



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**ANALÝZA OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ S BŘITY Z
CERMETŮ PŘI SOUSTRUŽENÍ**

ANALYSIS OF TOOL WEAR WITH CERMET CUTTING EDGES DURING TURNING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Ondřej Kunkela

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Ondřej Kunkela**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.**
Akademický rok: 2017/18

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:

Analýza opotřebení nástrojů s břity z cermetů při soustružení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce bude srovnání a analýza opotřebení nástrojů s břity z cermetů při obrábění uhlíkové oceli. Součástí práce bude návrh metodiky řezných zkoušek, analýza procesu obrábění 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 cermetů.

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. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

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

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

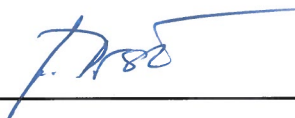
HUMÁR, A. a PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

KOCMAN, K. a 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 2017/18.

V Brně, dne 27. 10. 2017





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na porovnání cermetových materiálů, které mají být následně využity na výrobu břitů pro výstružníky. Obsahuje přehled současného stavu trhu s vystružovacími nástroji a dále také současný stav dodavatelů cermetových polotovarů. Praktická část je zaměřena na srovnání a analýzu opotřebení nástrojů s břity z cermetů při obrábění uhlíkové oceli. Jednotlivé cermety byly testovány simulací pracovních podmínek vystružování při technologické operaci podélným soustružením. Sledováno bylo opotřebení na hřbetě a drsnost povrchu. Výstupem práce je zpracování naměřených hodnot, z nichž je patrná trvanlivost jednotlivých testovaných cermetů.

Klíčová slova

Cermet, opotřebení, soustružení, vystružování.

ABSTRACT

This thesis focuses on comparison of cermet cutting materials, which are used to manufacture reamer cutting edges. It contains review of current market reamer tools and suppliers of cermet semi-finished products. Cermet cutting tips were used to machine parts from carbon steel and analysis was made to compare wearing of the tools from different suppliers. This test was conducted on turning machine in working conditions typical for reaming. During this test there were taken notes on the wear of the tools and surface roughness of the part. The output of this work is data processing, which indicates durability of each tested cermet.

Key words

Cermet, wearing, turning, reaming.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUNKELA, O. *Analýza opotřebení nástrojů s břity z cermetů při soustružení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 68 s., 1 příloha
Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „**Analýza opotřebení nástrojů s břity z cermetů při soustružení**“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

23.05.2018

Datum

Bc. Ondřej Kunkela

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu doc. Ing. Josefu Sedlákoví, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky.

Dále bych chtěl poděkovat společnosti FINAL Tools a.s., která mi vypracování diplomové práce umožnila, především statutárnímu řediteli panu Stanislavu Fialovi.

V neposlední řadě patří můj dík mé rodině a přátelům za podporu během celého studia.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 CERMETY	10
1.1 Nástrojové materiály.....	10
1.2 Historický vývoj.....	11
1.3 Výroba cermetů.....	12
1.4 Technologie povlakování	13
1.4.1 Fyzikální depozice z plynné fáze (Physical Vapor Deposition - PVD).....	13
1.4.2 Chemická depozice vrstev za asistence plazmatu (Plasma assisted Chemical Vapor Deposition - PACVD).....	14
1.4.3 Chemická depozice z plynné fáze (Chemical Vapor Deposition - CVD).....	14
1.5 Struktura a vlastnosti	15
2 PŘEHLED VÝROBCŮ VÝSTRUŽNÍKŮ A POLOTOVARŮ PRO JEJICH VÝROBU.....	17
2.1 Současný stav nabídky vystružovacích nástrojů z cermetů.....	17
2.1.1 SANDVIK CZ s.r.o.....	17
2.1.2 DIATOOLS, s.r.o.....	17
2.1.3 GÜHRING s.r.o.	19
2.1.4 Kennametal GmbH	20
2.1.5 Seco Tools CZ, s.r.o.	21
2.1.6 August Beck GmbH & Co. KG.....	22
2.1.7 MAPAL C&S s.r.o.....	24
2.1.8 FINAL Tools a.s.	27
2.2 Současný stav dodavatelů polotovarů pro výrobu výstružníků	29
3 OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ	35
3.1 Formy opotřebení	36
3.1.1 Otěr na hřbetě	36
3.1.2 Výmol na čele.....	38
3.1.3 Vydrolené ostří	38
3.1.4 Plastická deformace	38
3.1.5 Tvorba nárůstku	38
3.1.6 Opotřebení ve tvaru vrubu	39
3.1.7 Hřebenové trhliny	39
3.1.8 Únavový lom	40
3.1.9 Lom břitu nástroje.....	40
3.2 Kritéria opotřebení.....	41

3.3	Trvanlivost a životnost nástroje	43
3.4	Struktura povrchu	44
4	PRAKTICKÁ ČÁST	46
4.1	Řezné nástroje	46
4.2	Obráběný materiál	47
4.3	Volba řezných podmínek	47
4.4	Obráběcí stroj	48
4.5	Měřicí přístroje	49
4.6	Naměřené hodnoty	50
4.6.1	Cermet SC3	50
4.6.2	Cermet SC8	57
5	DISKUZE	61
	ZÁVĚR	62
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	66
	SEZNAM PŘÍLOH	68

ÚVOD

V dnešní době probíhá neustálý vývoj nových konstrukčních materiálů a obráběcích strojů, s tím je i spojený vývoj materiálů pro řezné nástroje, kterými by bylo možné tyto materiály vhodně a při správných řezných podmínkách obrábět. Dalším faktorem je zvyšující se tlak na produktivitu a spolehlivost. Vystružování bývá jednou z posledních operací během výroby součásti, a je proto velmi důležité, aby vystružený otvor splňoval dané požadavky. Dále se čím dál více rozmáhá vícestrojová obsluha, popř. nahrazování pracovníků roboty. Aby však bylo možné toto uskutečnit, je zapotřebí klást vysoký důraz právě na již zmíněnou spolehlivost obráběcího procesu. Zatím ne zcela prozkoumaným materiálem pro výrobu výstružníků je cermet, který v porovnání se slinutým karbidem není v praxi natolik využíván a na trhu řezných nástrojů zabírá pouze malou část. Aplikace cermetu je kvůli jeho nízké houževnatosti omezena pouze na lehké a střední řezy. Díky těmto vlastnostem je cermet vhodný například pro výrobu výstružníků.

Cílem této práce je otestovat dva nové druhy cermetů při obrábění uhlíkové oceli. Testování probíhalo pro firmu FINAL Tools a.s., která se zabývá výrobou výstružníků pro přesné obrábění otvorů převážně z cermetu. Firma odebírá cermetové polotovary od více dodavatelů a právě toto testování slouží jako první krok k zařazení těchto nových cermetových materiálů mezi jejich stávající materiály.

Testování cermetů bylo provedeno na soustruhu, konkrétně při technologické operaci podélné soustružení. Parametry obrábění, hloubka řezu a posuv, byly voleny, tak aby odpovídaly podmínkám při vystružování. Sledováno bylo opotřebení na hřbetě a drsnost povrchu. Výstupem práce jsou charakteristiky znázorňující opotřebení na hřbetě a drsnost povrchu v závislosti na čase.

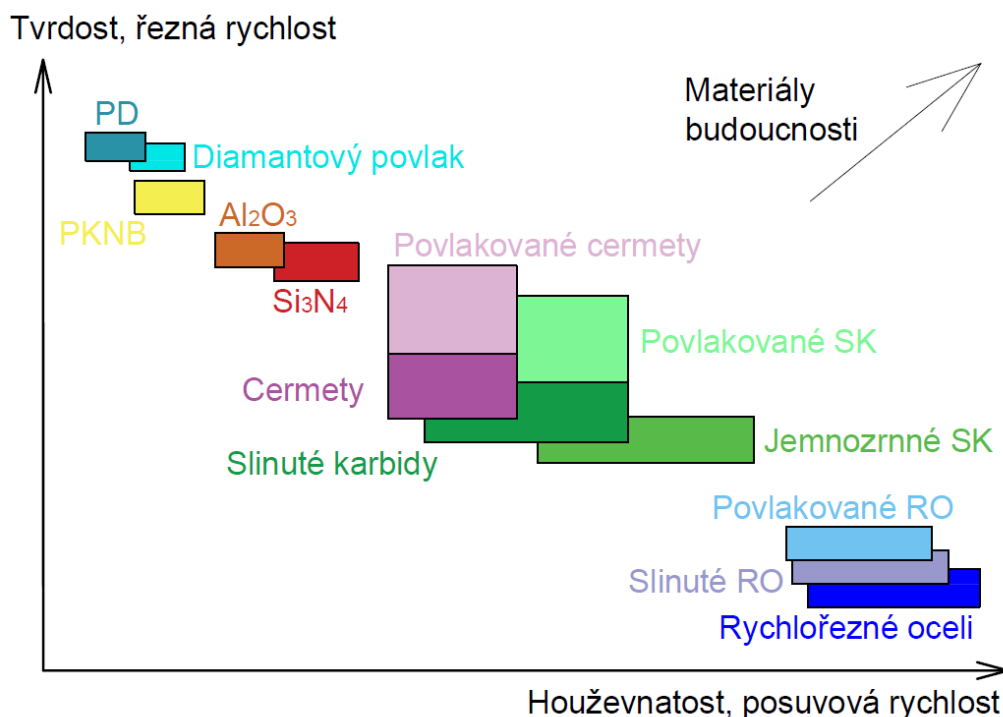
1 CERMETY

V této kapitole je blíže rozebrán nástrojový materiál cermet, který byl použit v praktické části diplomové práce. Konkrétně jeho zařazení mezi nástrojové materiály, historický vývoj, výroba, povlakování, struktura a vlastnosti.

1.1 Nástrojové materiály

V dnešní době je možné se setkat s poměrně širokým sortimentem materiálů pro řezné nástroje, a to od nástrojových ocelí, slinutých karbidů až po syntetický diamant. To vše díky celosvětovému dlouholetému intenzivnímu výzkumu a vývoji v dané oblasti, úzce související s rozvojem konstrukčních materiálů vhodných pro obrábění a dále pak s vývojem nových obráběcích číslicově řízených strojů [1].

Hlavní oblasti aplikace všech současných materiálů určených pro řezné nástroje jsou uvedeny na obr. 1.1 a jsou vyjádřeny vztahem mezi základními řeznými podmínkami (posuvová rychlost-řezná rychlost), který také odpovídá vztahu mezi jejich základními vlastnostmi (houževnatost-tvrdość) [1].



Obr. 1.1 Oblast použití nástrojových materiálů [1].

Super tvrdé materiály, jako jsou polykrystalický diamant (PD) a polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB), mají díky svým vlastnostem a vysoké ceně oproti ostatním materiálům specifické použití. PD je používán převážně pro obrábění vláknově vyztužených kompozitů a hliníkových slitin, u kterých se lze pohybovat s řeznou rychlostí až okolo hodnoty $5\,000\text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Diamant je v podstatě uhlík v kubické modifikaci a vzhledem ke své vysoké afinitě k železu není vhodný pro obrábění ocelí ani litin. Za pomoci PKNB se obrábí tvrdé a kalené materiály s tvrdostí min. 45 HRC [1].

Řeznou keramikou lze rozdělit dle báze na Al₂O₃ a Si₃N₄. Keramika na bázi Al₂O₃ je z důvodu vysoké tvrdosti za tepla, vysoké termomechanické stability, avšak nízké

houževnatosti užívána pro obrábění vysokou řeznou rychlostí a nízkou posuvovou rychlostí. Oproti tomu řezná keramika na bázi Si_3O_4 vyniká vysokou houževnatostí a lze použít vyšší posuvovou rychlost než u keramiky na bázi Al_2O_3 . Využívá se pro obrábění všech druhů litin [1, 2].

Slinuté karbidy (SK) jsou nejpevnější materiály mezi tvrdými nástrojovými materiály a jsou využívány pro obrábění, kde je vyžadováno vysokých posuvových rychlostí a přerušovaných řezů. Z důvodu své nízké termomechanické stability nejsou využívány pro vysoké řezné rychlosti. Zejména jsou využívány pro obrábění hliníku, žárupevných a Ti slitin [1, 3, 5].

Povlakované slinuté karbidy jsou vyráběny tak, že na původní materiál (SK) je nanášena tenká vrstva, která se vyznačuje vysokou tvrdostí a dobrou odolností proti opotřebení. Díky těmto vlastnostem jsou nejčastěji využívány pro vysoké řezné i posuvové rychlosti, přerušované řezy a vysoký úběr materiálu [1, 4].

Rychlořezné oceli jsou v porovnání s ostatními materiály vysoce houževnaté, ale jejich tvrdost je poměrně nízká. Z těchto důvodů jsou využívány na výrobu tvarově složitých nástrojů, které by nebylo možné vyrobit z ostatních řezných materiálů, a pro obrábění nízkými řeznými rychlostmi [1].

Cermety mohou být oproti řezné keramice použity pro vyšší posuvové rychlosti. Řezná rychlost je obdobná jako u povlakovaných slinutých karbidů. Pro jejich nízkou houževnatost je jejich aplikace omezena pouze na lehké a střední řezy. V případě vyšších posuvů dochází u cermetů vlivem nižší tepelné vodivosti k vyšší koncentraci tepla v oblasti špičky, vedoucí k rychlému plastickému porušení břitu nástroje. Nástroje jsou vhodné pro obrábění litin, ocelí, ocelí na odlitky a neželezných kovů [1, 6].

1.2 Historický vývoj

Cermet je materiál, jehož název vznikl složením slov „CERamics“ a „METal“ a jeho mechanické vlastnosti by měly vykazovat výhodnou kombinaci tvrdosti keramiky a houževnatosti kovů. Ve skutečnosti se tyto vlastnosti od tohoto předpokladu podstatně liší a název patrně vznikl na základě nadšené reakce objevitelů, protože materiál takových vlastností nebyl doposud vyroben. V oboru řezných nástrojů jsou jako slinuté karbidy nazývány slinuté materiály s tvrdou fází WC, zatímco slinuté materiály s tvrdou fází, která je tvořena zejména TiN, TiC nebo TiCN se označují jako cermety. Občas bývají cermety nazývány jako slinuté karbonitridy nebo slinuté karbidy na bázi titanu [7, 8].

