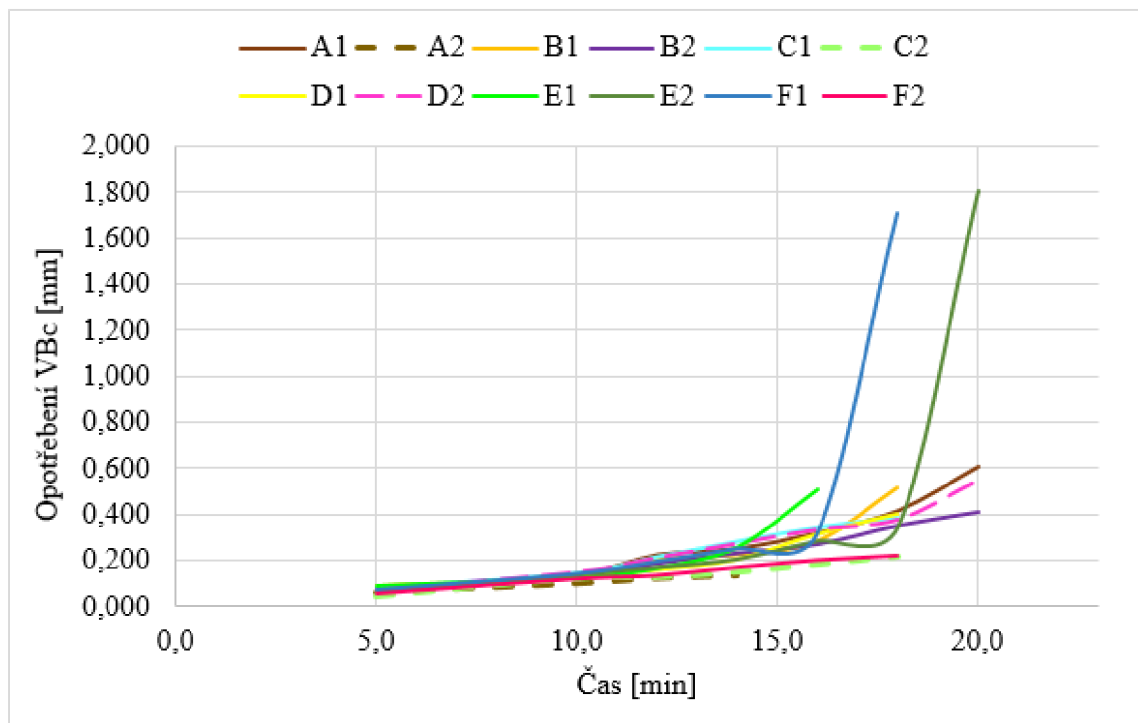
Průběh opotřebení každého ze vzorků byl vyneseno do grafů. Na obr. 51 je časový průběh VBb, obr. 52 ukazuje časový vývoj VBc. Tabulka se všemi naměřenými hodnotami opotřebení je v příloze 6.

Tab. 14 Průběh opotřebení vzorku A2.

čas	Čelo	Hlavní hřbet
0 min		
5 min		
10 min		
12 min		
14 min		



Obr. 51 Časový průběh opotřebení VBb.



Obr. 52 Časový průběh opotřebení VBc.

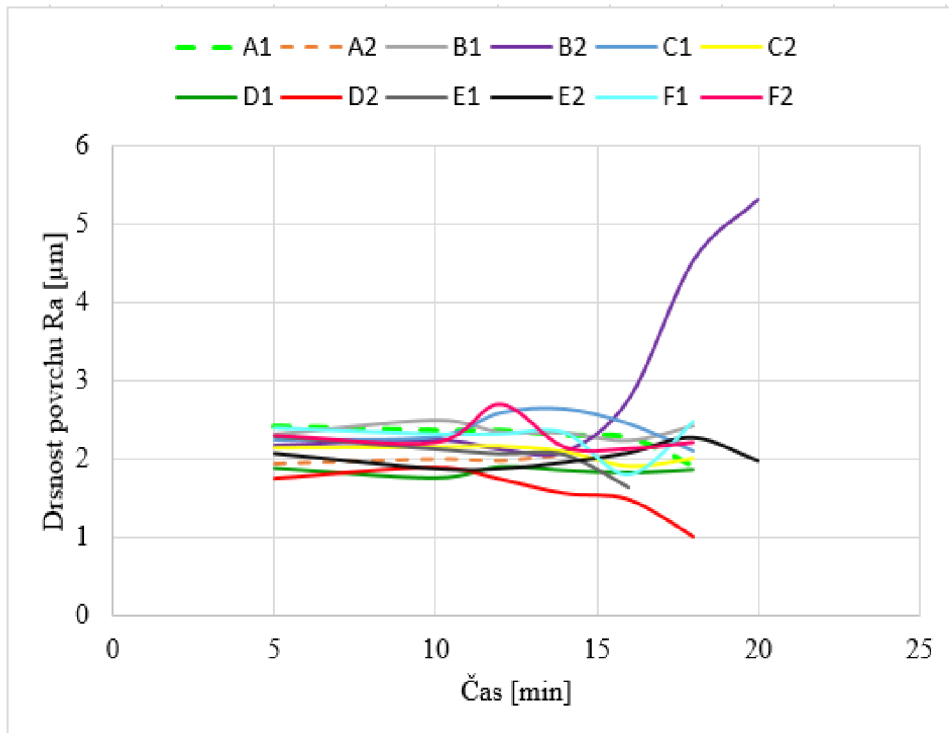
Součástí druhého testu bylo měřit drsnost povrchu obrobku Ra, po každém odjetém intervalu každého vzorku. Naměřená data jsou zobrazena v tab. 15. Ze zjištěných hodnot byly vytvořeny dvě grafické závislosti. První z nich (obr. 53) znázorňuje průběh Ra v čase, druhá (obr. 54) představuje vývoj Ra v závislosti na zvětšujícím se opotřebením hlavního břitu VBb. V příloze 7 je vložena tabulka s hodnotami opotřebením VBb a drsnostmi povrchu obrobku Ra.

Z grafického průběhu viz obr. 54 si lze všimnout, že v některých případech (u křivek A1, C1, D2, F1) při rostoucím VBb hodnota Ra klesá. Tedy že při větším opotřebením břitu je vytvářen hladší povrch, což je přesně naopak, než by se dalo očekávat. Takovýto průběh lze vysvětlit tím, že vlivem opotřebením nástroje může docházet ke změně jeho geometrie, včetně ostroty břitu a úhlů hřbetu i čela. Změna geometrie může v některých případech vést k místnímu zlepšení jakosti povrchu. Účinky změny geometrie nástroje na kvalitu obrobku je popsána studií Pham Minh Duc a kol. [55].

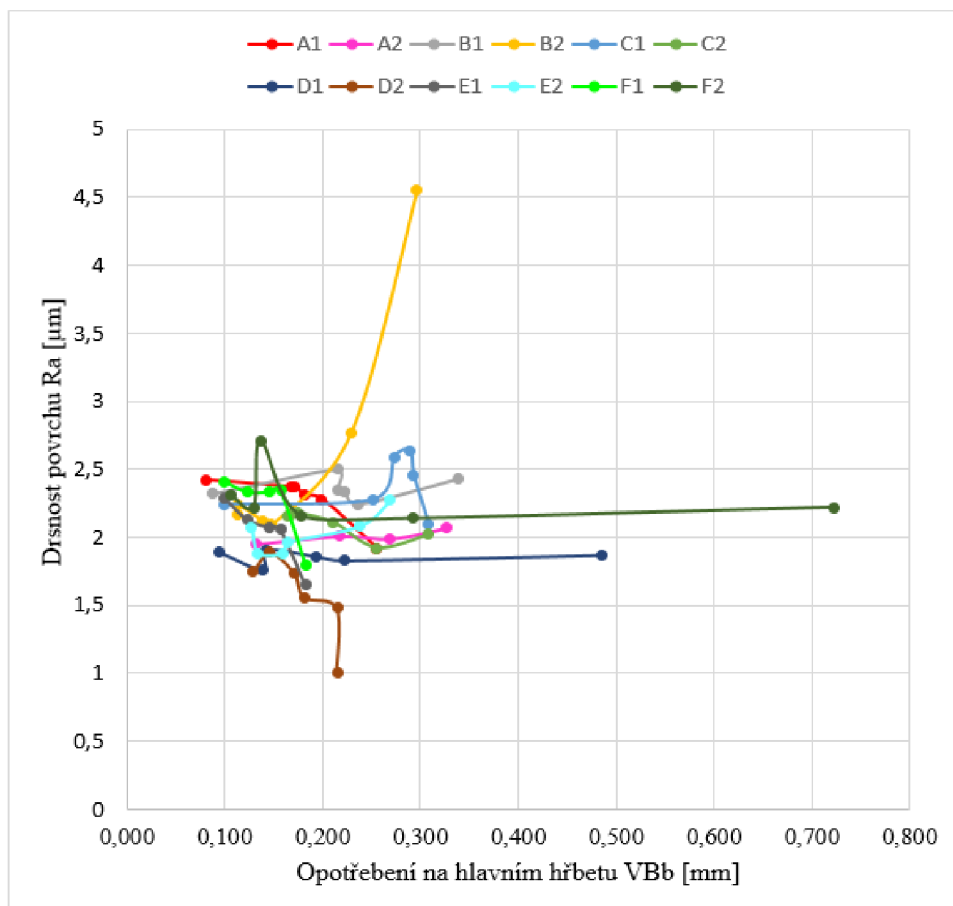
Dle průběhu naměřených hodnot Ra lze vyhodnotit, že nejlepší drsnost povrchu byla v průběhu opotřebením břitů vytvářena destičkami skupiny D. Vzorek D1 dosáhl průměrné hodnoty Ra 1,85 μm , u D2 bylo průměrně naměřeno Ra 1,57 μm .