První cermety byly vyvinuty rakouskou firmou Plansee, která i dnes přetrvává jako součást firmy Caratizit, a byly navrženy tak, aby obešly patenty německé firmy Krupp, které byly v té době platné. Tento cermet nesl označení Titanit S [7, 9].

První generace prakticky použitelných cermetů byla v USA k dispozici již v polovině 50. let, ale z důvodu nedostatečné houževnatosti nevyvolala příliš velkou pozornost ani v USA, ani v Evropě. Naopak tomu však bylo v Japonsku, kde byl cermet uznáván jako levný a lehce dostupný materiál pro řezné nástroje, protože ve většině případů neobsahoval kobalt ani wolfram. K největšímu vývoji cermetů, jak je dnes známe, došlo v Japonsku, kde se staly velmi populárním a využívaným materiálem. Vzhledem k tomu na konci 80. let v japonském průmyslu zastávaly cermety více než jednu čtvrtinu všech vyráběných břitových destiček. K tak velkému vývoji cermetů došlo především z důvodu nedostatku wolframu na japonském trhu a dále pak díky tomu, že v důsledku zdokonalování se cermety osvědčily jako vhodný řezný

materiál pro dokončovací obrábění při vysokých rychlostech. To vedlo v polovině 80. let k opětovnému zájmu o tento materiál ze strany USA i Evropy [6, 7].

V polovině 60. let minulého století byly na trh uvedeny cermety na bázi TiC. Vynalezeny však byly již v roce 1931, ale rozvoj ve vývoji a produkci nastal až po systematickém výzkumu vedeném Kiefferem a jeho spolupracovníky v letech 1968 až 1970. Po tomto roce bylo vyvinuto mnoho dalších druhů cermetů [7].

U cermetů lze dosahovat v porovnání s konvenčními SK vyšší řezné rychlosti, protože TiC obsažený v cermetech je termomechanicky stabilnější než WC použitý u SK. První generace cermetů TiC-Mo-Ni a TiC-Mo₂C-Ni, u kterých v porovnání s SK byla houževnatost a odolnost proti vydrolování nižší, byla oblast využití omezena pouze na oblast lehkého řezání. V současné době jsou tyto slitiny užívány na konkrétní řezné nástroje jen ve velmi malém rozsahu [7].

V 70. letech 20. století byla věnována velká pozornost při výrobě cermetů zvyšování pevnosti a odolnosti proti vydrolování. Ke zlepšení těchto vlastností docházelo přidáním TaC a WC, což vedlo k rozšíření oblasti užití na soustružení středními hodnotami posuvové rychlosti a lehké frézování. Toto zlepšení vlastností upevnilo pozici cermetů v oblasti soustružení a hlavní aplikace druhé generace cermetů byla více zaměřena na obrábění vyšším posuvem a nižší rychlostí, oproti původnímu doporučení obrábět vysokými rychlostmi [7].

Další generace cermetů je založena na kombinaci TiC-TiN, přičemž v polovině 70. let byl podíl TiC postupně nahrazován nitridem titanu. Přidání TiN vedlo ke zmenšení velikosti zrn tvrdé fáze a došlo ke zvýšení tvrdosti. To však mělo negativní dopad na zvýšení pórovitosti v důsledku menší smáčivosti TiN, které vedlo ke snížení ohybové pevnosti. Pokud se však povedlo vyrobit materiál bez těchto defektů, při přidání 15 % TiN, došlo ke zvýšení vlastní pevnosti slitiny. Dodržením a pečlivým řízením výrobního procesu lze eliminovat případné póry, a cermety typu TiC-TiN se tak stávají velmi výhodným řezným materiálem. Oproti předchozím generacím cermetů má tato generace vyšší odolnost proti opotřebení a vydrolování, z toho důvodu je většina současných cermetů založena na bázi TiC-TiN. Na počátku vývoje se obsah TiN v materiálech pohyboval pod hranicí 10 %, ale postupným zdokonalováním výrobních technologií se zvýšil až nad hranici 25 %. Široké využití těchto materiálů na řezné nástroje umožnil právě rozvoj cermetů typu TiC-TiN [7].

Dobrá odolnost a nízká náchylnost k reakci s obráběným materiálem, při srovnání s WC, dělá cermety velmi rozšířenými řeznými materiály a to především pro dokončovací obrábění [7].

1.3 Výroba cermetů

Technologie výroby cermetů (obr. 1.2) je obdobná jako výroba slinutých karbidů. Jedná se tedy o práškovou metalurgii. Ta se zabývá výrobou předmětů ze směsí kovových i nekovových prášků, které se lisují a slinují za teplot nižších, než je teplota tavení. Prášková metalurgie se využívá všude tam, kde z důvodu složitosti, náročnosti popř. množství výrobků nelze použít klasické způsoby výroby. Výrobu lze rozdělit na tyto základní operace [7, 6, 10]:

- přípravu prášku,
- lisování,
- slinování,
- finální úpravy, jako jsou např. broušení a povlakování.



Obr. 1.2 Schéma výroby cermetů [11].

1.4 Technologie povlakování

Vytváření velmi odolné vrstvy na povrchu součástí, při zachování již hotové geometrie nástrojů. Výrobní náklady na povlakování tvoří obvykle pouze zlomek ceny nástroje. U povlakovaných nástrojů lze zvýšit podmínky zatížení nebo prodloužit jejich životnost [12].

1.4.1 Fyzikální depozice z plynné fáze (Physical Vapor Deposition - PVD)

Před samotným povlakováním je potřeba provést dokonalé očištění a odmaštění povrchu nástroje. K odmaštění povrchu dochází za pomoci mírně alkalických roztoků, ultrazvukové lázně a oplachování. Následně je povrch sušen proudem teplého vzduchu nebo nahříván v sušičkách [13].

Samotné povlakování probíhá ve vysokém vakuu 0,01 až 10 Pa, při teplotách okolo 250 až 550 °C. Kov např. titan je v komoře převeden do stavu páry a přidáním reakčního plynu dochází k vytváření tenkého, tvrdého a mimořádně přilnavého povlaku. Tento povlak má vysokou odolnost a nízký koeficient tření. Tloušťka vrstvy se pohybuje mezi 2 až 8 μm. Jednotlivé metody se od sebe liší pouze způsobem odpařování. Doba trvání povlakování větších dílů a forem se pohybuje mezi 4 až 12 hodinami [6, 14, 15].

Povlaky jsou používány nejčastěji jako tepelné bariery na řezných nástrojích. Prodlužují tak životnost nástrojů a umožňují obrábět houževnaté a tvrdé materiály. Další využití našly i v medicíně, kde jsou nanášeny na kloubní náhrady, zubní protézy atd. Lze je použít i k dekorativním účelům např. dveřní a nábytkové kování [13].

Výhodou oproti metodě CVD je ostřejší břit a nízká teplota povlakování, díky které lze povlakovat i materiály jako jsou mosaz nebo hliník [15].

Běžně používané druhy povlaku

- TiN (nitrid titanu) - nejdéle používaný povlak (zlaté barvy), který lze aplikovat téměř ve všech případech. Má dobrou elasticitu a adhezi.

- TiAlN (titan aluminium nitrid) - povlak růžovofialové až černošedé barvy. Vykazuje výbornou odolnost proti vysokým teplotám a je ideální pro vysokorychlostní obrábění. Zajímavou vlastností TiAlN povlaku je, že vytváří povrchovou vrstvu Al_2O_3 , která při řezu snižuje tření, zvyšuje difúzní odolnost a zlepšuje řezné vlastnosti [13].

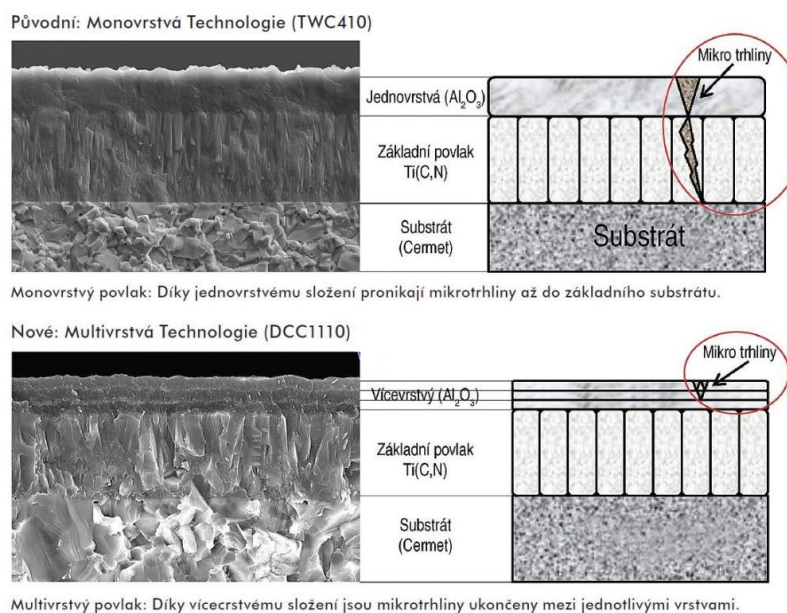
1.4.2 Chemická depozice vrstev za asistence plazmatu (Plasma assisted Chemical Vapor Deposition - PACVD)

Oproti metodě CVD probíhá povlakování nástrojů při mnohem menších teplotách. Pomocí plazmy je aktivován CVD proces, který umožňuje vznik vrstvy na substrátu již za teplot 470 až 530 °C. Tloušťka vrstvy povlaku se pohybuje od 2 do 16 μm . Povlakování nástrojů probíhá až po konečném zušlechťení na požadovanou tvrdost a během procesu povlakování nedochází ke změnám rozměru. Tato metoda umožňuje povlakování dutin. Součásti povlakovány pomocí PACVD se vyznačují extrémně nízkým koeficientem tření (až 0,1) [14].

1.4.3 Chemická depozice z plynné fáze (Chemical Vapor Deposition - CVD)

Během procesu je povlakovaný předmět ohřát ve směsi plynů, které na jeho povrchu reagují, a vytváří tak pevnou vrstvu. Tloušťka vrstvy je oproti metodě PVD větší a pohybuje se mezi 8 až 16 μm . Aby chemická reakce proběhla rovnovážně, je potřeba udržovat povlakovaný předmět na dané teplotě, která se pohybuje mezi 800 až 1 000 °C. Právě tyto vysoké teploty poskytují výhody s ohledem na difuzi, relaxaci a přilnavost na podkladový materiál. Proces je ekonomicky nejvýhodnější pro tvorbu silných vrstev a je vhodný pro povlakování nepřístupných dutin a drážek [6, 14, 16].

Pro povlakování cermetů se v poslední době objevil nový multivrstvý povlak, který nese název Dragonskin. Jedná se o povlak společnosti WNT, která se rozhodla nahradit svůj původní monovrstvý povlak (jednovrstvý Al_2O_3) multivrstvým povlakem (vícevrstvý Al_2O_3). Oba tyto povlaky se nanáší na podkladový základní povlak Ti (C, N). Multivrstvý povlak Al_2O_3 zabezpečuje odolnost proti otěru, zatímco spodní základový povlak zajišťuje houževnatost a dobrou přilnavost k substrátu a vrchnímu povlaku. Aplikování vícevrstvého povlaku zvyšuje odolnost proti vzniku mikrotrhlin a jejich šíření, což vede k prodloužení životnosti a zvýšení spolehlivosti procesu. Oba výše zmíněné povlaky jsou zobrazeny na obr. 1.3 [17].



Obr. 1.3 Porovnání jednovrstvého a vícevrstvého povlaku [17].

V tab. 1.1 je zobrazeno porovnání jednotlivých metod povlakování.

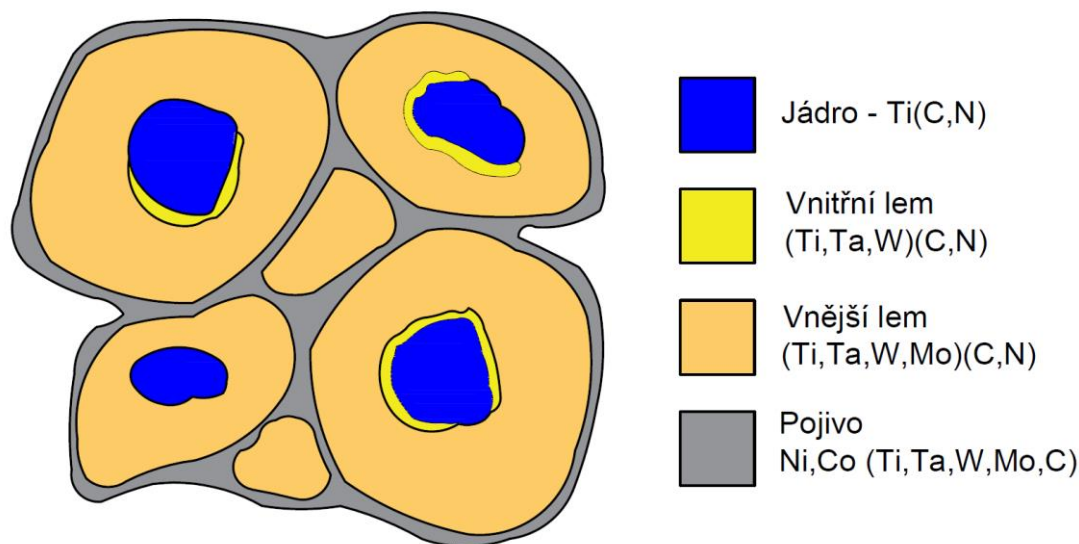
Tab. 1.1 Porovnání jednotlivých metod povlakování [6, 14, 15, 16].