Tab. 15 Naměřené hodnoty drsnosti Ra obrobku.

Vzorek	Čas [min]							Průměr Ra [μm]
	5	10	12	14	16	18	20	
A1	2,42	2,37	2,37	2,31	2,28	1,92		2,28
A2	1,95	2,01	1,99	2,07				2,01
B1	2,32	2,5	2,35	2,34	2,24	2,43		2,36
B2	2,17	2,24	2,12	2,09	2,77	4,55	5,33	2,66
C1	2,24	2,28	2,59	2,64	2,45	2,1		2,38
C2	2,16	2,17	2,18	2,11	1,92	2,02		2,09
D1	1,89	1,76	1,91	1,86	1,83	1,87		1,85
D2	1,75	1,89	1,74	1,56	1,48	1,01		1,57
E1	2,29	2,13	2,07	2,06	1,65			2,04
E2	2,07	1,88	1,88	1,96	2,08	2,27	1,98	2,02
F1	2,41	2,33	2,33	2,35	1,8	2,49		2,29
F2	2,31	2,22	2,71	2,16	2,14	2,22		2,29



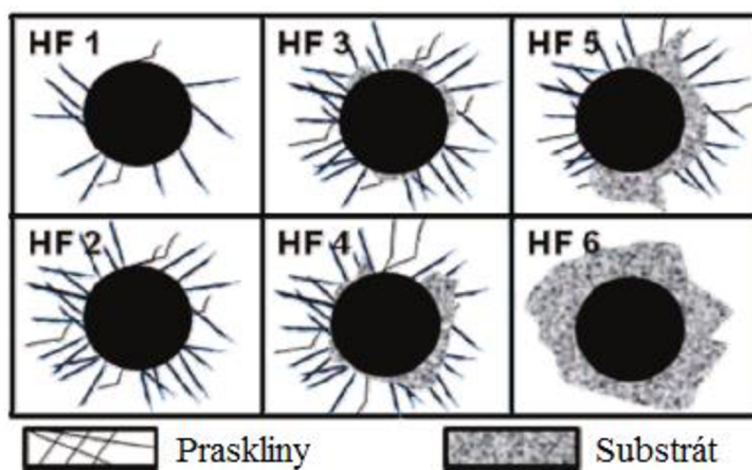
Obr. 53 Grafické znázornění průběhu drsnosti povrchu Ra v čase.



Obr. 54 Grafický vývoj Ra v závislosti na VBb.

4.9 Analýza povlaku destiček

Po ukončení testů byl proveden experiment ke zjištění kvality povlakové vrstvy. Špatná adheze povlaku může mít významný vliv na formu opotřebení a životnost nástroje. Pro zjištění kvality povlakové vrstvy byl proveden Daimler-Benz vtiskový test přilnavosti, ke kterému se používá standardní tvrdoměr Rockwell vybavený diamantovým kuželovým indentorem. Diamantový kužel se předepsaným zatížením vtlačí do povrchu zkoušeného vzorku, na kterém vytvoří vtisk. Přesný postup zkoušky je stanoven normou ČSN EN ISO 26443 [56]. Výsledek kvality povlaku se získá použitím mikroskopu a klasifikací adheze v rozsahu HF 1 až HF 6 podle obr. 55. Pokud se v okolí vtisku nachází pouze praskliny, je přilnavost vyhovující. V případě, že je kolem prohlubně viditelný substrát, povlak je označen jako nekvalitní. Za přijatelný stav povlaku jsou považovány pouze klasifikace HF 1 a HF 2. [57, 58, 59]



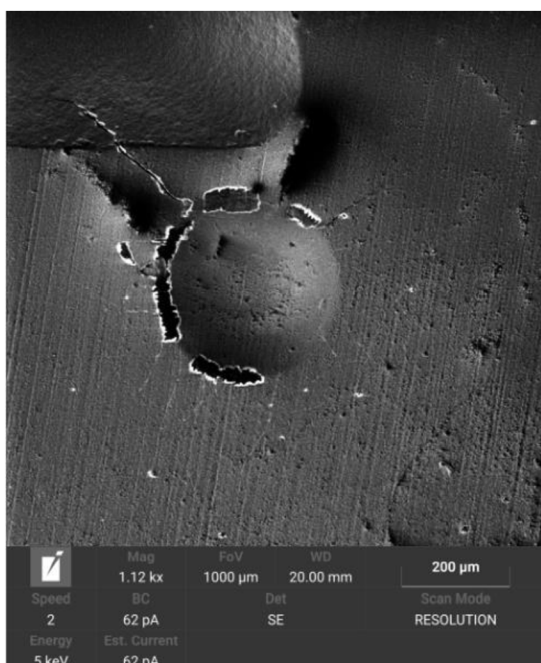
Obr. 55 Klasifikace vtisku pro vyhodnocení Daimler-Benz testu [57].

Daimler-Benz zkouška byla provedena pomocí tvrdoměru Zwick/Roell ZHR (uveden výše na obr. 38). Zhotovení vpichu ukazuje obr. 56. Pro zkoušku byly vybrány vzorky ze skupin A, C, E a F. Snímky povrchu destiček po provedení vpichu byly pořízeny elektronovým mikroskopem TESCAN Mira 4.

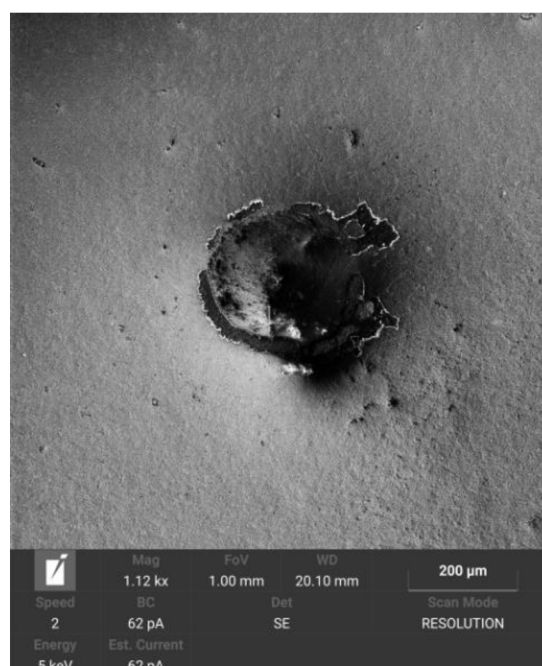


Obr. 56 Provedení vpichu tvrdoměrem Zwick/Roell ZHR.

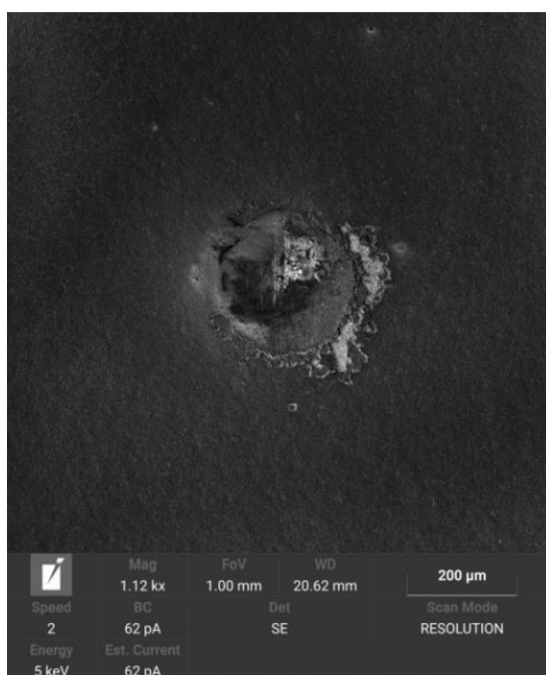
Na základě mikroskopických snímků vtisků byla provedena klasifikace adheze povlaku. Povlak na vzorcích A (obr. 57), C (obr. 58) a E (obr. 59) byl zařazen do skupiny HF 4. Na obrázcích lze vidět, že v okolí vrubu po indentoru se kromě prasklin nachází také místa s odkrytým substrátem. Vtisk na vzorku F (obr. 60) je klasifikován do skupiny HF 5, jelikož stopa po odkrytém povlaku je ještě výraznější, než u předchozích vzorků. Z provedené analýzy vyplývá, že adheze tenké vrstvy má nízkou kvalitu. Důvodem by mohl být například nedostatečně očištěný substrát před depozicí. Vliv by mohla mít také povrchová úprava, která může, zvláště při nesprávně zvolených podmínkách procesu, nanesenou povlakovou vrstvu poškodit.



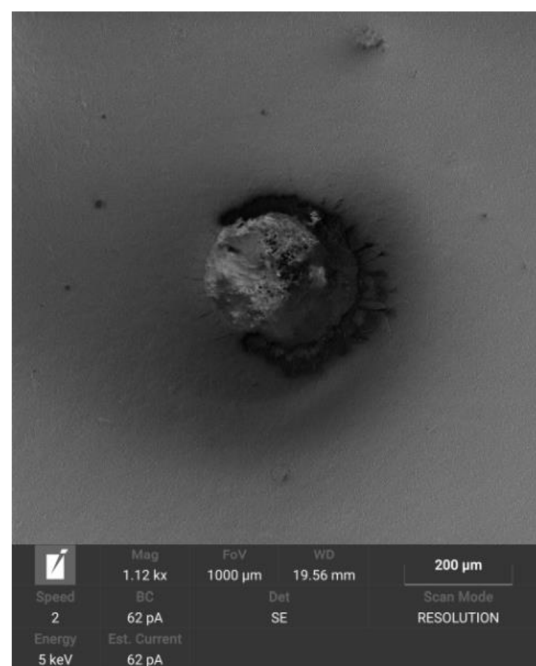
Obr. 57 Vtisk na povrchu vzorku A.



Obr. 58 Vtisk na povrchu vzorku C.



Obr. 59 Vtisk na povrchu vzorku E.



Obr. 60 Vtisk na povrchu vzorku F.

5 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Mezi nejdůležitější faktory při volbě obráběcího nástroje patří jeho pořizovací cena a také poměr cena výkon. V této kapitole bude vyhodnoceno, jaký druh VBD se z finančního hlediska vyplatí nejvíce a bude ukázáno, kolik peněz může zákazník při nákupu vhodné břitové destičky ušetřit.

Výpočty jsou provedeny z výsledků dosažených testováním pomocí přímé úměrnosti ze známých trvanlivostí destiček. Potenciálně ušetřené náklady jsou vztaženy k destičce A, která, jak již bylo uvedeno výše, je standardně dostupná na trhu. Maloobchodní cena jedné této destičky včetně DPH činí 396 Kč. Pro experimentální destičky je uvažována cena stejná, jako pro A. Pro srovnání rozdílu nákladů mezi destičkami A, B je proveden názorný výpočet, pomocí vztahu 5.1. Ostatní vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. 16.

$$N_{uB} = \left(\frac{C_{VBD}}{T_A} - \frac{C_{VBD}}{T_B} \right) \cdot (T_B - T_A) = \left(\frac{396}{16,4} - \frac{396}{18,3} \right) \cdot (18,3 - 16,4) = 4,763 \text{ Kč}, \quad (5.1)$$

kde: N_{uB} náklady ušetřené při použití destičky B,
 C_{VBD} cena jedné destičky CNMG 120408E-SF:T7325,
 T_A trvanlivost destičky A je 16,4 min.,
 T_B trvanlivost destičky B je 18,3 min.

Ušetřené náklady mohou být stejným způsobem vyjádřeny pomocí obrobené dráhy jednotlivými nástroji. V tomto případě je názorný výpočet proveden pro srovnání A s D. Ostatní vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. 16. Obrobená dráha se spočítá ze známé rezné rychlosti a trvanlivostí destiček jako:

$$l_{obr. D} = v_c \cdot T_D = 210 \cdot 19 = 3990 \text{ m}, \quad (5.2)$$

kde: $l_{obr. D}$ obrobená dráha destičkou D,
 T_D trvanlivost destičky D je 19 min.

Do rovnice 5.1 se pak místo trvanlivostí T dosadí hodnoty obrobené dráhy l_{obr} a výpočet ušetřených nákladů se vypočte jako:

$$N_{uB} = \left(\frac{C_{VBD}}{l_{obr. A}} - \frac{C_{VBD}}{l_{obr. D}} \right) \cdot (l_{obr. D} - l_{obr. A}) = \left(\frac{396}{3444} - \frac{396}{3990} \right) \cdot (3990 - 3444) = 8,591 \text{ Kč} \quad (5.3)$$

Tab. 16 Ušetřené náklady při použití experimentálních destiček.

Označení VBD	Trvanlivost VBD T [min]	Obrobená dráha $l_{obr.}$ [m]	Cena 1 VBD C_{VBD} [Kč]	Ušetřené náklady N_u [Kč]
A	16,4	3 444	396	-
B	18,3	3 843	396	4,763
C	17,9	3 759	396	3,035
D	19	3 990	396	8,591
E	17,5	3 675	396	1,670
F	17,5	3 675	396	1,670

Z tab. 16 lze vidět, že nejvýhodnější pro zákazníka bude nákup destičky D, kde bude oproti destičce A ušetřeno 8,591 Kč. Tato částka se zdá být zanedbatelná, ovšem při nákupu většího množství nástrojů a z hlediska delšího časového horizontu se ušetřené náklady projeví výrazněji.

Na základě dosažené trvanlivosti, opotřebení, drsnosti povrchu a ekonomičnosti, byly VBD subjektivně bodově hodnoceny v rozsahu stupnice 1 až 6, přičemž 1 je nejnižší a 6 nejvyšší stupeň hodnocení. Výsledkem je stanovené pořadí, které seřazuje testované destičky od nejlepších po nejhorší.

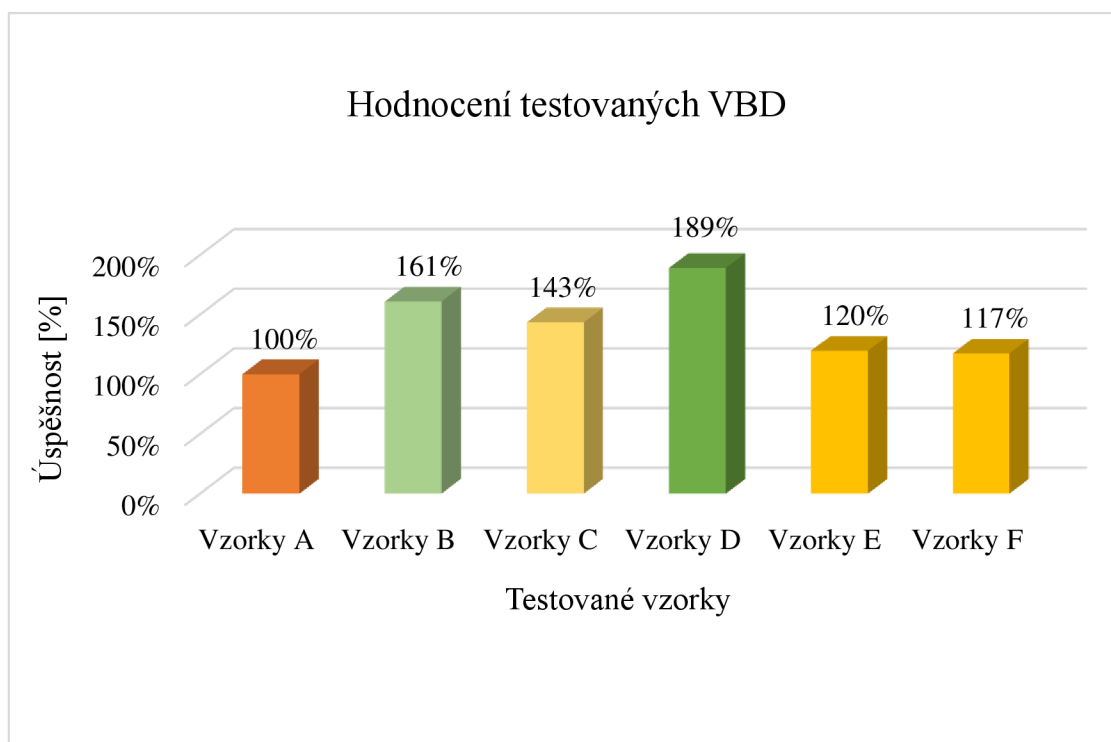
Ekonomičnost byla hodnocena podle potenciálně ušetřených nákladů na výrobu při použití dané destičky oproti destičce A. Trvanlivost a drsnost jsou bodovány dle reálně dosažených výsledků a opotřebení je hodnoceno následujícím způsobem:

- dosažení kritéria opotřebení VBb nebo VBc – 6 b.,
- vznik vrubového opotřebení – 3 b.,
- plastická deformace – 3 b.,
- výmol na čele – 3 b.

Pokud při ukončení životnosti daného nástroje nastalo více zmíněných opotřebení zároveň, byla zapsána průměrná hodnota. Bodové hodnocení je uvedeno v tab. 17. Bodový součet byl vyjádřen v procentech, přičemž etalonové vzorky A byly označeny jako 100 % a ostatní byly porovnávány vzhledem k etalonu A. Z výsledků vyplývá pořadí úspěšnosti jednotlivých skupin dosažené testováním. Graficky jsou výsledky znázorněny v obr. 61.

Tab. 17 Hodnocení testovaných VBD podle vybraných kritérií.

Označení VBD	Trvanlivost	Opotřebení	Drsnost	Ekonomičnost	Součet	Úspěšnost	Pořadí
Vzorky A	1	4,5	5	1	11,5	100%	6.
Vzorky B	5	4,5	5	4	18,5	161%	2.
Vzorky C	4	4,5	5	3	16,5	143%	3.
Vzorky D	6	3,75	6	6	21,75	189%	1.
Vzorky E	3	3,75	5	2	13,75	120%	4.
Vzorky F	3	4,5	4	2	13,5	117%	5.