Metody povlakování	Tloušťka vrstvy [mm]	Teplota procesu [°C]	Možnost povlakovat otvory	Ostrý břit
PVD	2 až 8	250 až 550	pouze omezeně	ano
CVD	8 až 16	800 až 1 000	ano	ne
PACVD	2 až 16	470 až 530	ano	ano

1.5 Struktura a vlastnosti

Struktura

Oproti slinutým karbidům typu WC-Co je mikrostruktura cermetů na bázi Ti (C, N) mnohem složitější a je značně ovlivněna složením výchozích prášků, velikostí částic, rozložením velikosti částic a slinovací atmosférou. Cermety jsou obecně složeny ze dvou fází, první je tvrdá fáze (karbonitrid titanu) a druhou složkou je kovové pojivo (Ni nebo Co, nebo jejich směs). Pojivo slouží ke spojení tvrdé fáze a zajišťuje houževnatost a odolnost proti teplotním šokům. Na obr. 1.4 lze pozorovat, že karbonitridovaná zrna vykazují typickou strukturu jádro-plášť [7].



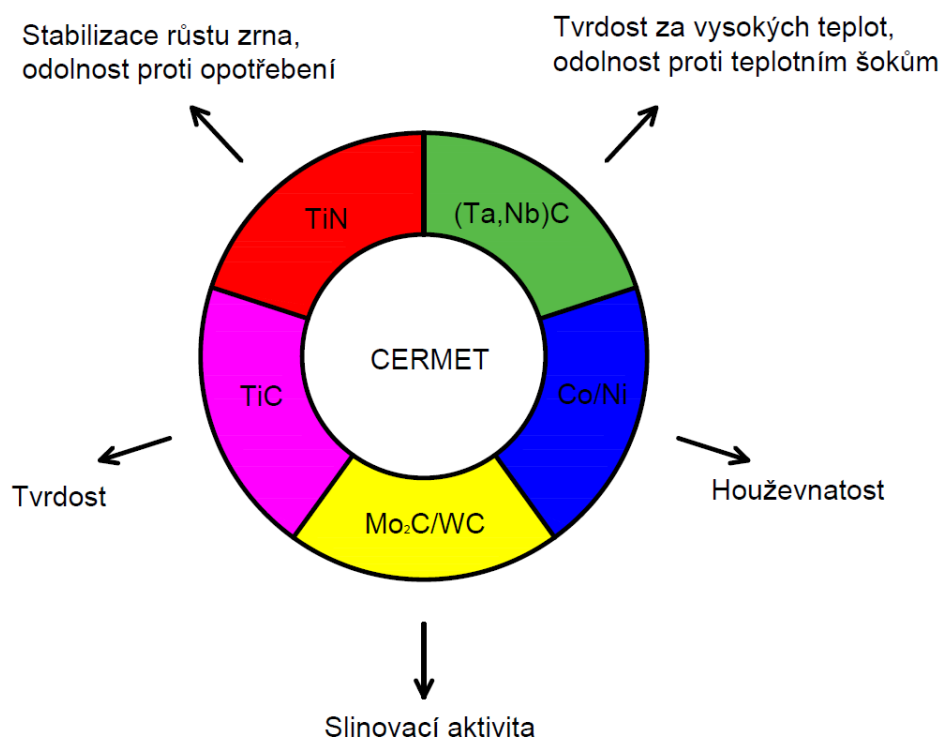
Obr. 1.4 Schéma struktury cermetů [7].

Vlastnosti cermetů

Cermety se vyznačují nízkou měrnou hmotností (5.6 až $7,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$), což je zhruba polovina měrné hmotnosti slinutých karbidů. Podobně jako keramika mají i cermety nízkou houževnatost, která se sice neustále zvyšuje, ale i tak nedosahuje hodnot obvyklých u slinutých karbidů. Jednou z možných cest, jak dosáhnout lepších mechanických vlastností cermetů, je snížit velikost zrna tvrdých strukturních složek. Obecně materiály s jemným zrnem vykazují vyšší tvrdost, pevnost v ohybu a lomovou houževnatost [4].

Starší cermety obvykle obsahovaly směs kovů (Ti, Ta, V, N, Mo, Nb, N, WC a Co) a za účelem uspokojivých výsledků byly tyto materiály různě kombinovány. Přidáním kobaltu do pojiva (Ni) dochází ke snížení rozpustnosti Ti v Ni a stabilizaci karbonitridů. U některých druhů cermetů se za účelem zvýšení pevnosti pojiva přidává do pojiva molybden.

V dnešní době byl kobalt nahrazen chromem, který zvyšuje smáčivost, houževnatost, odolnost proti oxidaci a vysokoteplotní pevnost. Tím se dosáhlo širší oblasti použití, vyšší bezpečnosti při obrábění a odolnosti proti oxidaci. Byl zlepšen odpor k tepelnému praskání, zvýšena trvanlivost ostří a schopnost vykonávat přerušované operace. Vliv jednotlivých výchozích materiálů na vlastnosti cermetů je zobrazen na obr. 1.5 [4].



Obr. 1.5 Vliv výchozích materiálů na výsledné vlastnosti [4].

2 PŘEHLED VÝROBCŮ VÝSTRUŽNÍKŮ A POLOTOVARŮ PRO JEJICH VÝROBU

Tato kapitola je rozdělena do dvou částí s tím, že v první části je zmapován aktuální stav trhu s výrobci cermetových výstružníků a ve druhé část je proveden průzkum trhu s výrobci cermetových polotovarů.

2.1 Současný stav nabídky vystružovacích nástrojů z cermetů

V této kapitole jsou uvedeny společnosti zabývající se výrobou výstružníků z cermetů. U každého výrobce jsou vždy popsány standardně nabízené výstružníky.

2.1.1 SANDVIK CZ s.r.o.

Společnost SANDVIK CZ s.r.o. je jedním z předních světových dodavatelů nástrojů. Díky investicím do výzkumu a vývoje vytváří unikátní technické novinky. Patří k nejvýznamnějším světovým výrobcům v automobilovém a leteckém průmyslu [18].

Ve své nabídce má jeden typ výstružníku odpovídající daným požadavkům, a to výstružník s pájenými břity z cermetu, který je uveden níže.

- CoroReamer 830

Jedná se o nástroj (obr. 2.1) jehož modulární konstrukce s vyměnitelnými řeznými hlavami, umožňující jejich snadnou výměnu, přičemž nástroj zůstává stále upnutý ve vřetenu. Vyměnitelná řezná hlava je uchycena, pomocí přesné kuželové spojky, v nástrojovém držáku. Tato kuželová spojka zaručuje maximální radiální házení menší než 3 μm [18].



Obr. 2.1 Modulární konstrukce s výměnou hlavou [18].

Nástroj má připájeny břity z cermetu třídy P10R. Ke všem těmto břitům je zvlášť přiváděna řezná kapalina, která velmi efektivně odvádí třísky. Vystružené díry dosahují tolerance H7. Je dodáván v krátkém a dlouhém provedení stopky. Rozmezí vystružovaných průměrů je 10,00 až 31,75 mm [18].

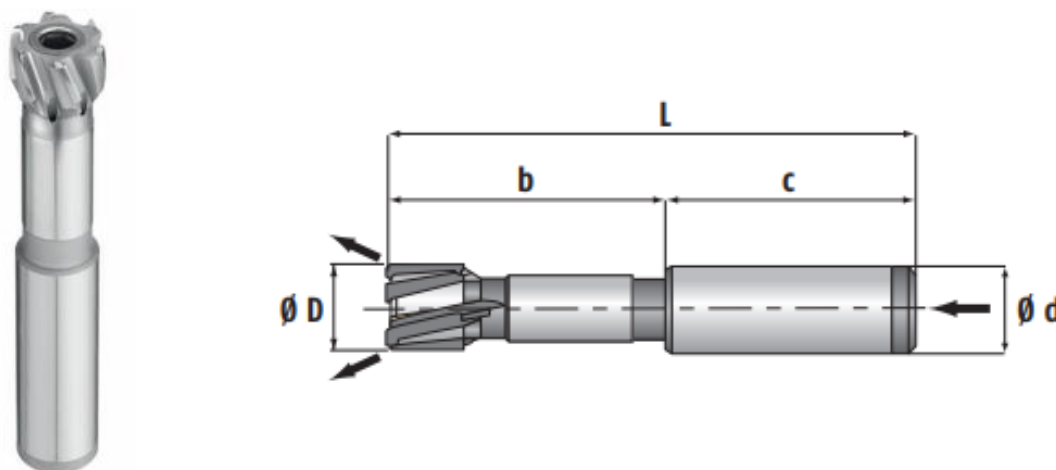
Slouží k obrábění ocelí, modulární litiny a dále pak temperované litiny. Umožňuje obrábět průchozí díry, skloněné povrchy a křížící se otvory. [18].

2.1.2 DIATOOLS, s.r.o.

DIATool, s.r.o. je německá společnost, s více než 35letou zkušeností, zabývající se výrobou výstružníků. V její nabídce jsou jak výstružníkové hlavy, tak i monolitní výstružníky [19].

- Monolitní výstružníky

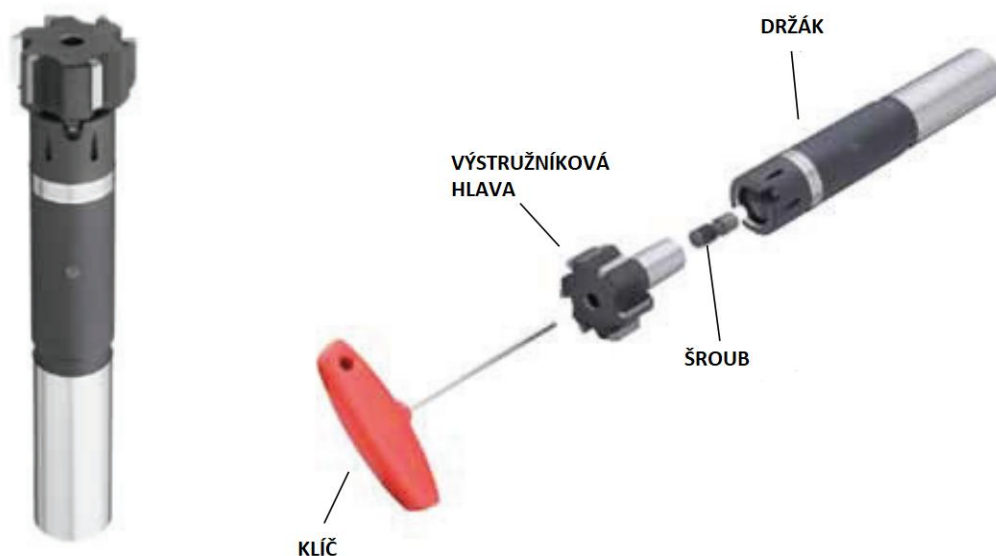
Jsou velmi pevné díky svému monolitnímu designu. Dodávají se v dlouhé a krátké verzi, s vnitřním nebo bez vnitřního přívodu řezné kapaliny, s povlakem nebo bez povlaku. Rozmezí průměrů těchto monolitních výstružníků se pohybuje 5,600 až 60,599 mm. Přesnost vystružených děr dosahuje tolerance H7. Umožňují obrábět průchozí, neprůchozí a křížící se otvory. Ukázka monolitního výstružníku je na obr. 2.2 [19].



Obr. 2.2 monolitní výstružník firmy DIATOOL [19].

- Výstružníkové hlavy

Obdobně jako monolitní výstružníky jsou i výstružníkové hlavy dodávány s povlakem i bez povlaku a dosahují tolerance otvorů H7. Hlavu lze jednoduše a rychle vyměnit. Držáky jsou k dispozici ve dvou variantách (dlouhé a krátké) a umožňují vedení řezné kapaliny. Rozmezí průměrů výstružníkových hlav se pohybuje 9,600 až 60,000 mm. Umožňují obrábět průchozí, neprůchozí a křížící se otvory. Ukázka výstružníku s výměnou hlavou je na obr. 2.3 [19].



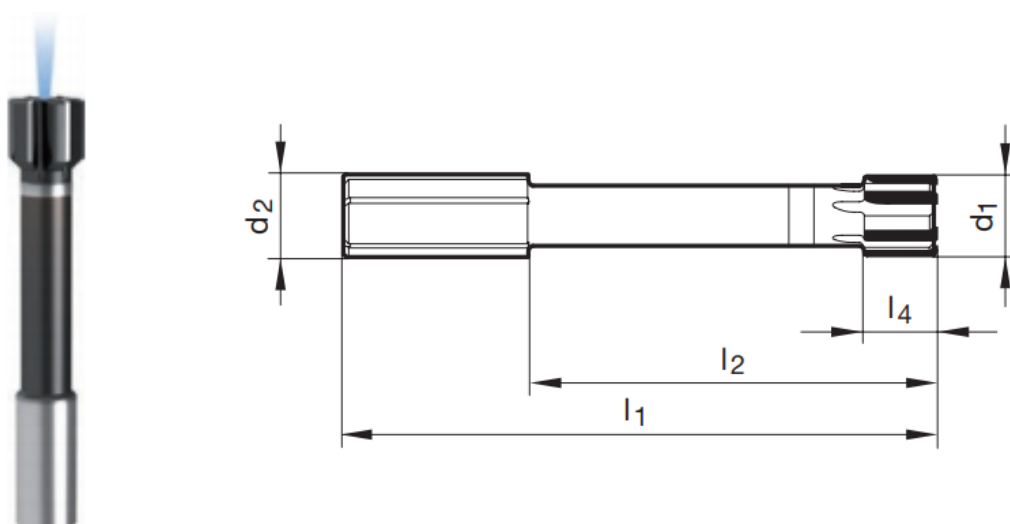
Obr. 2.3 Výstružník s výměnnou hlavou firmy DIATOOL [19].

2.1.3 GÜHRING s.r.o.

Společnost GÜHRING s.r.o. je jedním z předních světových výrobců rotačních přesných nástrojů pro obrábění kovů. Společnost zaměstnává více než 8 000 zaměstnanců po celém světě. GÜHRING s.r.o. je přítomen ve všech důležitých technických oblastech, jako je automobilový průmysl, letecký průmysl nebo ve strojírenství, obecně u výroby nástrojů. Monolitní výstružníky vyrábí firma pouze ze slinutých karbidů. Cermety využívají dva typy výstružníků (HR 500 G a HR 500 GR) [20].

- HR 500 G

Jeho špička je osazena cermetem. Dosahuje přesnosti otvorů H7 a rozmezí průměrů se pohybuje 5,9 až 40,1 mm. Procesní kapalina je přiváděna do řezu vnitřním otvorem. Výstružník je vhodný pro obrábění oceli a litiny. Standardně jsou vyráběny ve dvou provedeních a to jak pro průchozí otvory, tak i pro slepé otvory. Výstružník je znázorněn na obr. 2.4 [20].



Obr. 2.4 Výstružník HR 500 G [20].

- HR 500 GT

Výstružníkové hlavy HR 500 GT (obr. 2.5) jsou dostupné jako polostandardní řada s krátkými dodacími časy. Rozsah průměrů se pohybuje od 40,0 do 76,2 mm. Hlavy jsou k dostání s břitovými destičkami z cermetu a slouží k obrábění oceli a tvárné litiny GGG 40/50. Procesní kapalina je přiváděna přímo na ostří. Díky své ploché konstrukci se hodí na obrábění slepých otvorů, ale k dodání je i ve verzi pro průchozí otvory [20].



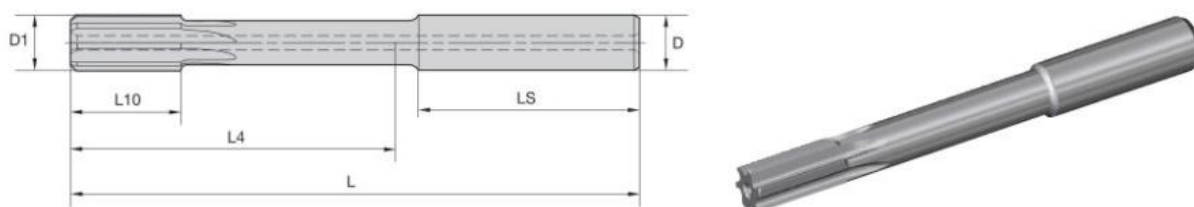
Obr. 2.5 výstružník HR 500 GT firmy Guhring [20].

2.1.4 Kennametal GmbH

Společnost byla založena v roce 1938 a v dnešní době zaměstnává více než 11 000 osob po celém světě. Zaměřuje se na oblasti letectví, strojírenství, energetiky a dopravy. Dále se zabývá inovacemi v oblasti materiálů, vědy, nástrojů a jejich opotřebení [21].

- Vícebřité výstružníky RMS (obr. 2.6)

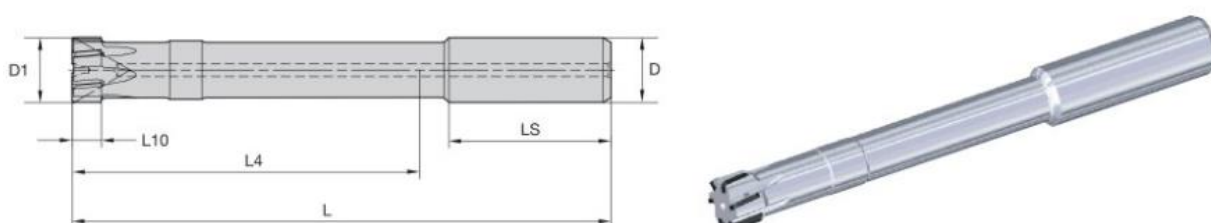
Standardně jsou tyto výstružníky vyrobeny z karbidu, avšak na vyžádání mohou být vyrobeny i z cermetu. Možnost obrábět průchozí, slepé a křížící se otvory. Rozmezí průměrů se pohybuje 5 až 14 mm. Lze vystružovat otvory v toleranci IT6 až 7 [21].



Obr. 2.6 Vícebřítý výstružník [21].

- RMB výstružníky s cermetovými pájenými břity (obr. 2.7)

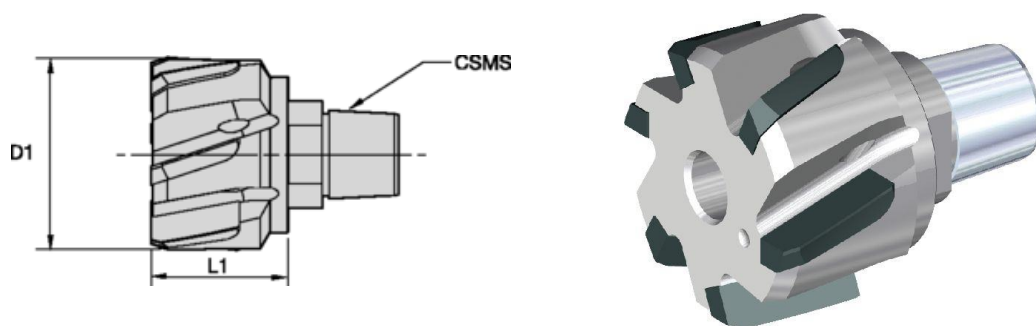
Vícebřité výstružníky RMB jsou osazeny pájenými cermetovými polotovary a to v rozsahu 14 až 20 mm. Jako speciální nástroje jsou výstružníky až do průměru 50 mm. Tyto výstružníky dosahují vynikající životnosti nástroje a jakosti povrchu při obrábění ocelí. Životnost nástroje je zlepšena díky lapovaným vodítkům. Díky nerovnoměrnému rozprostření břitů dosahují výstružníky nižších vibrací, přesnější přímosti a válcovitosti děr. Přesnost otvorů je IT6 až 7. Možnost obrábět průchozí, slepé a křížící se otvory [21].



Obr. 2.7 Výstružník s cermetovými pájenými břity [21].

- Modulární výstružníky RHM s pájenými cermetovými břity (obr. 2.8)

Modulární výstružníky jsou osazeny pájenými cermetovými polotovary a to v rozsahu 14 až 42,5 mm. Dosahují vyšší jakosti obrobeneho povrchu a životnosti nástroje díky nižšímu sklonu k vibracím. Oproti konkurenčním vystružovacím nástrojům umožňují vyšší rychlosti posuvu. Obdobně jako výše uvedené výstružníky jsou i tyto určeny k obrábění průchozích, slepých a křížících se otvorů a to v toleranci IT6 až 7 [21].



Obr. 2.8 Modulární výstružník RHM [21].

2.1.5 Seco Tools CZ, s.r.o.

Švédská společnost Seco Tools CZ, s.r.o. je jedním z předních světových dodavatelů v oblasti kompletních řešení pro operace frézování, soustružení, závitování a obrábění otvorů. Společnost již více než 80 let úzce spolupracuje s výrobcí ze všech průmyslových odvětví [22].

- Precimaster Plus (obr. 2.9)

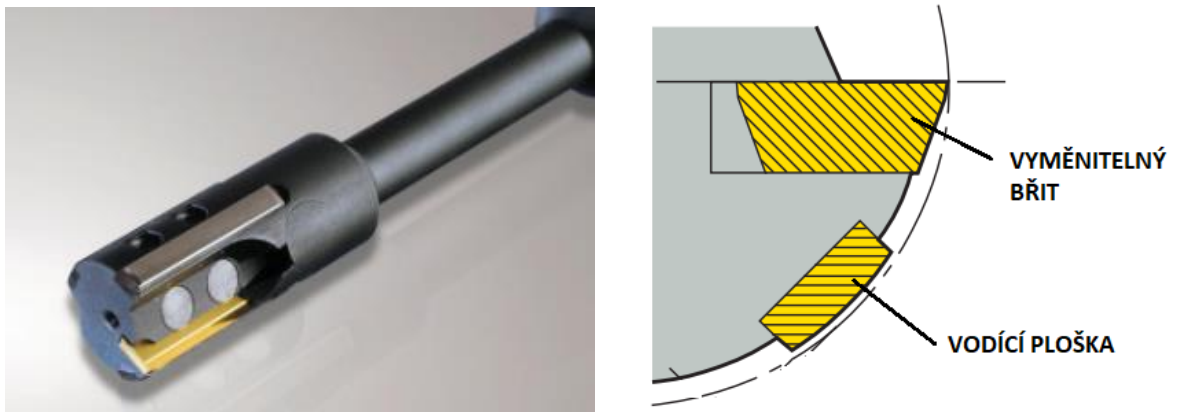
Jedná se o modulární výstružníkový systém, díky kterému je dosaženo vyšší rychlosti vystružování, lepší stability a větší všestrannosti. Upínací systém umožňuje rychlou a snadnou výměnu vystružovací hlavy (průměr 10 až 60 mm), opakovatelnou přesnost její výměny. Díky těmto vylepšením je možné dosáhnout tolerance IT6 až 8. K dostání v pěti variantách řezných hlav výstružníků včetně povlakovaných a nepovlakovaných karbidu a cermetu [22].



Obr. 2.9 Výstružník Precimaster Plus [22].

- BIFIX nastavitelný výstružník s jedním břitem (obr. 2.10)

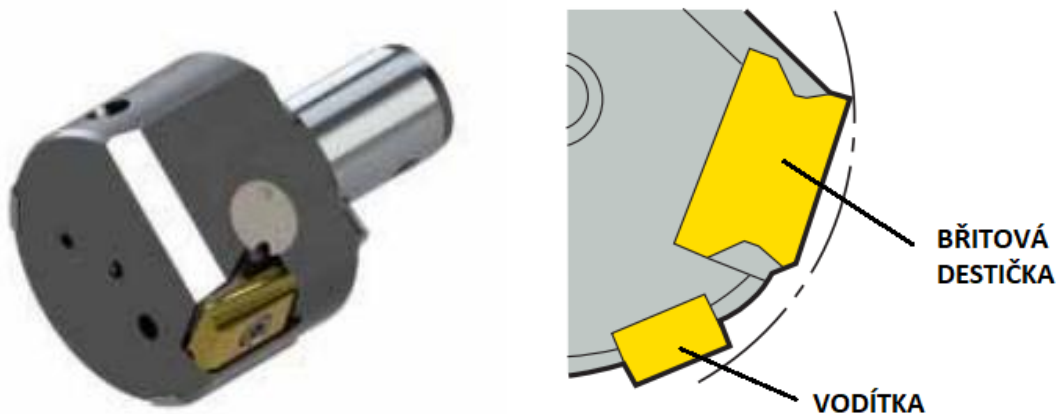
Výstružník přináší vysokou přesnost pro všechny skupiny materiálů obrobku. Díky třem cermetovým vodícím ploškám a přesnému nastavovacímu systému lze dosahovat tolerance otvorů IT6 a jakost povrchu Ra 0,25. Vyměnitelné břity mají dvě ostří, a představují tak velmi úsporné řešení. Rozmezí průměrů se pohybuje pro výstružníky určené na průchozí díry 5,900 až 60,500 mm a pro neprůchozí díry 7,875 až 60,500 mm. Výstružníky jsou určeny k obrábění průchozích i slepých otvorů [22].



Obr. 2.10 BIFIX nastavitelný výstružník [22].

- PRECIFIX nastavitelný výstružník s jedním břitem (obr. 2.11)

Vysoce přesné výstružníky umožňující dosahovat tolerance otvorů IT6 až 7 a vysoké jakosti povrchu při zpracování různých materiálů obrobku. To vše díky dvojitému náběžnému úhlu a stabilnímu upínacímu systému. Obdobně jako BIFIX výstružník má břit dvě ostří, díky kterým představují výstružníky úsporné řešení. Rozsah průměru je 11,750 až 60,500 mm. Výstružníky jsou určeny k obrábění průchozích i slepých otvorů [22].



Obr. 2.11 PRECIFIX nastavitelný výstružník [22].

2.1.6 August Beck GmbH & Co. KG

Společnost založena 1906 Augustem Beckem. V dnešní době je specialistou na jemné obrábění otvorů pomocí výstružníků. Díky dlouholetým zkušenostem a speciálnímu known-how získala svou pozici v oblasti automobilového a strojírenského průmyslu. Produkty BECK jsou známé po celém světě pro svou vysokou kvalitu a přesnost výrobků [23].

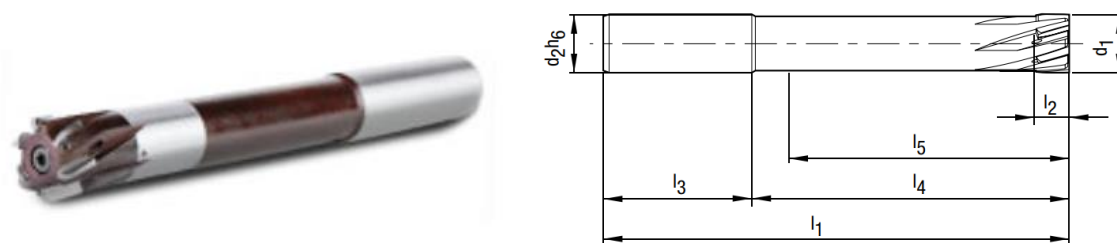
- Vysoce výkonné výstružníky s vnitřním chlazením

Optimální dodávka procesní kapaliny přímo na ostří, speciální geometrie, moderní řezné materiály a povlaky umožňují vysokou spolehlivost procesu a velmi dobré výsledky téměř pro všechny materiály. Všechny výstružníky jsou k dispozici ve variantách pro průchozí i slepé otvory [23].

Výstružníky jsou k dispozici pro průměry do 40 mm a dosahují tolerance IT7. Jsou vyrobeny z cermetu, karbidu, PKNB, PD a dle potřeby povlakovány [23].