Obr. 61 Grafické znázornění výsledků hodnocení VBD.

DISKUZE

Při porovnání dvou provedených testů VBD je patrné, že podstatný vliv na opotřebení nástroje má obráběný materiál. Nepříznivé výsledky v podobě vylamování řezných hran z prvního testu byly zapříčiněny proměnlivou tvrdostí soustružené oceli. Kolísání tvrdosti bylo způsobeno velkým množstvím nehomogenně rozložených nekovových vměstků ve struktuře oceli. Nově dodaný materiál pro druhý test byl z hlediska chemické čistoty v pořádku a v průběhu testu nedošlo ani v jednom případě k lomu břitu. Oproti prvnímu testu tedy došlo ke značnému zlepšení.

Z výsledků opotřebení nástrojů z tab. 13 lze vyčíst, že u testovaných vzorků docházelo ke vzniku vrubového opotřebení. Destičky, u nichž se na hřbetu objevil vrub, vytvářely otřep na obrobku viz obr. 62 a obr. 63. Výskyt otřepu byl zaznamenán vždy až po ukončení životnosti vzorku. Olovšjö a kol. [53] a Cedergren a kol. [54] ve svých výzkumech zjistili, že na vznik vrubu má významný vliv velikost zrna obráběného materiálu. Materiál s hrubšími zrnky způsobuje větší vrubové opotřebení nástroje, což vede k tvorbě otřepu. Otřep vzniká v místě styku vrubu s obráběným povrchem. Na tvorbě vrubu se podílí také rychlost posuvu, ovšem důležitější roli hraje právě velikost zrna.



Obr. 62 Otřep na obrobku, vzorek A1.



Obr. 63 Otřep na obrobku, vzorek F2.

Na konci testů byla provedena analýza povlaku destiček, pomocí zkoušky tvrdosti dle Rockwella. Na základě zhotovených vtisků diamantovým kuželem bylo dle normy ČSN EN ISO 26443 [56] a odborných článků [57, 57, 59] provedeno hodnocení kvality adheze tenké vrstvy dle šesti stanovených podob vtisku a stupnice HF 1 až HF 6 viz obr. 55. U tří ze čtyř zkoušených destiček byl povlak zařazen do skupiny HF 4, u jedné do HF 5, přičemž kvalitně nanesený povlak označují pouze HF 1 a HF 2. Špatně nanesený, nebo poškozený povlak (např. vlivem povrchové úpravy) zkracuje délku životnosti nástroje. Při ztenčené vrstvě je destička náchylnější ke vzniku výmolu na čele [21]. Hodnocení kvality povlaku bylo provedeno subjektivně a tomuto problému by mohla být věnována větší pozornost při dalším výzkumu.

ZÁVĚR

V předložené diplomové práci byly provedeny řezné zkoušky za účelem testování vlivu povrchové úpravy břitových destiček na průběh opotřebení a celkovou trvanlivost nástrojů. Zkoušky byly vykonány podélným soustružením korozivzdorné oceli 17 349, při stanovených řezných podmínkách $v_c = 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,25 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$, $a_p = 2 \text{ mm}$. Testováno bylo šest druhů vzorků, označených A až F, lišících se v metodě úpravy povrchu provedené po depozici povlaku. Vzorky A, B byly upraveny mokřím pískováním s rozdílem, že u skupiny B byl použit vyšší tlak trysky. Pro destičky C, D, E byla použita nová metoda úpravy od firmy Dormer Pramet s.r.o, přičemž C byly upraveny na čelech, D na hřbetech a E na čelech i hřbetech. U destiček F byly vyleštěny řezné hrany.

V průběhu testování docházelo k nečekanému odlamování břitů a nedařilo se dosahovat požadované trvanlivosti. Provedená analýza obráběného materiálu odhalila znečištěnou strukturu oceli velkým množstvím nehomogenně rozložených vměstků. Proto byl proveden náhradní test, pro který byl použit materiál od jiného výrobce. Nově dodaná ocel byla ve značně lepším stavu, bez výrazného znečištění. Pro druhý test byla upravena řezná rychlost na $v_c = 210 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Dosažené výsledky testování:

- na lámavost destiček v prvním testu měl největší vliv nekvalitně připravený obráběný materiál znečištěný vměstkami,
- trvanlivost destiček v druhém testu vycházela v požadovaném intervalu 15 až 20 minut,
- nejkratší trvanlivost $T = 14 \text{ min.}$ dosáhl vzorek A2, na kterém se v průběhu obrábění vytvořil vrub, což byla hlavní příčina rychlého nárůstu opotřebení,
- nejdelší trvanlivost $T = 19 \text{ min.}$ vykázal vzorek E2,
- nejlepší řezivosti dosáhly destičky skupiny D s výsledkem $R = 112 \%$ (porovnáno vůči výsledku skupiny A),
- u vzorků D2 a E1 byla ukončena životnost výmolem na čele společně se vznikem plastické deformace, u ostatních destiček bylo dosaženo jednoho z kritérií opotřebení ($VB_b = 0,3 \text{ mm}$, $VB_c = 0,6 \text{ mm}$),
- nejlepší drsnost povrchu R_a byla v průběhu obrábění dosahována destičkami D1 s průměrně naměřenou hodnotou $R_a 1,85 \mu\text{m}$ a vzorkem D2, kde R_a vyšla $1,57 \mu\text{m}$.

U destiček A2, B1, B2, C1, C2, D1 a F2 se v průběhu obrábění vytvořil vrub na hlavním ostří, což byla příčina vzniku otřepu na obráběném povrchu. Po ukončení testů byla provedena zkouška adheze povlaku, kde tři ze čtyř zkoušených vzorků byly zařazeny do kategorie HF 4 a jeden do HF 5, což značí, že kvalita naneseného povlaku není zcela optimální.

V technicko ekonomickém zhodnocení, byly vypočteny potenciálně ušetřené náklady na výrobu při použití experimentální VBD oproti referenční destičce A. Nejvýhodnější uplatnění má destička ze skupiny D, kde bude při použití jedné VBD ušetřeno 8,591 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. CNC soustružení. Mesit Machining [online]. Uherské Hradiště: Mesit Machinery [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.mesitmachining.cz/soustruzeni>
2. HUMÁR, Anton. Technologie I – Technologie obrábění - 1. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003, 138 s. [online]. [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TL_TO-1cast.pdf
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
4. MANN, CHANDRASEKAR, COMPTON, et al. 7 - Severe plastic deformation and the production of nanostructured alloys by machining. *Nanostructured Metals and Alloys* [online]. 2011, 178-210 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/chip-formation>
5. Příručka pro technology - Jak je to s řeznými silami? *Průmyslové spektrum* [online]. MM publishing, c2001-2023 [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-je-to-s-reznymi-silami>
6. *Dormer Pramet: Turning 2021-2022* [online]. Dormer Pramet, 2021 [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: https://5wyuco84ao39w9tsgkkmnm.blob.core.windows.net/cms/DORMER_PRAMET_Turning_Catalogue_2021_EN.pdf
7. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
8. *Slimutý karbid*. Oneindustry. [online]. [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/slinuty-karbid/>
9. BRICÍN, David. *Vlastnosti slinitých karbidů* [online]. Plzeň, 2019 [cit. 2022-11-06]. Dostupné z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/39121/1/Bricin_DP_2019.pdf. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Antonín Kříž.
10. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, fakulta strojního inženýrství, ústav strojírenské technologie, 2006. ISBN 80-214-2436-2.
11. *How carbide inserts are made In* [online]. 2021 [cit. 2023-01-26]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=0QwfBueMjY4&ab_channel=WIDIA. Zveřejněno na kanálu uživatele WIDIA.
12. Z čeho se karbid skládá In: *Bosch* [online]. Robert Bosch Power Tools [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: https://ac-elearning.bosch-pt.com/mlearning/bcarbide/pageone_cz.html
13. SLANINKOVÁ, Aneta. *Analýza současného stavu technologií úprav ostří řezných nástrojů ze slinitého karbidu* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/129436/SLA0220_FS_B2341_2303R002_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