MR výstružníky (obr. 2.12)

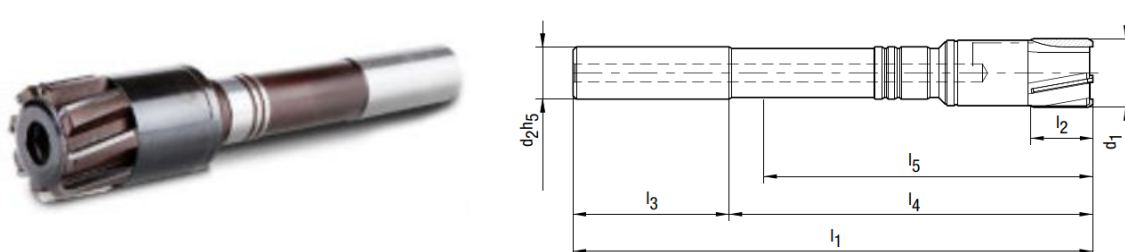
Flexibilní díky pevnému, rozšířitelnému nebo jemně nastavitelnému designu. Průměry výstružníku 8 až 40 mm [23].



Obr. 2.12 MR výstružník [23].

RR výstružníky (obr. 2.13)

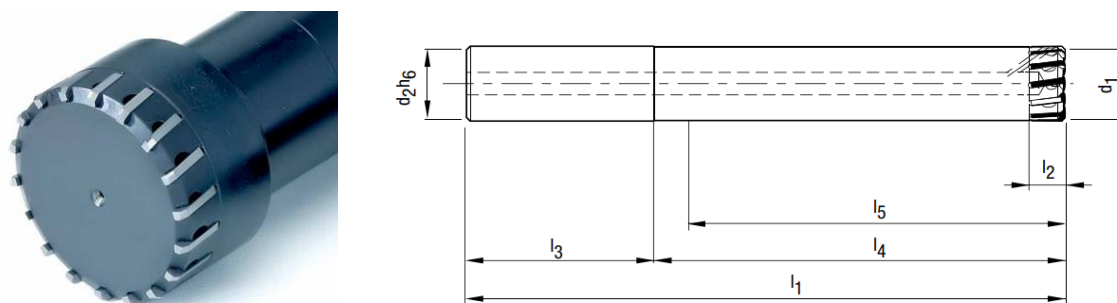
Tyto výstružníky jsou vyrobeny pouze z cermetu a jsou bez povlaku. Rozmezí průměrů je 4 až 40 mm. Zaručují dobré hodnoty obrábění a vysokou spolehlivost procesu. Jsou vhodné na obrábění oceli a litiny (GGG50). Díky optimálnímu vedení procesní kapaliny nedochází k žádným teplotním rázům [23].



Obr. 2.13 RR výstružníky [23].

VR výstružníky (obr. 2.14)

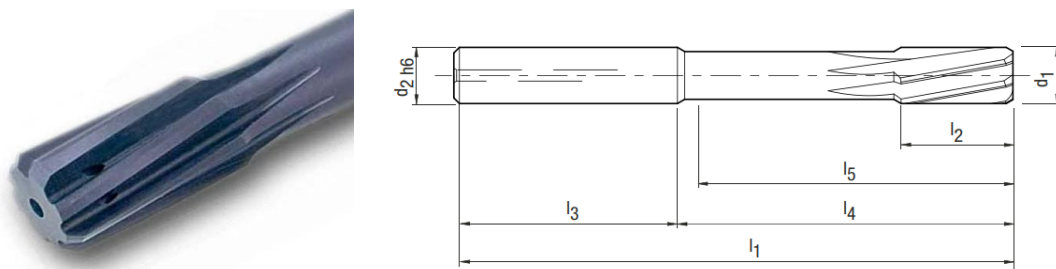
V důsledku vysokého počtu břitů mají optimální kruhovitost, kratší obráběcí časy a delší životnost nástroje. Průměry výstružníků jsou 6 až 40 mm. Mimo další se jako řezný nástroj používá nepovlakovaný cermet [23].



Obr. 2.14 VR výstružníky [23].

HNC výstružníky (obr. 2.15)

Dosahují vynikajících výsledků díky své speciální geometrii řezu. Díky monoblokovému designu dosahují stabilní souososti. Průměry výstružníků jsou 3 až 20 mm [23].



Obr. 2.15 HNC výstružníky [23].

- Modulární výstružníky typ XR (obr. 2.16)

Díky modulárnímu systému disponují tyto výstružníky obzvláště vysokou flexibilitou. Držáky mohou být osazeny různými řezacími hlavami, které mohou být vyměněny přímo na stroji. Vyměnitelné hlavy jsou k dispozici ve variantách z tvrdého karbidu se speciálním povlakem nebo ve variantách s pájenými břity z karbidu (také povlakovaného), cermetu nebo PD o průměrech 8 až 40 mm. Výstružníky jsou k dispozici ve variantách pro průchozí a slepé otvory a dosahují tolerance otvorů IT7 [23].



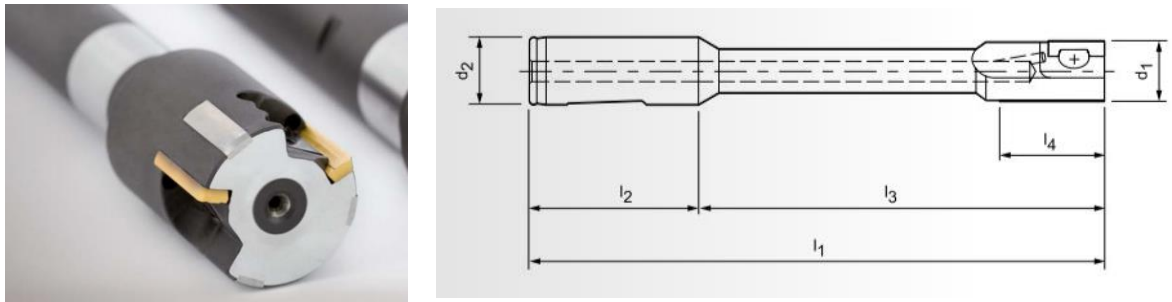
Obr. 2.16 Modulární výstružníky typ XR [23].

2.1.7 MAPAL C&S s.r.o.

Společnost MAPAL C&S s.r.o. vyrobila svůj první výstružník již v roce 1954. Díky desetiletím zkušeností a neustálému vývoji a optimalizaci nástrojů, společnost MAPAL C&S s.r.o. nabízí široké spektrum nástrojů pro vystružování a jemné vyvrtávání. Konkrétně se jedná o výstružníky s více břity, vyměnitelné výstružníkové hlavy kombinované s vysoce přesnými upínacími systémy, monoblokové výstružníky z karbidu, cermetu nebo RO. Otvory dosahují tolerance IT7 [24].

- Výstružníky s vodítky (obr. 2.17)

Technologie výstružníků s vodítkem je bezkonkurenční, pokud jde o jemné obrábění otvorů v jakémkoliv materiálu. Dosahují vysoké přesnosti vystružovaných otvorů, kruhovitosti, válcovitosti a výsledného povrchu. Lze zakoupit výstružníky s jedním nebo dvěma břity. Výstružníky mohou být osazeny břity z karbidu a cermetu (i povlakovaných), PD a PKNB. Jsou určeny k obrábění průchozích i neprůchozích otvorů a rozmezí průměrů výstružníků se pohybuje 5,00 až 80,16 mm [24].

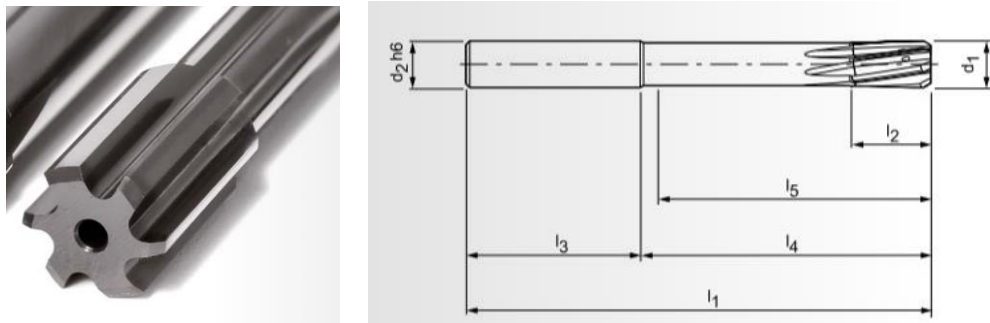


Obr. 2.17 Výstružníky s vodičky [24].

- Pevné vícebřité výstružníky

FixReam výstružníky (obr. 2.18)

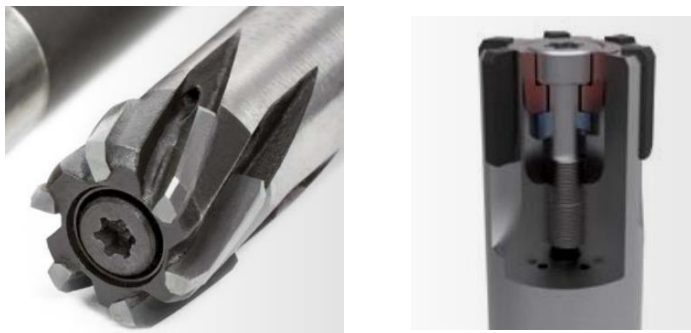
Standartní výstružníky vyrobeny z karbidu, cermetu, PKNB a RO. Výstružníky mají průměr 3 až 14 mm. Lze s nimi obrábět průchozí i slepé otvory [24].



Obr. 2.18 Výstružníky FXR [24].

MonoReam výstružníky (obr. 2.19)

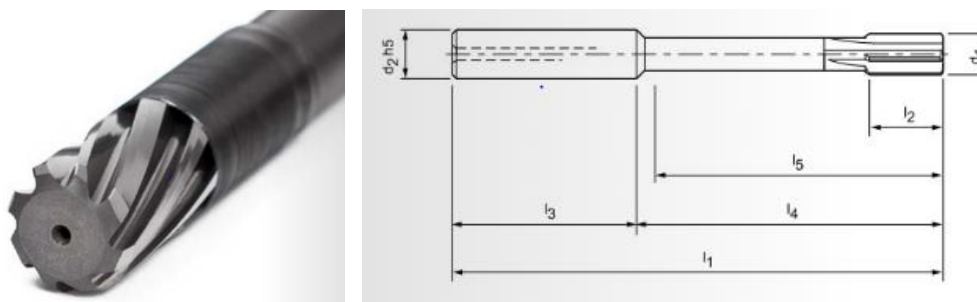
Břity vyrobeny z nepovlakovaných/povlakovaných karbidu nebo cermetu. Výstružníky jsou ve variantách jako fixní, rozšiřitelné a nastavitelné. Jsou určeny pro průchozí i neprůchozí otvory. Průměry výstružníků jsou 14 až 40 mm [24].



Obr. 2.19 Výstružník MonoReam (vlevo) a způsob uchycení (vpravo) [24].

MonoReamPlus výstružníky (obr. 2.20)

Výstružníky vyrobené jako monolitní cermet nebo jako cermetem osazené o průměrech 4 až 40 mm. Obdobně jako MonoReam jsou i tyto výstružníky ve variantách jako fixní, rozšiřitelné a nastavitelné [24].



Obr. 2.20 MonoReamPlus výstružník [24].

- Modulární výstružníky

Společnost MAPAL ve svém sortimentu nabízí také vyměnitelné výstružníkové hlavy s dvěma odlišnými systémy upínání. Díky modulárnímu systému lze vyměnit výstružníkovou hlavu přímo na stroji. Oba typy výstružníků jsou vhodné pro obrábění průchozích i slepých otvorů a dosahují tolerance IT7 [24].

HPR výměnné výstružníkové hlavy s HFS spojením (obr. 2.21)

Průměry výstružníků jsou v rozmezí 8 až 65 mm. Výstružníky jsou osazeny břity z karbidu, cermetu, PKNB a PD [24].



Obr. 2.21 HFS systém uchycení výměnné výstružníkové hlavy [24].

CFR výměnné výstružníkové hlavy s CFS spojením (obr. 2.22)

Průměry výstružníků jsou v rozmezí 8 až 40 mm. Výstružníky jsou obdobně jak výše uvedené HPR výměnné výstružníkové hlavy osazeny břity z karbidu, cermetu, PKNB a PD [24].



Obr. 2.22 CFS systém uchycení výměnné výstružníkové hlavy [32].

2.1.8 FINAL Tools a.s.

Česká strojírenská společnost s dlouholetou tradicí, která se zabývá vývojem, výrobou a prodejem moderních nástrojů k obrábění velmi přesných děr. Firma byla založena v roce 1991 pod názvem FINAL. V roce 1997 došlo ke spojení s německou firmou HARTMETALL-WERKZEUGFABRIK ANDREAS MAIER GmbH a firma se přejmenovala na HAM-FINAL. V roce 2017 se firma oddělila od německé firmy a stala se opět ryze českou. V dnešní době působí firma pod jménem FINAL Tools. Díky vysoké úrovni nástrojů si našla uplatnění v podnicích jakou je ŠKODA-Auto, VW, GM - OPEL, BOSCH a mnoha dalších [25].

Všechny níže uvedené výstružníky jsou bez povlaku.

- Strojní výstružníky z cermetu s válcovou stopkou a s vnitřním chlazením (obr. 2.23)

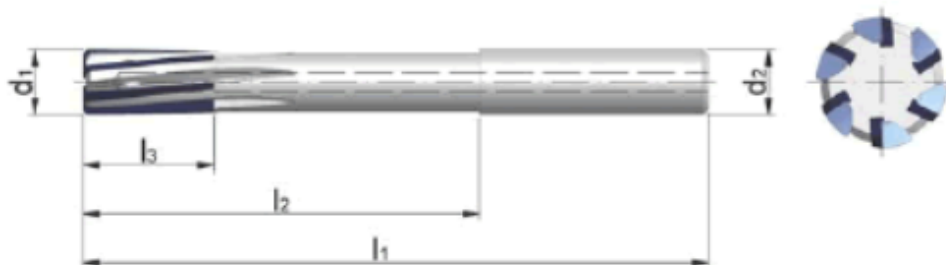
Výstružníky určené k obrábění slepých otvorů. Průměry výstružníků se pohybují 5 až 25 mm s tím, že u průměrů od 5 až 9 mm se jedná o monolitní cermetový výstružník. Od průměru 10 mm se jedná o výstružníky s pájenými cermetovými břity [25].



Obr. 2.23 Výstružník z cermetu s válcovou stopkou a s vnitřním chlazením [25].

- Strojní výstružníky z cermetu s válcovou stopkou v levé šroubovici a s vnitřním chlazením (obr. 2.24)

Výstružníky určené k obrábění průchozích a průchozích přerušovaných děr. Průměry výstružníku se pohybují 5 až 16 mm s tím, že u průměrů 5 až 9 mm se jedná o monolitní cermetové výstružníky. Od průměru 10 mm se jedná o výstružníky s pájenými cermetovými břity [25].



Obr. 2.24 Výstružník z cermetu s válcovou stopkou v levé šroubovici [25].

- Strojní výstružníky z cermetu s válcovou stopkou, SN geometrií a s vnitřním chlazením (obr. 2.25)

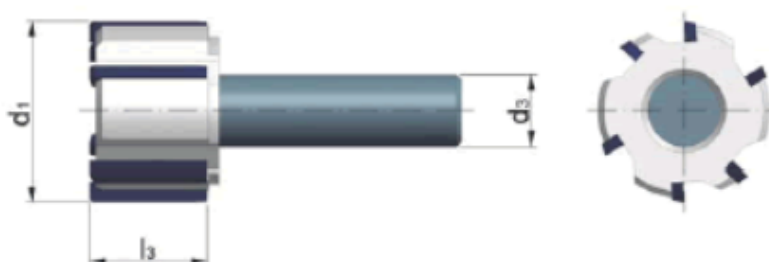
Průměry výstružníku se pohybují 14 až 25 mm a jsou určeny pro obrábění průchozích a průchozích přerušovaných otvorů. Cermetové břity jsou na nástroj pájeny [25].



Obr. 2.25 Výstružníky z cermetu s válcovou stopkou, SN geometrií a s vnitřním chlazením [25].

- Výměnné vystružovací hlavice s břity z cermetu (obr. 2.26)

Vyměnitelné hlavy jsou určeny jak pro neprůchozí otvory, tak i pro průchozí a průchozí přerušované otvory. Průměry vystružovacích hlavice jsou 16 až 40 mm [25].



Obr. 2.26 Výměnná vystružovací hlavice pro obrábění průchozích děr [25].

V tab. 2.1 je zobrazen přehled výše uvedených výrobců cermetových výstružníků.

Tab. 2.1 Přehled výrobců cermetových výstružníků [18–25].

Výrobci cermetových výstružníků	Rozmezí průměrů [mm]	Tolerance	Možnost povlaku	Konstrukce			Použití			
				Monolitní/ s pájenými břity	Modulární	S vodičky	Průchozí otvory	Slepé otvory	Křížící se otvory	Průchozí přerušované otvory
SANDVIK CZ s.r.o.	10,00 až 31,750	IT7	ne	-	X	-	X	-	-	-
DIATOLS, s.r.o.	5,600 až 60,599	IT7	ano	X	X	-	X	X	X	-
GÜHRING s.r.o.	5,900 až 76,200	IT7	ne	X	X	-	X	X	-	-
Kennametal GmbH	5,000 až 42,500	IT6 až 7	ne	X	X	X	X	X	X	-
Seco Tools CZ, s.r.o.	5,900 až 60,500	IT6 až 8	ano	-	X	X	X	X	-	-
August Beck GmbH & Co. KG	4,000 až 40,000	IT7	ano	X	X	-	X	X	-	-
MAPAL C&S s.r.o.	5,000 až 80,600	IT7	ano	X	X	X	X	X	-	-
FINAL Tools a.s.	5,000 až 40,000	IT7	-	X	X	-	X	X	-	X

2.2 Současný stav dodavatelů polotovarů pro výrobu výstružníků

CERATIZIT S.A.

Již více než 95 let rakouská společnost vyvíjí a vyrábí sofistikované tvrdé materiály, které mají dobrou odolnost proti opotřebení, jako jsou: vysoce specializované řezné nástroje, vyměnitelné břitové destičky a tyče z karbidů a cermetů. Díky neustálé inovaci materiálů a aplikací pomáhá zákazníkům vytvářet velké množství strojů a nástrojů [26].

Jak již bylo výše zmíněno společnost CERATIZIT S.A. vyrábí karbidové a cermetové tyče a to buď jako slinované v surovém stavu nebo broušené v toleranci h6. Standardně jsou tyče vyrobeny se 2 paralelníma nebo 1 centrálním otvorem pro přívod procesní kapaliny, popřípadě bez otvorů. Tyče s otvory pro přívod procesní kapaliny jsou k dodání v rozmezí průměrů 3,30 až 34,30 mm. Tyče bez otvorů pro přívod procesní kapaliny jsou vyrobeny o průměru 1,00 až 46,20 mm. Délky tyčí jsou 330 mm. Ukázka cermetové tyče se dvěma otvory je na obr. 2.27. Vlastnosti cermetu použitého pro výrobu tyčí jsou v tab. 2.2 [26].

Tab. 2.2 Vlastnost cermetu CTF28T [26].

Třída cermetu	Pojivo [hm %]	Hustota [g/cm ³]	Tvrdost HRA	Pevnost v tahu [MPa]
CTF28T	14,1	6,4	91,8	2 000



Obr. 2.27 Cermetové tyče s dvěma otvory pro přívod procesní kapaliny [26].

CY CARBIDE MFG. CO., LTD.

Od roku 2002 se společnost zabývá výrobou a vývozem vysoce kvalitních výrobků z karbidu wolframu, jako jsou pilové špičky, tyče, lisované polotovary, břitové destičky a další. Kromě karbidu wolframu se společnost zabývá výrobou cermetových tyčí a břitových destiček. Hlavní složkou cermetů je TiC + TiCN. Přehled vlastností cermetů společnosti CY CARBIDE MFG. CO., LTD. je v tab. 2.3 [27].

Tab. 2.3 Vlastnost cermetů společnosti CY CARBIDE MFG. CO., LTD. [27].

Třída cermetu	Hustota [g/cm ³]	Tvrdost HRA	Pevnost v tahu [MPa]
CMT 60	7,0	92,3	2 000
CMT 70	7,1	91,8	2 100
CMT 80	7,3	90,6	2 250

HHT - Hartmetall GmbH & Co. KG

HHT - Hartmetall GmbH & Co. KG je německá společnost s více než 40letou zkušeností v oblasti výroby karbidu wolframu. Dodává, optimalizuje a upravuje pouze prémiové karbidy pro řezné nástroje [28].

Tyčové polotovary jsou buď v neopracovaném, nebo broušeném stavu. Slinované (neopracované) tyče jsou o průměrech 3,2; 4,2; 5,2; 6,3; 8,3 a 10,3 mm. Broušené tyče jsou o průměrech 3, 4, 5, 6, 8, 10 mm a jsou v toleranci h5. Všechny tyče jsou o délce 310 mm. K dostání jsou tyče s jedním centrálním otvorem, nebo s paralelními či zkroucenými otvory [28].

Changsha Langfeng Metallic Material Co., Ltd.

Čínská společnost, založena v roce 2009, zabývající se výrobou vojenských raketových systémů, nátěrových materiálů, ale také keramických polotovarů pro CNC/NC řezné nástroje. Produkty jsou široce používány ve strojích, stavebnictví kosmonautice a dalších odvětvích [29].

K dostání jsou tyče bez otvorů nebo s otvorem pro přívod procesní kapaliny. Rozmezí průměrů tyčí, bez otvoru pro přívod procesní kapaliny, je 3 až 20 mm a to buď v neopracovaném nebo broušeném stavu v toleranci h6. V případě polotovarů s centrálním otvorem pro přívod procesní kapaliny jsou k dostání průměry 12,0; 12,4; 16,4 a 18,4 mm. Délka polotovaru je 330 mm. Vlastnosti cermetových tyčí jsou v tab. 2.4 [29].

Tab. 2.4 Vlastnost cermetových tyčí společnosti Changsha Langfeng Metallic Material Co., Ltd. [29].

Třída cermetu	Chemické složení	Hustota [g/cm ³]	Tvrdość HRA	Pevnost v tahu [MPa]
LFT10	10% CoNi-WC-TiCN	6,25	93,00	2 150
LFT15	15% CoNi-WC-TiCN	6,45	92,50	2 050
LFT15-N	15% Ni-WC-TiCN	6,45	92,50	2 050

Dále pak jsou k dostání cermetové pláty. Vlastnosti plátů jsou v tab. 2.5 a jejich rozměry jsou v tab. 2.6.

Tab. 2.5 Vlastnost cermetových plátů společnosti Changsha Langfeng Metallic Material Co., Ltd. [29].

Třída cermetu	Chemické složení [%]					Fyzikální vlastnosti		
	Ni	TiC	Fe	Mn	ostatní	Hustota [g/cm ³]	Tvrdość HRA	Pevnost v tahu [MPa]
LFT12	2,0	47,0	37,0	10,0	4,0	6,2	82,5	1 800

Tab. 2.6 Přehled rozměrů cermetových plátů [29].

Rozměr [mm]	
6x3x8	3x1,6x300
1,7x80,3x80,3	4x2,5x300
2,1x80,3x80,3	5x3x300
2,7x80,3x80,3	6x3x300
3,2x6,2x16,5	3,2x6,2x10.2
2,5x5x100	7,8 + 0,3x12,3 + 0.3x25,3 + 0,3
3,9 + 0,2x1,9 + 0,2x19,9 + 0,2	5,2 + 0,2x3,2 + 0,2x50,2 + 0,3

Metcera Advanced Materials Co. Ltd

Společnost se sídlem v Číně, která se zaměřuje na výzkum, vývoj a výrobu kovových keramických materiálů a řezných nástrojů z nich vyrobených [30].

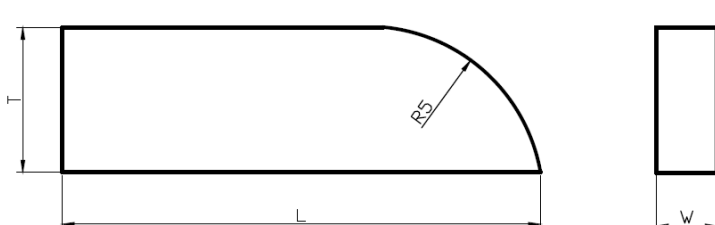
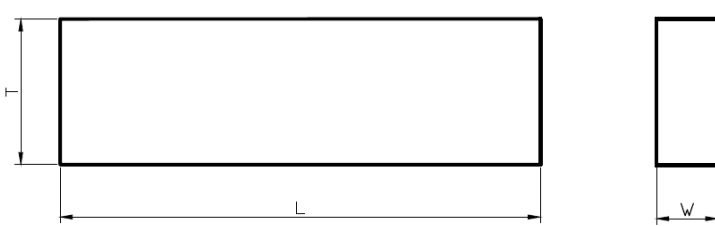
Tyče jsou dodávány v neopracovaném a broušeném stavu od průměru 3 do 16,0 mm a v délce 0 až 330 mm. Tolerance těchto tyčí jsou h5 a h6. Vlastnosti cermetů jsou v tab. 2.7 [41].

Tab. 2.7 Vlastnosti cermetových tyčí společnosti Metcera Advanced Materials Co. Ltd [30].

Třída cermetu	Chemické složení [%]									Fyzikální vlastnosti		
	Ti	Ta	Nb	W	Mo	Ni	Co	C	N	Hustota [g/cm ³]	Tvrdost HRA	Pevnost v tahu [MPa]
MC102A	45,0	-	1,8	12,5	-	6,5	-	7,6	-	7,15	92,7	2 200
MC206L	42,0	8,2	-	12,6	8,0	-	7,5	-	4,9	7,10	92,5	2 300

Dále také společnost nabízí cermetové pláty, viz tab. 2.8. Tyto cermetové pláty odpovídají výše uvedené třídě cermetu MC102A [30].

Tab. 2.8 Přehled cermetových plátů společnosti Metcera Advanced Materials Co. Ltd (rozměry T po 0,5 mm) [30].

Tvar plátu	Rozměr		
	L	W	T
	22,1	3,1	1,5 až 4,5
	35,5	5,0	1,5 až 6,5
	120,0	55,5	2,5 až 8,0

Mitsubishi Materials Corporation

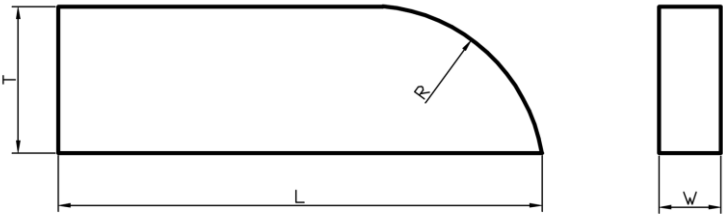
Původním počátečním bodem společnosti, která je dnes známá jako Mitsubishi Materials Corporation, byla hornická společnost Tsukumoto Shokai. Již 140 let se společnost rozrůstala a rozvíjela své aktivity společně s modernizací Japonska [31].

Společnost vyrábí pláty z karbidů a cermetů. Dále má také ve své nabídce tyče z karbidů. Vlastnosti těchto plátů z cermetů jsou v tab. 2.9 a jejich rozměry jsou v tab. 2.10 [31].