14. *How carbide inserts are made by Sandvik Coromant* In. 2017. Dostupné také z: https://www.youtube.com/watch?v=0QrynzJ_IZ4&ab_channel=SandvikCoromant. Zveřejněno na kanálu uživatele Sandvik Coromant.
15. Řezné materiály současnosti: Slinuté karbidy – povlakované. *Průmyslové Spektrum* [online]. 2018 [cit. 2022-12-13]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-materialy-soucasnosti>
16. Trendy v povlakování slinutých karbidů. *Průmyslové Spektrum* [online]. 2001 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu>
17. Trendy v PVD a CVD povlakování. *Průmyslové Spektrum* [online]. 2014 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-pvd-a-cvd-povlakovani>
18. GOLBERG, Dmitri a Konstantin FAERSHTEIN. *Chemical Vapour Deposition (CVD) In.* 2019. Dostupné také z: https://www.youtube.com/watch?v=OWChkgyp92g&t=302s&ab_channel=LDSEF. Zveřejněno na kanálu uživatele LD SEF.
19. *What is PVD coating? In.* 2020. Dostupné také z: https://www.youtube.com/watch?v=I_RnLafVt0&t=2s&ab_channel=KOBELCOofficial. Zveřejněno na kanálu uživatele KOBELCOofficial.
20. What is the difference in cutting different metal materials? *Sansmachining* [online]. China: Dalian Sansheng Precision Machinery, c2023, 4 December 2020 [cit. 2023-01-10]. Dostupné z: <https://www.sansmachining.com/what-is-the-difference-in-cutting-different-metal-materials/>
21. Tool wear patterns and how to optimize them. *Seco* [online]. Fagersta: Secotools [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.secotools.com/article/122073?language=en>
22. Rozpoznání a vyřešení osmi nejčastějších typů opotřebení břitových destiček. *Průmyslové spektrum* [online]. MM publishing, c2001-2023 [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/technicke-novinky/rozpoznani-a-vyreseni-osmi-nejcastejsich-typu-opotrebeni-britovych-desticek>
23. Příčiny a typy opotřebení při loupání tyčí. In: *Ceratizit* [online]. Route de Holzem: Ceratizit [cit. 2023-03-08]. Dostupné z: https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs/odv_tvi/loup_aacute_n_iacute-tyiacute/co-je-dobr_eacute-vdt-a-tipy/opot_eben_iacute.html
24. Investigation of wear dynamics for cutting tools with multilayer composite nanostructured coatings in turning constructional steel. *Wear* [online]. 15 February 2019, 17-37 [cit. 2023-03-14]. ISSN 1873-2577. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043164818311281>
25. ČERČE, Luka, Franci PUŠAVEC a Janez KOPAC. A New Approach to Spatial Tool Wear Analysis and Monitoring. *Strojnicki vestnik* [online]. Ljubljana, 2015, 30.6.2015, 489-497 [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: doi:10.5545/sv-jme.2015.2512
26. LANG, Lukáš. *Kontrola opotřebení řezného nástroje v pracovním prostoru obráběcího stroje* [online]. Praha [cit. 2023-03-15]. Dostupné z: <https://stc.fs.cvut.cz/pdf12/2574.pdf>. České Vysoké Učení Technické v Praze. Vedoucí práce Jan Koubek.

-
27. PRICKETT a AHMED. *The Difficulties of the Assessment of Tool Life in CNC Milling* [online]. 2016, October 2016, 6 [cit. 2023-03-16]. Dostupné z: doi:10.1109/ICSAE.2016.7810234
 28. Měření drsnosti. *M&B Calibr* [online]. Ivančice: M&B Calibr [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.mbcaltibr.cz/mereni-drsnosti.html>
 29. Drsnost obrobeneho povrchu. *Tumlikovo* [online]. TumliKOVO, 2010, 10. března 2011 [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>
 30. FIALA, Zdeněk. Prezentace Experimentální metody: Drsnost povrchu. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014.
 31. GADELMAWLA, KOURA, MAK SOUND, ELEWA a SOLIMAN. Roughness parameters. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2002, 133-145 [cit. 2023-03-19]. ISSN 0924-0136. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00060-2](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00060-2).
 32. TECHNIK, Radim. *Vystružovací nástroje s břity z cermetu a PVD povlakem* [online]. Brno, 2009 [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16486. Diplomová práce. Vysoké Učení Technické v Brně, Fakulta Strojního Inženýrství.
 33. ZETEK, Miroslav, Helena ZÍDKOVÁ a Ivana ČESÁKOVÁ. Vliv tvaru řezné hrany nástroje na průběh řezného procesu. *Transfer inovací* [online]. Pilsen, 2009, 147-150 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: https://www.mercel.cz/mercelcz_files/drsnost_povrchu.pdf
 34. KANDRÁČ, Ladislav, Ildikó MAŇKOVÁ a Marek VRABEL. Cutting edge preparation in machining processes. *Zeszyty naukowe politechniki rzeszowskiej* [online]. 2013, (288), 149-159 [cit. 2023-03-05]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20180721062424id_/http://doi.prz.edu.pl/pl/pdf/mechanika/26
 35. Úpravy břitů a povrchů řezných nástrojů. In: *Průmyslové spektrum* [online]. Průmyslové spektrum, c2001-2023 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju>
 36. CORTÉS RODRÍGUEZ, Carlos Julio. *Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing*. 1. Kassel university: kassel university press, 2009, 189 s. ISBN 978-3-89958-713-5.
 37. DENKENA, Berend, LUCAS a BASSETT. Effects of the cutting edge microgeometry on tool wear and its thermo-mechanical load. *CIRP Annals* [online]. 2011, 73-76 [cit. 2023-02-24]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850611000990>
 38. DENKENA, Berend a BIERMAN. Cutting edge geometries. *CIRP Annals* [online]. 631-653 [cit. 2023-02-27]. ISSN 0007-8506. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850614001917?via%3Dihub>
 39. BOUZAKIS. Effect of PVD films wet micro-blasting by various Al₂O₃ grain sizes on the wear behaviour of coated tools. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2011, 128-132 [cit. 2023-02-27]. ISSN 0257-8972. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897211002350?via%3Dihub>
-

-
40. Insert finishing world leader for good reason. *Vapormatt* [online]. Bridgewater: Vapormatt, c2023 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.vapormatt.com/industries/cutting-tool-inserts>
 41. What is wet blasting?. In: *Vapormatt* [online]. Vapormatt, c2023 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.vapormatt.com/our-technology/what-wet-blasting>
 42. FULEMOVÁ, Jaroslava. *Studie problematiky zvyšování řezivosti nástroje při frézování feriticko-martenzitické oceli P91*. Plzeň, 2017. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta Strojní.
 43. SLANINKOVÁ, Aneta. *Změny zbytkových napětí v povrchových vrstvách VBD po aplikaci povrchových úprav*. Ostrava, 2020. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
 44. KUDLÁČKOVÁ, Veronika. *Návrh sledování parametrů kvality zaoblení ostří při výrobě VBD* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: https://pace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136825/KUD0079_FS_N2301_2303T002_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
 45. X2CrNiMo17-12-2 a X2CrNiMo18-14-3. *Bolzano* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, c2020 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x2crnimo17-12-2-austeniticke>
 46. Jakosti materiálů. *Nerezinox* [online]. Trnava: Nerezinox, c2018 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://nerezinox.cz/jakosti-materialu/>
 47. SP 280. *Mas Machine Tools* [online]. Kovosvit Mas, c2015 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: <http://www.masmachinetools.cz/sp-280>
 48. CNMG 120408E-SF:T7325. *Dormer Pramet* [online]. Dormer Pramet [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.dormerpramet.com/cee/en/p/7156201>
 49. PCLNL 2525 M 12. In: *Bo-import: Nářadí-nástroje* [online]. Bo-import, c2023 [cit. 2023-04-26]. Dostupné z: <https://www.bo-import.cz/pclnl-2525-m-12-p13020/#gallery>
 50. BERGMANOVÁ, Petra. *Hodnocení kritické velikosti vměstků ve vysokopevných ocelích z hlediska iniciace únnavových trhlin* [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2018 [cit. 2023-03-02]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/31620/1/DP%20Bergmanova.pdf>. Diplomová. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta Strojní.
 51. Energiově disperzní spektrometrie (EDS). *Matca* [online]. Praha: Matca, c2023 [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: <https://matca.cz/technologie/analyticke-metody/eds/>
 52. Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). *LibreTexts* [online]. California: LibreTexts [cit. 2023-03-04]. Dostupné z: [https://chem.libretexts.org/Courses/Franklin_and_Marshall_College/Introduction_to_Materials_Characterization__CHM_412_Collaborative_Text/Spectroscopy/Energy-Dispersive_X-ray_Spectroscopy_\(EDS\)](https://chem.libretexts.org/Courses/Franklin_and_Marshall_College/Introduction_to_Materials_Characterization__CHM_412_Collaborative_Text/Spectroscopy/Energy-Dispersive_X-ray_Spectroscopy_(EDS))
-