Tab. 2.9 Vlastnosti cermetových plátů společnosti Mitsubishi Materials Corporation [31].

Třída cermetu	Chemické složení [%]			Tvrdość HRA
	TiCN	Co + Ni	Ostatní	
NX55	49,0	18,0	33,0	91,2
TBF61	53,0	19,0	28,0	90,5

Tab. 2.10 Přehled cermetových plátů společnosti Mitsubishi Materials Corporation [31].


Tvar plátu	Rozměr			
	L	W	T	R
	15	2 až 6	3	R3
	15		4	R3
	20		2	R4
	20		3	R3
	20		4	R3
	20		5	R3
	20		6	R3
	25		4	R3
	30		4	R3
	30		3	R4

KYOCERA Precision Tools, Inc.

Společnost, která byla založena v dubnu 2014, sjednocuje dva z předních světových výrobců řezných nástrojů, Kyoceta Tycom Corporation a divizi řezacích nástrojů společnosti Kyocera Industrial Ceramics Corporation. Společnost se zaměřuje na řezné nástroje pro automobilový průmysl, letecký průmysl, všeobecné obrábění a zdravotnictví [32].

Ve své nabídce má velkou škálu břitových destiček z cermetů. V tab. 2.11 je uvedena čtvercová břitová destička vyrobená ze dvou druhů cermetu.

Tab. 2.11 VBD společnost KYOCERA Precision Tools, Inc. [32].

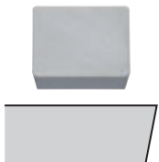
Destička	Rozměr [mm] l x t	Typ cermetu	Hlavní složka (povlak)	Vhodné pro	Popis
	12,7 x 3,3	TN610	TiCN	Ocel	<ul style="list-style-type: none"> struktura má vysokou houževnatost a odolnost proti opotřebení a tepelnému šoku
		PV710	TiCN (MEGACOAT NANO)		<ul style="list-style-type: none"> vynikající odolnost proti opotřebení a přilnavosti pro vysokorychlostní nepřetržitě řezy

Tungaloy Czech s.r.o.

Společnost Tungaloy Czech s.r.o. je jedním z předních výrobců karbidových nástrojů, frikčních a otěruvzdorných materiálů. Společnost sídlí v Japonsku a dodává své výrobky do celého světa. Specializuje se na výrobky pro těžké strojírenství, automobilový, stavební, letecký, zdravotní a dopravní průmysl [33].

Břitové destičky vyrobené z cermetu a bez otvoru jsou v tab. 2.12.

Tab. 2.12 Břitové destičky společnosti Tungaloy Czech s.r.o. [33].

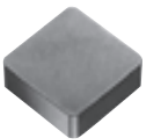
Destička	Rozměr [mm] l x t	Typ cermetu	Hlavní složka (povlak)	Vhodné pro	Popis
ISO SPMN ISO SPGN 	12,7 x 3,18	NS9530	-	Ocel	<ul style="list-style-type: none"> • universální cermetová třída s dobrou odolností proti opotřebení • Poskytuje dlouhou životnost nástroje a vynikající povrch při dokončovacím obrábění oceli

Sumitomo Electric Industries, Ltd.

Společnost sídlící v Japonsku, která byla založena v roce 2003. Vyvíjí a vyrábí řezné nástroje ze slinutého karbidu, KNB a slinutého diamantu. Tyto nástroje vykazují dobrou odolnost proti opotřebení. Dále také vyrábí laserové optiky pro laserové stroje a diamantové výrobky pro elektronické součástky [34].

Břitové destičky Sumitomo Electric Industries, Ltd. vyrobené z cermetů a bez otvoru jsou v tab. 2.13.

Tab. 2.13 Břitové destičky firmy Sumitomo Electric Industries, Ltd. [34].

Destička	Rozměr [mm] l x t	Typ cermetu	Hlavní složka (povlak)	Vhodné pro	Popis
ISO SNMN ISO SNGN 	12,7 x 4,76	T1000A	TiCN + WC	Ocel Litina	<ul style="list-style-type: none"> • vysoká odolnost proti opotřebení • vhodné pro profilování a pro vysokorychlostní nepřetržitě řezy
		T1500A	-	Ocel	<ul style="list-style-type: none"> • vysoká odolnost proti opotřebení • vhodný pro dokončovací operace

V tab. 2.14 je zobrazen přehled výrobců tyčových cermetových polotovarů.

Tab. 2.14 Přehled výrobců tyčových cermetových polotovarů [26–34].

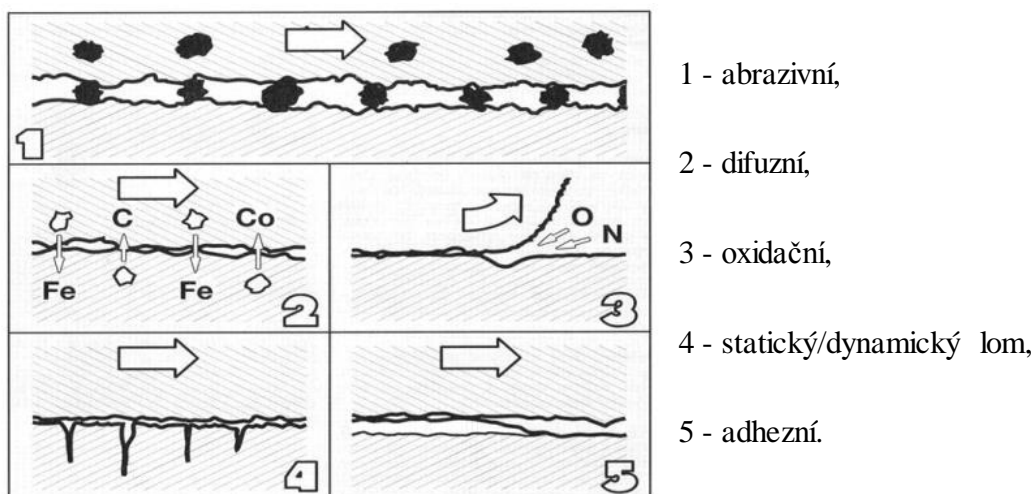
Výrobci tyčových cermetových polotovarů	Rozmezí průměrů [mm]	Délka [mm]	Tolerance	Opracování		Chlazení			
				Neopracované	Broušené	Bez otvoru pro chlazení	S otvory pro chlazení		
							Centrální	Paralelní	Zkroucené
CERATIZIT	1,00 až 46,20	330	h6	X	X	X	X	X	-
HHT - Hartmetall	3,00 až 10,00	310	h5	X	X	X	X	X	X
Langfeng Metallic	3,00 až 20,00	330	h6	X	X	X	X	-	-
Matcera	3,00 až 16,00	330	h5 h6	X	X	X	-	-	-
CY CARBIDE	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Dodavatele, u kterých nebyly na jejich stránkách nalezeny bližší informace o svých cermetových polotovarech, jako jsou mechanické vlastnosti a chemické složení, byli kontaktováni. Odpověď byla vždy vlnidná, ale nesla se v podobném smyslu a to, že z důvodu ochrany jejich interních informací a know-how tyto údaje nemohou poskytnout.

3 OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

Během procesu obrábění se vyvíjí na ploše hřbetu a čela nástroje velké množství tepla, které ve výsledku značně namáhá materiál břitu nástroje. Vlivem vysokého tlaku a tepla při utváření třísky má obráběný materiál sklon k difúzním procesům nebo k chemickým reakcím. Téměř veškeré obráběné materiály obsahují tvrdé částice, které však zřídka dosahují tvrdosti materiálu nástroje. Díky tomu dochází k abrazivnímu efektu. K zatížení břitu nástroje dochází kombinací výše uvedených faktorů a projevuje se jeho opotřebením. Mezi základní typy opotřebení (viz obr. 3.1) patří zejména:

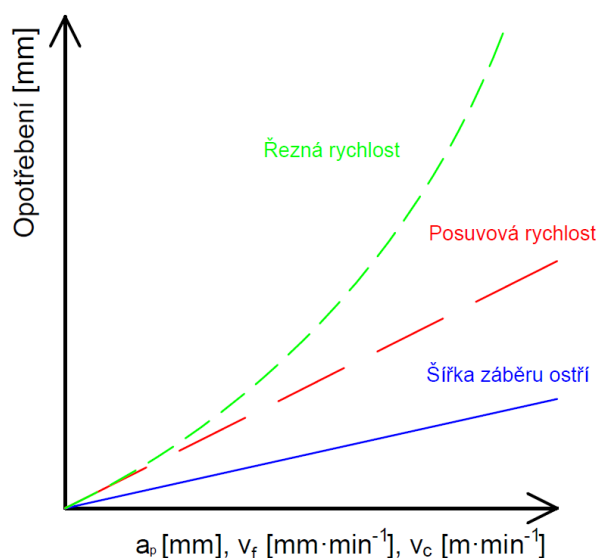
- abraze - brusný oěr způsobený uvolněním tvrdých mikročástic obráběného i nástrojového materiálu.
- adheze - v důsledku vysokých teplot a tlaků, kovově čistých povrchů a chemické příbuznosti materiálů dochází ke vzniku a okamžitému porušení mikrosvarových spojů, které vznikají na stýkajících se vrcholcích nerovností třísky a čela nástroje.
- difuze - v důsledku migrace atomů z nástrojového do obráběného materiálu a naopak, vznikají nežádoucí chemické sloučeniny ve struktuře nástroje.
- oxidace - za přítomnosti kyslíku v okolním prostředí vznikají na povrchu nástroje chemické sloučeniny.
- plastická deformace - vzniká v důsledku vysokého mechanického a tepelného zatížení, kumulovaného v čase.
- křehký lom - nastává v důsledku vysokého mechanického zatížení, jako je např. přerušovaný řez, vměstky a nehomogenity v obráběném materiálu [1, 35].



Obr. 3.1 Mechanismy opotřebení břitu nástroje [35].

Jako fyzikální mechanismy opotřebení jsou obvykle označovány abraze a adheze. Difuze a oxidace patří mezi chemické mechanismy opotřebení. Všechny čtyři výše uvedené druhy opotřebení působí v průběhu času plynule, nemusí však mít shodný začátek působení. Oproti tomu plastická deformace a křehký lom jsou mechanismy, které nepůsobí v průběhu času, ale jsou náhlé. Jedná se například o náhlou změnu tvaru břitu nástroje nebo ulomení špičky. Tyto náhlé změny obvykle vedou k okamžitému ukončení činnosti nástroje. K opotřebení hřbetu nástroje dochází především vlivem abraze a oxidace. Čelo

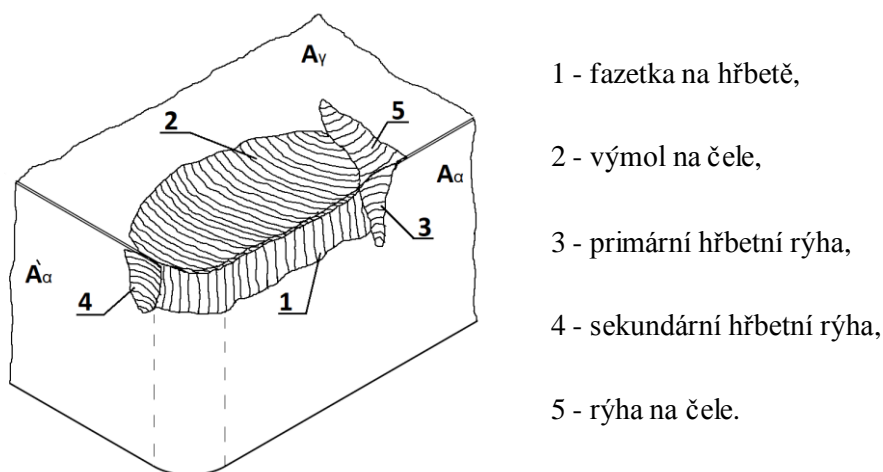
je opotřebováno v důsledku adheze, abraze, difuze a oxidace. Na opotřebení nástroje mají významný vliv i další faktory, jako jsou např. druh operace (dokončování či hrubování), geometrie nástroje a řezné podmínky (obr. 3.2). Všechny tyto faktory ovlivňují, zda se bude nástroj opotřebovávat více na čele nebo na hřbetě [1, 35].



Obr. 3.2 Vliv řezných podmínek na opotřebení nástroje [1].

3.1 Formy opotřebení

Pro vznik optimálního průběhu opotřebení jsou důležitými předpoklady: správný nástroj, odpovídající řezné podmínky, vlastní zkušenost a dobrá jakost obrobku. Na obr. 3.3 je břit se všemi typickými formami opotřebení [1, 35].



Obr. 3.3 Typické formy opotřebení břitu z SK [1].

3.1.1 Otěr na hřbetě

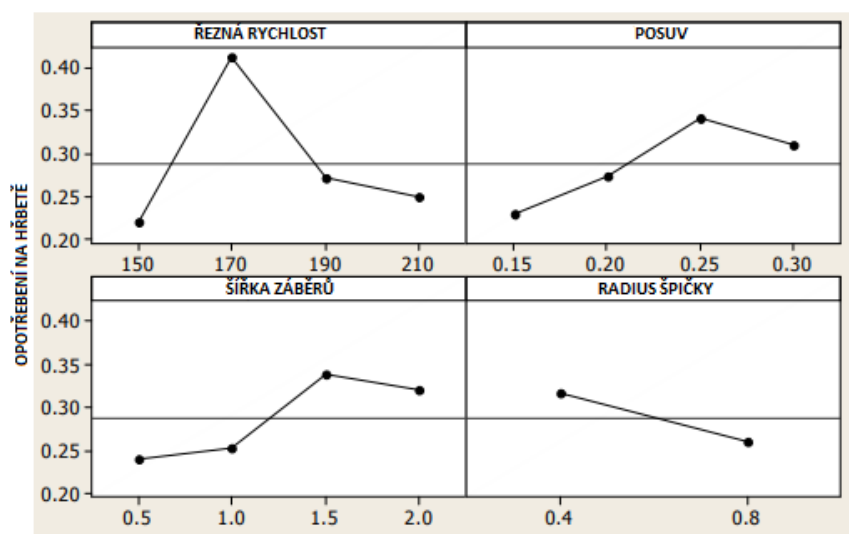
Hlavním faktorem vzniku opotřebení na hřbetě je abraze. V důsledku zasekávání tvrdých mikroskopických vměstků karbidu, zakalených částic materiálu obrobku a odlupujících se mikročástic povlaku nástroje do ostří opouští kobalt základní strukturu. Vlivem toho karbidová zrna ztrácejí původní adhezi a dochází k jejich vylamování. Projevem opotřebení hřbetu je stejnoměrné obroušení ostří, které je pozorovatelné v celé jeho využitě

délce. Opotřebení hřbetu je často považováno za ideální, ale pouze do té doby, než je opotřebení příliš velké a má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nárůst tření a nepřesnost rozměrů [35, 36].