53. OLOVSJÖ, WRETLAND a SJÖBERG. The effect of grain size and hardness of wrought Alloy 718 on the wear of cemented carbide tools. *Wear* [online]. 2010, 1045-1052 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.wear.2010.01.017>
 54. CEDERGREN, OLOVSJÖ, SJÖBERG a NYBORG. The Effects of Grain Size and Feed Rate on Notch Wear and Burr Formation in Wrought Alloy 718. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. Göteborg, Sweden, 2012, 16 November 2012, 1501–1507 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s00170-012-4584-3>
 55. MINH DUC, Pham, Le Hieu GIANG, Dai MAI DUC a Sy DO TIEN. An experimental study on the effect of tool geometry on tool wear and surface roughness in hard turning. *Sage journals* [online]. 2014, 1 September 2014 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1177/1687814020959885>
 56. ČSN EN ISO 26443. *Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) - Rockwell indentation test for evaluation of adhesion of ceramic coatings (ISO 26443:2008)*. Brussels: CEN-CENELEC, 2016.
 57. BROITMAN, Esteban a Lars. Adhesion Improvement of Carbon-based Coatings through a High Ionization Deposition Technique. *Journal of Physics Conference Series* [online]. Linköping, Sweden: IOP Publishing, 2012, June 2012 [cit. 2023-05-05]. ISSN 1742-6596. Dostupné z: doi:[10.1088/1742-6596/370/1/012009](https://doi.org/10.1088/1742-6596/370/1/012009)
 58. LINZ, Mario, Jörg EXNER, Jaroslav KITA, Florian BÜHNER, Martin SEIPENBUSCH a Ralf MOOS. Discontinuous Powder Aerosol Deposition: An Approach to Prepare Films Using Smallest Powder Quantities. *Coatings* [online]. Bayreuth, Germany, 2021, 13 July 2021, **2021** [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/coatings11070844>
 59. LODES, Matthias, Stefan SAILER, Stefan ROSIWAL a Robert SINGER. Adhesive bonding and brazing of nanocrystalline diamond foil onto different substrate materials. *Applied Surface Science* [online]. 2013, 1 October 2013, 335-341 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.05.129>
 60. *Citace Pro* [online]. [cit. 2022-06-06]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/info>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A_D	jmenovitý průřez třísky	[mm ²]
a_p	šířka záběru ostří	[mm]
b_D	jmenovitá šířka třísky	[mm]
C_{FC}, C_{Ff}, C_F	materiálové konstanty	[-]
C_T	materiálová konstanta	[-]
C_{VBD}	cena jedné destičky CNMG 120408E-SF:T7325	[Kč]
D	průměr obrobku	[mm]
f	posuv na otáčku	[mm]
F	výsledná řezná síla	[N]
F_c	řezná síla	[N]
F_f	posuvová síla	[N]
F_p	pasivní síla	[N]
k	k-faktor	[-]
k_c	měrná řezná síla	[MPa]
L	dráha nástroje	[mm]
l	délka soustružené plochy	[mm]
$l_{obr.}$	délka obrobené dráhy	[mm]
l_n	délka náběhu	[mm]
l_p	délka přeběhu	[mm]
l_r	základní délka	[mm]
m	směrnice přímky	[-]
n	otáčky	[min ⁻¹]
n_b	počet využitelných břitů	[-]
N_u	ušetřené náklady	[Kč]
p	destička jednostranná	[min]
P_c	řezný výkon stroje	[MPa]
P_m	skutečný výkon stroje	[MPa]
R_a	průměrná výška profilu	[μm]
R_p	výška nejvyššího výstupku profilu	[μm]
R_z	maximální výška profilu	[μm]
R_v	hloubka nejnižší rýhy profilu	[μm]
\bar{S}	střední velikost zaoblených ploch	[μm]
S_α	teoretická plocha ostré hrany hřbetu nástroje	[μm]
S_γ	teoretická plocha ostré hrany čela nástroje	[μm]
T	trvanlivost	[min]
t_{AS}	jednotkový strojní čas	[min]
v_c	řezná rychlost	[m · min ⁻¹]
v_e	výsledná efektivní rychlost	[m · min ⁻¹]
v_f	posuvová rychlost	[m · min ⁻¹]
x_{FC}, x_{Ff}, x_F	exponenty vlivu šířky záběru ostří	[-]
y_{FC}, y_{Ff}, y_{Ff}	exponenty vlivu posuvu	[-]
Z	životnost nástroje	[min]
η_m	mechanická účinnost stroje	[-]

Zkratky

Označení	Legenda
CNC	computer numeric control
CVD	chemical vapour deposition
EDS	energiově disperzní spektrometr
HB	tvrdost dle Brinella
HiPIMS	high-power impulse magnetron sputtering
HL	tvrdost dle Leeba
HRB	tvrdost dle Rockwella
MT-CVD	moderate temperature chemical vapour deposition
PVD	physical vapor deposition
VBb	opotřebení na hlavním hřbetu
VBc	opotřebení na vedlejším hřbetu
VUT	Vysoké učení technické
SEM	skenovací elektronový mikroskopie
SK	slinutý karbid
SS	stainless steel

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Podélné válcové soustružení	9
Obr. 2 Základní operace prováděné na soustruhu	10
Obr. 3 Kinematické schéma soustružení a) podélné soustružení, b) čelní soustružení	11
Obr. 4 Model tvorby třísky při ortogonálním obrábění	11
Obr. 5 Průřez třísky při válcovém soustružení	12
Obr. 6 Řezné síly	13
Obr. 7 Jednotkový strojní čas pro podélné soustružení	14
Obr. 8 Konstrukce radiálního soustružnického nože s VBD	15
Obr. 9 Popis částí VBD	15
Obr. 10 Univerzální hrotový soustruh	16
Obr.11 Proces výroby VBD ze slinutých karbidů	17
Obr. 12 Lisovací nástroj firmy Dormer Pramet	18
Obr. 13 Vliv řezných podmínek na opotřebení	22
Obr. 14 Vliv teploty na opotřebení	22
Obr. 15 Otěr na hřbetu	23
Obr. 16 Výmol na čele	23
Obr. 17 Tvorba nárůstku	24
Obr. 18 Vrubové opotřebení	24
Obr. 19 Plastická deformace	24
Obr. 20 Křehký lom	25
Obr. 21 Kritéria opotřebení nástroje podle ČSN ISO 3685	25
Obr. 22 Časová závislost opotřebení pro různé řezné rychlosti	26
Obr. 23 Závislost $T-v_c$	26
Obr. 24 Parametry hodnocení drsnosti povrchu	27
Obr. 25 Vliv úpravy mikrogeometrie	28
Obr. 26 Charakteristika zaoblené hrany	28
Obr. 27 Princip mokrého pískování	30
Obr. 28 Vliv parametrů pískování na řeznou hranu	31
Obr. 29 Technologie leštění	31
Obr. 30 CNC soustruh SP 280 SY.	33
Obr. 31 Destička CNMG 120408-SF:T7325	33
Obr. 32 Soustružnický držák PCLNL 2525 M12	33
Obr. 33 Optický mikroskop Zeiss Stemi 2000-C.	34
Obr. 34 Přenosný drsnoměr INSIZE ISR-C003.	34
Obr. 35 Čelo vzorku F1 po odlomení špičky.	35
Obr. 36 Hlavní hřbet vzorku F1 po odlomení špičky.	35
Obr. 37 Přenosný tvrdoměr HT-2000A.	35
Obr. 38 Nehybný tvrdoměr Zwick/Roell ZHR.	35
Obr. 39 Měřený polotovar B1.	36
Obr. 40 Grafické znázornění průměrných hodnot tvrdosti na obvodech B1, B2, B3, B4.	38
Obr. 41 Grafické znázornění průměrných hodnot tvrdosti na čelech B1, B2, B3, B4.	39
Obr. 42 Řezání vzorků z obráběného polotovaru.	40
Obr. 43 Struktura vzorku po leštění zobrazena mikroskopem Olympus GX51.	40
Obr. 44 EDS graf spektrální analýzy.	41
Obr. 45 EDS vyhodnocení prvkových map.	42
Obr. 46 Vyleštěný povrch vzorku zobrazen.	43
Obr. 47 Výmol na čele a plastická deformace vzorku D2.	43
Obr. 48 Výmol na čele a plastická deformace vzorku E1.	43

Obr. 49 Grafické znázornění trvanlivosti dle jednotlivých úprav povrchu.....	44
Obr. 50 Grafické znázornění řezivosti dle jednotlivých úprav povrchu.....	45
Obr. 51 Časový průběh opotřebení VBb.....	47
Obr. 52 Časový průběh opotřebení VBc.....	47
Obr. 53 Grafické znázornění průběhu drsnosti povrchu Ra v čase.....	49
Obr. 54 Grafický vývoj Ra v závislosti na VBb.....	49
Obr. 55 Klasifikace vtisku pro vyhodnocení Daimler-Benz testu	50
Obr. 56 Provedení vpichu tvrdoměrem Zwick/Roell ZHR.....	50
Obr. 57 Vtisk na povrchu vzorku A.....	51
Obr. 58 Vtisk na povrchu vzorku C.....	51
Obr. 59 Vtisk na povrchu vzorku E.....	51
Obr. 60 Vtisk na povrchu vzorku F.....	51
Obr. 61 Grafické znázornění výsledků hodnocení VBD.....	53
Obr. 63 Otřep na obrobku, vzorek A1.....	54
Obr. 64 Otřep na obrobku, vzorek F2.....	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Porovnání vlastností povlaků	19
Tab. 2 Rozdělení slinutých karbidů podle ISO 513	21
Tab. 3 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli	32
Tab. 4 Řezné podmínky.....	34
Tab. 5 Naměřené hodnoty na obvodu polotovaru B1 tvrdoměrem HT-2000A.....	36
Tab. 6 Naměřené hodnoty na čele polotovaru B1 tvrdoměrem HT-2000A.....	37
Tab. 7 Naměřené hodnoty na obvodu a čele polotovaru B2 tvrdoměrem HT-2000A.....	37
Tab. 8 Naměřené hodnoty na obvodu a čele polotovaru B3 tvrdoměrem HT-2000A.....	37
Tab. 9 Naměřené hodnoty na obvodu polotovaru B3 tvrdoměrem Zwick/Roell ZHR.....	37
Tab. 10 Naměřené hodnoty na obvodu a čele polotovaru B4 tvrdoměrem HT-2000A.....	38
Tab. 11 Naměřené hodnoty na obvodu polotovaru B4 tvrdoměrem Zwick/Roell ZHR.....	38
Tab. 12 Řezné podmínky pro druhé testování.....	42
Tab. 13 Výsledky druhého testování.....	44
Tab. 14 Průběh opotřebení vzorku A2.....	46
Tab. 15 Naměřené hodnoty drsnosti Ra obrobku povrchu.....	48
Tab. 16 Ušetřené náklady při použití experimentálních destiček.....	52
Tab. 17 Hodnocení testovaných VBD podle vybraných kritérií.....	53

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list oceli 17 349.
Příloha 2	Technické parametry CNC soustruhu SP 280 SY.
Příloha 3	Technické informace břitové destičky CNMG 120408E-SF.
Příloha 4	Atest znečištěné oceli 17 349.
Příloha 5	Atest nové oceli 17 349.
Příloha 6	Tabulka naměřených hodnot opotřebení.
Příloha 7	Hodnoty opotřebení VBb a drsnosti povrchu obrobku Ra.

X2CrNiMo17-12-2 a X2CrNiMo18-14-3										
Druh oceli	Austenitická korozivzdorná ocel.									
TDP	EN 10088-3 (polotovary, tyče, válcovaný drát, profily), EN 10088-2 (plechy a pásy), DIN 17455 (trubky kruhové svařované), DIN 17456 (trubky kruhové bezešvé) – pro všeobecné použití.									
Označení	EN 10088, DIN 17455, 17456			AISI (USA)	JIS (Japan)	ČSN				
	X2CrNiMo17-12-2 (1. 4404) a X2CrNiMo18-14-3 (1.4435)			316 L	SUS 316 L	17349 a 17350				
Korozní odolnost	Ocel velmi dobře odolává : atmosferické korozi i v průmyslovém ovzduší, odpadním vodám i za přítomnosti halogenů . Ocel X2CrNiMo18-14-3 odolává i působení mořské vody. V průměrných koncentracích odolává minerálním a organickým kyselinám. Blížší údaje odolnosti i v dalších korozních prostředích, poskytují korozní tabulky. Ve stavu po rozpouštěcím žihání i v případě byla-li vystavena kritickým teplotám v intervalu 500 až 900°C, odolává mezikrystalové korozi.									
Chemické složení tavby v % hmot. podle EN 10088, DIN 17455 a 17456.	X2CrNiMo17-12-2									
	C	Si	Mn	P max.	S 1)	N	Cr	Mo	Ni 2)	
	<= 0.030	<= 1.00	<= 2.00	0.045	<= 0.030	<= 0.11	16,50-18,50	2.00- 2.50	10,00-13,00	
	X2CrNiMo18-14-3									
	<= 0.030	<= 1.00	<= 2.00	0.045	<= 0.030	<= 0.11	17,00-19,00	2.50 - 3.00	12,50-15.00	
1) Pro EN 10088-2, DIN 17455 a DIN 17456 je S <= 0.015 % . Pro výrobky určené k obrábění je dovolen obsah S 0,015-0,030% .										
2) V případě omezení obsahu delta-feritu nebo je-li požadována nízká hodnota permeability lze zvýšit obsah Ni o 1%.										
Dovolené úchytky chem. složení v hotovém výrobku v % hmot.	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni	Mo	
	<= 0.030 +0.005	<= 1.00 + 0.05	<= 1.00 + 0.03 >1.00 +0.04	+ 0.005	<= 0.015 +0.003 > 0,015 + 0.005	+,- 0.01	+,- 0.20	+,- 0.15	+,- 0.10	
Mechanické vlastnosti pro polotovary, tyče, válcovaný drát a profily při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-3	Tloušťka (d) mm	Tvrdost HB max. inf. 1)	Rp0,2 min. MPa	Rp 1,0 min. MPa	Rm MPa 1)	A % min. 1)		Vrubová houž. (ISO-V) KV J min.		
						L	Q	L	Q	
	d <= 160	215	200	235	500 až 700	40	-	100	-	
160 < d <= 250	215	200	235	500 až 700	-	30	-	60		
L – podélný směr zkoušení, Q – příčný směr zkoušení. 1) Pro za studena tažené profily a tyče tloušťky <= 35 mm se může maximální hodnota tvrdosti zvýšit o 100 jednotek a pevnost o 200 MPa. Minimální hodnota prodloužení (A) se v tomto případě sníží na 20% . Pro válcovaný drát platí pouze hodnoty pevnosti.										
Minimální hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 při vyšších teplotách pro stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-3.	Rp0,2 v MPa při teplotách ve ° C									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
	165	150	137	127	119	113	108	103	100	98
Rp1,0 v MPa při teplotách ve ° C										
100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	
200	180	165	153	145	139	135	130	128	127	
Mechanické vlastnosti při 20°C po zpevnění za studena (např. po tažení) pro ocel X2CrNiMo17-12-2 podle EN 10088-3.	Označení třídy pevnosti		Rp0,2 min. MPa			Rm MPa			Prodloužení A % min.	
	C700 (do průměru 25 mm)		350			700 až 850			20	
	C800 (do průměru 35 mm)		500			800 až 1000			12	

Materiálový list oceli 17 349 [45].

Mechanické vlastnosti pro plechy a pásy při 20°C ve stavu po rozpuštěním žhání podle EN 10088-2.	Výrobek 1)	Tloušťka d min. mm	Rp0,2 min. MPa Q 2)		Rp1,0 min. MPa Q 2)	Rm MPa 5)	A _{80mm} % tl. < 3 mm min. Q 3)	A % tl. >= 3 mm min. Q 4)	Vrubová houževnatost (ISO-V) KV J min. tl. > 10 mm											
			L	Q																
		C	6	240	270	530 až 680	40	40	-	-										
	H	12	220	260	530 až 680	40	40	90	60											
	P	75	220	260	520 až 670	45	45	90	60											
<p>1) C – za studena válcovaný pás, H – za tepla válcovaný pás, P – za tepla válcovaný plech. 2) Q – příčný směr zkoušení. Jsou-li u pásu šířky < 300 mm odebírány zkušební vzorky v podélném směru, snižují se hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 o 15 MPa a prodloužení pro konstantní měřenou délku o 5% a pro proporcionální měřenou délku o 2%. Pro výrobky kontinuálně válcované lze v objednávce dohodnout min. hodnotu Rp0,2 o 20 MPa vyšší a pro Rp1,0 o 10 MPa vyšší. 3) Hodnoty platí pro příčný směr zkoušení a vzorky měřené délky 80 mm a šířky 20 mm. Vzorky o měřené délce 50 mm a šířce 12,5 mm mohou být též použity. 4) Hodnoty platí pro příčný směr zkoušení a pro vzorky o měřené délce 5,65ÖS₀. 5) Pro ocel X2CrNiMo18-14-3 a výrobky C a H je pevnost 550-700 MPa.</p>																				
Minimální hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 při vyšších teplotách pro stav po rozpuštěním žhání podle EN 10088- 2.	Rp0,2 v MPa při teplotách ve ° C										Rp1,0 v MPa při teplotách ve ° C									
	X2CrNiMo17-12-2										X2CrNiMo18-14-3									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98	199	181	167	157	145	139	135	130	128	127
	X2CrNiMo18-14-3										X2CrNiMo18-14-2									
165	150	137	127	119	113	108	103	100	98	200	180	165	153	145	139	135	130	128	127	

Technické parametry CNC soustruhu SP 280 SY [47].

Pracovní prostor		
Oběžný průměr nad ložem	mm	570
Maximální délka soustružení	mm	490
Maximální průměr soustružení	mm	280
Maximální průchod tyče elektrovřetenem	mm	A6: Ø 61
Pojezdy os		
Osa X / Z	mm	194 / 640
Osa Y	mm	±50
Pravý vřeteník Zs	mm	725
Rychloposuv		
Osy X / Z	min ⁻¹	30 / 30
Maximální otáčky		
Elektrovřetenem	min ⁻¹	A6: 4700
Protivřetenem	min ⁻¹	A5: 6000
Nástrojová hlava		
Počet poloh	-	12
Průměr otvoru VDI	mm	40
Maximální otáčky nástrojového vřetená	min ⁻¹	4000
Motor vřetená		
Elektrovřetenem		
Výkon S1 / S6 – 40%	kW	20,9 / 27
Maximální krouticí moment S1 / S6 – 40%	Nm	200 / 257
Protivřetenem		
Výkon S1 / S6 – 40%	kW	7,5 / 9
Maximální krouticí moment S1 / S6 – 40%	Nm	48 / 57
Nástrojové vřetenem		
Výkon S3 – 60%	kW	8
Maximální krouticí moment S3 – 40%	Nm	40
Rozměry a hmotnost stroje		
Délka x šířka x výška	mm	3875 × 2122 × 2345
Hmotnost	kg	7900

Technické informace břitové destičky CNMG 120408E-SF [48].

Product Detail

Description	Value
EAN number	3603603163225
Product number (SAP)	80027748
Ordering code ANSI	CNMG 432-SF:T7325
Gross weight - grams	8
Inscribed circle diameter - millimeter (IC)	12.7 mm
Fixing hole diameter - millimeter (D1)	5.16 mm
Cutting edge length - millimeter (L)	12.9 mm
Insert thickness - millimeter (S)	4.76 mm
Grade	T7325
Corner radius - millimeter (RE)	0.8 mm
Insert Clearance Code and Angle	N 0°
Insert Design	CNMG
Insert size	12
Insert Thickness	04
Insert Type	G
Chipbreaker manufacturer's designation (CBMD)	SF
Insert shape code (SC)	C - rhombic 80° included angle
Tool Design	CN
Insert Geometry	Negative
ISO	CNMG120408E-SF:T7325

17.2.2023 10:39:32

Atest - Q4 TASMAN

Popis vzorku										
SampleNo	Ocel 17 349									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	<0.0020	0.489	1.724	0.019	0.018	16.30	1.872	11.40	0.578	<0.0010
2.	<0.0020	0.494	1.726	0.016	0.017	16.25	1.867	11.47	0.585	<0.0010
3.	<0.0020	0.480	1.730	0.016	0.016	16.30	1.855	11.45	0.596	<0.0010
4.	<0.0020	0.485	1.738	0.018	0.018	16.25	2.007	11.30	0.576	<0.0010
5.	<0.0020	0.490	1.734	0.018	0.016	16.28	1.887	11.35	0.570	<0.0010
↑										
□	<0.0020	0.488	1.730	0.017	0.017	16.28	1.898	11.39	0.581	<0.0010
↓										
σ		0.0053	0.0057	0.0014	0.00100	0.025	0.062	0.070	0.0099	
v		1.086	0.329	8.235	5.882	0.154	3.267	0.615	1.704	
	As	B	Co	N	Nb	Sn	Ti	V	W	Fe
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1.	0.0058	0.0019	0.156	0.120	0.019	0.0090	0.0029	0.057	0.048	67.17
2.	0.0049	0.0014	0.154	0.119	0.022	0.0076	0.0028	0.055	0.045	67.16
3.	0.0046	0.0012	0.154	0.116	0.021	0.0070	0.0031	0.055	0.050	67.14
4.	0.0054	0.0015	0.155	0.146	0.020	0.0083	0.0031	0.056	0.041	67.17
5.	0.0054	0.0015	0.155	0.167	0.025	0.0085	0.0030	0.056	0.040	67.19
↑										
□	0.0052	0.0015	0.155	0.134	0.021	0.0081	0.0030	0.056	0.045	67.17
↓										
σ	0.00047	0.00025	0.00087	0.022	0.0023	0.00079	0.00013	0.00087	0.0043	0.019
v	9.038	16.67	0.561	16.42	10.95	9.753	4.333	1.554	9.556	0.028

Atest nové oceli 17 349.

8.3.2023 15:32:40

Atest - Q4 TASMAN

Popis vzorku										
SampleNo	Ocel 17 349 nový vzorek									
	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Ni %	Cu %	Al %
1.	<0.0020	0.591	1.642	0.029	0.024	16.48	2.078	11.31	0.782	<0.0010
2.	<0.0020	0.589	1.686	0.028	0.024	16.44	2.091	11.44	0.773	<0.0010
3.	<0.0020	0.579	1.682	0.026	0.027	16.47	2.088	11.32	0.763	<0.0010
4.	<0.0020	0.587	1.684	0.027	0.028	16.44	2.111	11.39	0.770	<0.0010
5.	0.0072	0.574	1.687	0.027	0.032	16.52	2.091	11.29	0.752	<0.0010
↑										
□	0.0030	0.584	1.676	0.027	0.027	16.47	2.092	11.35	0.768	<0.0010
↓										
σ	0.0023	0.0072	0.019	0.0012	0.0033	0.033	0.012	0.063	0.011	
v	76.67	1.233	1.134	4.444	12.22	0.200	0.574	0.555	1.432	
	As %	B %	Co %	N %	Nb %	Sn %	Ti %	V %	W %	Fe %
1.	0.0057	0.0022	0.182	0.095	0.027	~0.012	0.0033	0.061	0.039	66.64
2.	0.0052	0.0022	0.181	0.096	0.030	~0.012	0.0033	0.062	0.040	66.49
3.	0.0048	0.0019	0.180	0.099	0.030	~0.011	0.0034	0.062	0.027	66.63
4.	0.0050	0.0021	0.180	0.110	0.032	~0.012	0.0035	0.063	0.042	66.51
5.	0.0055	0.0025	0.181	0.118	0.030	~0.013	0.0033	0.063	0.021	66.59
↑										
□	0.0052	0.0022	0.181	0.104	0.030	~0.012	0.0034	0.062	0.034	66.57
↓										
σ	0.00037	0.00022	0.00087	0.010	0.0018	0.00071	0.00010	0.00087	0.0093	0.069
v	7.115	10.00	0.481	9.615	6.000	5.917	2.941	1.403	27.35	0.104

Tabulka naměřených hodnot opotřebení.

Vzorek	Kritérium [mm]	Časové rozvržení [min]							Trvanlivost [min]	Druh opotřebení
		1. čas	2. čas	3. čas	4. čas	5. čas	6. čas	7. čas		
		5,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0		
A1	VBb	0,081	0,167	0,172	0,181	0,199	0,255	0,260	20,0	Dosažení kritéria opotřebení VBc, vznik plastické deformace
	VBc	0,073	0,142	0,225	0,253	0,322	0,418	0,610		
A2	VBb	0,132	0,218	0,269	0,327				14,0	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
	VBc	0,062	0,102	0,125	0,137					
B1	VBb	0,088	0,215	0,215	0,222	0,236	0,338		18,0	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
	VBc	0,092	0,131	0,205	0,228	0,286	0,519			
B2	VBb	0,113	0,113	0,139	0,148	0,229	0,296	0,328	18,5	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
	VBc	0,081	0,133	0,187	0,232	0,272	0,353	0,412		
C1	VBb	0,099	0,252	0,273	0,289	0,293	0,308		17,8	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
	VBc	0,079	0,143	0,215	0,282	0,344	0,386			
C2	VBb	0,164	0,167	0,174	0,211	0,255	0,308		18,0	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
	VBc	0,046	0,125	0,130	0,153	0,187	0,221			
D1	VBb	0,095	0,139	0,143	0,194	0,222	0,485		18,0	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
	VBc	0,063	0,132	0,159	0,205	0,317	0,405			
D2	VBb	0,129	0,146	0,171	0,181	0,215	0,215	0,323	20,0	Výmol na čele, vznik plastické deformace
	VBc	0,074	0,151	0,213	0,275	0,336	0,378	0,550		
E1	VBb	0,099	0,123	0,146	0,157	0,183			16,0	Výmol na čele, vznik plastické deformace
	VBc	0,086	0,122	0,163	0,255	0,506				
E2	VBb	0,127	0,134	0,160	0,164	0,238	0,269	1,183	19,0	Dosažení kritéria opotřebení VBb i VBc, výmol na čele
	VBc	0,064	0,137	0,169	0,205	0,284	0,348	1,806		
F1	VBb	0,099	0,116	0,150	0,167	0,234	0,583		18,0	Dosažení kritéria opotřebení VBc, výmol na čele
	VBc	0,072	0,142	0,195	0,251	0,316	1,708			
F2	VBb	0,106	0,130	0,137	0,178	0,293	0,723		17,0	Dosažení kritéria opotřebení VBb, vrub na ostří hlavního hřbetu
	VBc	0,053	0,117	0,132	0,167	0,198	0,218			

Hodnoty opotřebení VBb a drsnosti povrchu obrodku Ra.

Vzorek	Čas [min]						Průměr Ra [μm]
	5	10	12	14	16	18	
	Opotřebení hlavního hřbetu VBb [mm]						
Drsnost povrchu Ra [μm]							
A1	0,081	0,167	0,172	0,181	0,199	0,255	
	2,42	2,37	2,37	2,31	2,28	1,92	2,28
A2	0,132	0,218	0,269	0,327			
	1,95	2,01	1,99	2,07			2,01
B1	0,088	0,215	0,215	0,222	0,236	0,338	
	2,32	2,5	2,35	2,34	2,24	2,43	2,36
B2	0,113	0,113	0,139	0,148	0,229	0,296	
	2,17	2,24	2,12	2,09	2,77	4,55	2,66
C1	0,099	0,252	0,273	0,289	0,293	0,308	
	2,24	2,28	2,59	2,64	2,45	2,1	2,38
C2	0,164	0,167	0,174	0,211	0,255	0,308	
	2,16	2,17	2,18	2,11	1,92	2,02	2,09
D1	0,095	0,139	0,143	0,194	0,222	0,485	
	1,89	1,76	1,91	1,86	1,83	1,87	1,85
D2	0,129	0,146	0,171	0,181	0,215	0,215	
	1,75	1,89	1,74	1,56	1,48	1,01	1,57
E1	0,099	0,123	0,146	0,157	0,183		
	2,29	2,13	2,07	2,06	1,65		2,04
E2	0,127	0,134	0,160	0,164	0,238	0,269	
	2,07	1,88	1,88	1,96	2,08	2,27	2,02
F1	0,099	0,116	0,150	0,167	0,234	0,583	
	2,41	2,33	2,33	2,35	1,8	2,49	2,29
F2	0,106	0,130	0,137	0,178	0,293	0,723	
	2,31	2,22	2,71	2,16	2,14	2,22	2,29