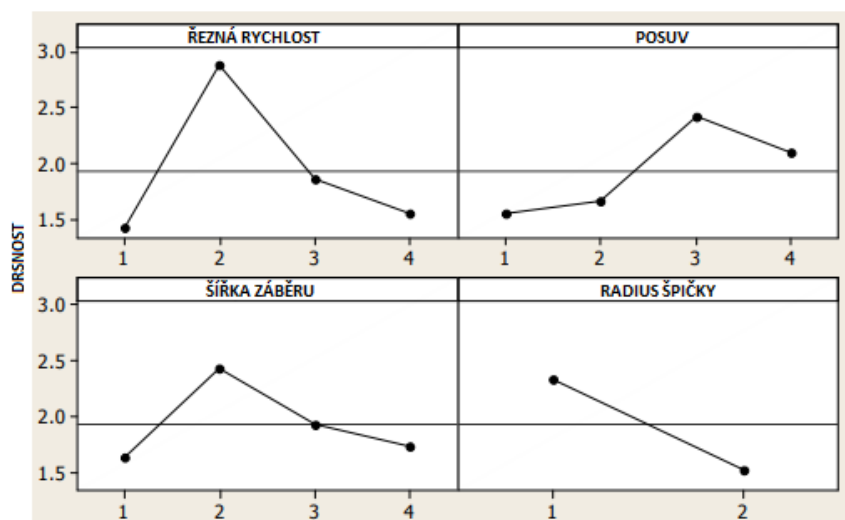
Možná opatření:

- snížení řezné rychlosti,
- zvýšení posuvu,
- použití účinnější procesní kapaliny [36, 37].

Ve své práci se páni M. Kaladhar, K. Venkata Subbaiah a Ch. Srinivasa Rao zabývají otěrem na hřbetě a drsností povrchu obrobku při soustružení austenitické oceli AISI 304 povlakovaným (CVD) nástrojem ze slinutého karbidu. Výsledky jejich práce ukázaly, že nejdůležitějším faktorem je řezná rychlost, která nejvíce ovlivňuje jak drsnost povrchu, tak opotřebení na hřbetě nástroje. Jednotlivé faktory ovlivňující opotřebení na hřbetě jsou na obr. 3.4 a faktory ovlivňující povrch obrobku jsou na obr. 3.5 [38].



Obr. 3.4 Diagram hlavních vlivů otěru na hřbetě [38].



Obr. 3.5 Diagram hlavních faktorů ovlivňujících drsnost povrchu [38].

3.1.2 Výmol na čele

Vznik výmolu na čele je zapříčiněn kombinací difuze, porušení struktury a abrazivního opotřebení. Tendenci k tvorbě výmolu snižuje tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiálem obrobku a břitou nástroje. V případě, že opotřebení je mimořádně velké může měnit geometrii břitu, změnit směr působení síly řezání a ovlivňovat tvar třísky. V počáteční fázi vzniku výmolu může naopak zlepšovat utváření třísek. Nejčastěji se projevuje u ocelí a slitin na bázi titanu [35, 36].

Možná opatření:

- použití procesní kapaliny,
- snížení rezné rychlosti a posuvu,
- snížení úhlu nastavení ostří (pouze malý vliv) [36, 37].

3.1.3 Vydrolené ostří

Jedná se o formu opotřebení, při kterém dochází, místo stejnosměrného opotřebení k vydrolování materiálu. V důsledku lokální kumulace napětí se drobné částice rezného materiálu začnou oddělovat z povrchu břitu. Toto napětí vzniká v důsledku tvrdých vměstků obsažených v materiálu a obrábění přerušovaným řezem. V případě odlupování materiálu a vzniku trhlin je potřeba dbát zvýšené pozornosti na možnost lomu břitu [35, 36].

Možná opatření:

- zajištění tuhosti soustavy stroj-nástroj,
- zvolit houževnatější třídu rezného materiálu,
- snížení posuvu, popřípadě také zvýšení rezné rychlosti,
- zvolit pozitivní geometrii [36, 37].

3.1.4 Plastická deformace

Vzniká vlivem tepelného a mechanického přetížení, při kterém dochází k měknutí pojiva (kobaltu). Tlakem deformuje ostří a špičku nástroje, v některých případech může dojít k odlomení špičky nebo k rychlému opotřebení. Opotřebení tohoto typu lze očekávat u obrábění za vysokých teplot, při dlouhých dobách v řezu či u operací s vysokými posuvy a vysokou reznou rychlostí. Plastická deformace má za následek změnu geometrie břitu a změny v odchodu třísky [35, 36].

Možná opatření:

- použití účinné procesní kapaliny,
- destička s větším rádiem špičky,
- použití tvrdšího a otěruvzdornějšího rezného materiálu [36, 37].

3.1.5 Tvorba nárůstku

K tvorbě nárůstku dochází zejména v místech, kde je zvýšená chemická afinita, vysoký tlak a dostatečná teplota. Tedy v místě, ve kterém dochází ke tření mezi nástrojem a třískou obráběného materiálu. Během tření se částice třísky nalepují v blízkosti špičky na čelní stranu nástroje. Vrstvením těchto částic vzniká na čelní ploše nástroje vrstva (nárůstek), která působí jako rezná hrana namísto původního rezného materiálu. Díky mechanickému vytvrzení je

nárůstek tvrdší než původní řezný materiál. V případě, že se nárůstek dále zvětšuje, stává se nestabilním a dochází k jeho odlomení. Odlomené části nárůstku částečně ulpívají na spodní straně třísky a částečně na obráběné ploše, a způsobují tak zvýšení drsnosti povrchu [35, 39].

Nárůstek vzniká především u měkkých materiálů, vysokopevnostních slitin, nerezových ocelí a neželezných kovů. Projevuje se především při nízkých řezných rychlostech u závitování, vrtání a frézování [35].

Možná opatření:

- zvýšení řezné rychlosti popř. posuvu,
- použití povlaku na břitové destičce,
- použít destičky s ostřejší geometrií a leštěnou plochou čela,
- použití vhodné procesní kapaliny [36].

3.1.6 Opotřebení ve tvaru vrubu

K typickým adhezním opotřebením patří opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu. Dále pak může souviset s jevem oxidačního opotřebení. K vzniku vrubů dochází v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Místo vzniku opotřebení je omezeno pouze na místo pronikání vzduchu do oblasti obrábění. Nejčastěji se vruby projevují u materiálu s tvrdou povrchovou vrstvou. Konkrétně se jedná například o odlitky, výkovky nebo u oxidovaných vrstev a materiálům vykazující deformační zpevnění (slitiny titanu, vysokoteplotní slitiny, nerezové oceli) [35, 36].

Možná opatření:

- snížení posuvu a změnou hloubky řezu,
- při obrábění vysokoteplotních slitin zvýšit řeznou rychlost,
- použití houževnatějšího řezného materiálu,
- snížení úhlu nastavení ostří,
- dbát zvýšené pozornosti na tvorbu nárůstku [36].

3.1.7 Hřebenové trhliny

Patří mezi únavové opotřebení, které vzniká v důsledku tepelného šoku. Toto opotřebení vzniká zejména u frézování a přerušovaného soustružení, při kterém dochází ke změnám teplot. K tvorbě trhlin může také dojít u operací s nepravidelným přívodem chlazení. Trhliny vznikají kolmo na břit. Mezi jednotlivými trhlinami může docházet k vyřívání částic řezného materiálu, a může tak dojít k náhlému lomu břitu [35, 36].

Možná opatření:

- účinnější chlazení,
- použití houževnatějšího materiálu,
- snížení řezné rychlosti a posuvu,
- zvolit jinou metodu obrábění [36].

3.1.8 Únavový lom

Dochází k němu následkem mimořádně velkých změn velikosti řezných sil. Vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, které však nejsou natolik intenzivní, aby došlo k lomu. Tyto zatížení jsou způsobeny změnou velikosti a směru působení síly a způsobem vřezávání nástroje do obrobku. Lom probíhá paralelně s ostřím [35].

3.1.9 Lom břitu nástroje

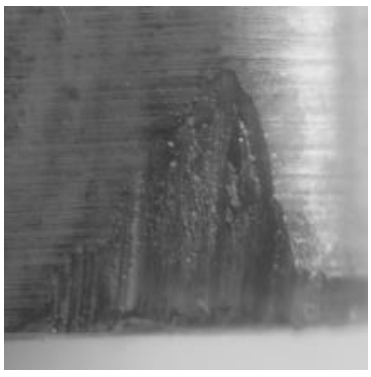
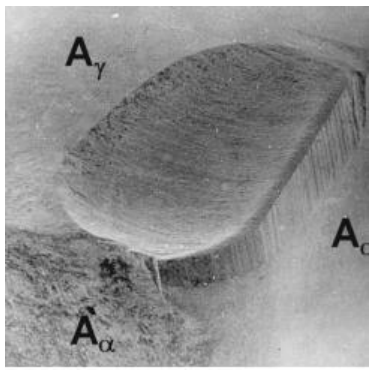
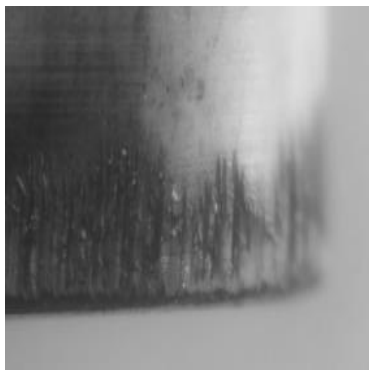
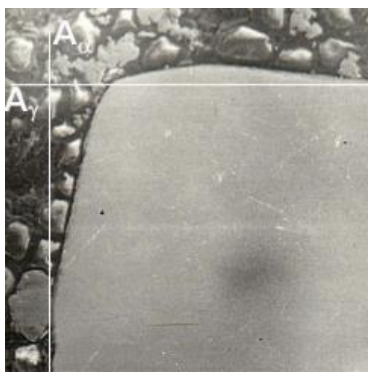
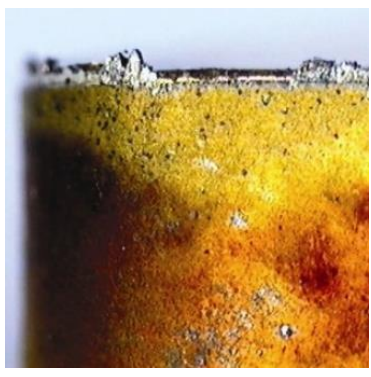
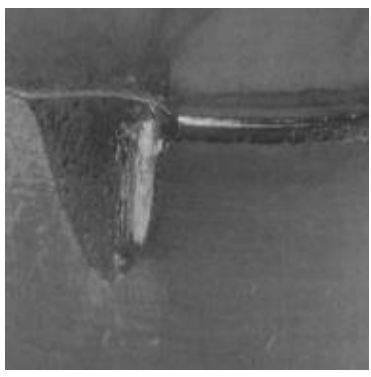
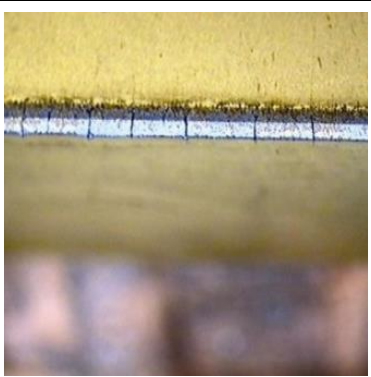
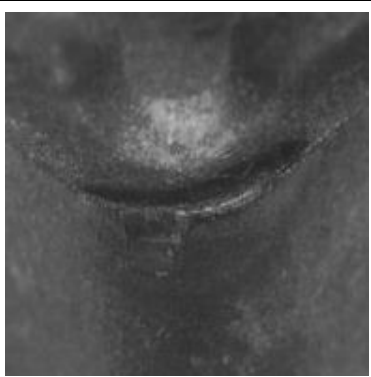
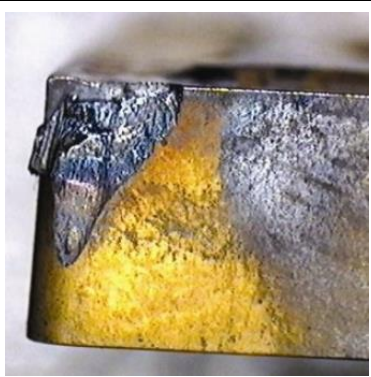
V případě, že nastane lom břitu, znamená to konec funkčnosti řezného elementu, tedy konec jeho trvanlivosti. Lom břitu nástroje je často velmi nebezpečný a je potřeba mu za každých okolností zabránit. Ke křehkému lomu nejčastěji dochází v případě, že materiál břitu je málo houževnatý na to, aby zvládl všechny požadavky na obrábění [35].

V tab. 3.1 je uveden přehled opotřebení a opatření proti jejich vzniku. Většina výše uvedených druhů opotřebení je znázorněna v tab. 3.2.

Tab. 3.1 Přehled opotřebení a opatření proti jejich vzniku [35–37].

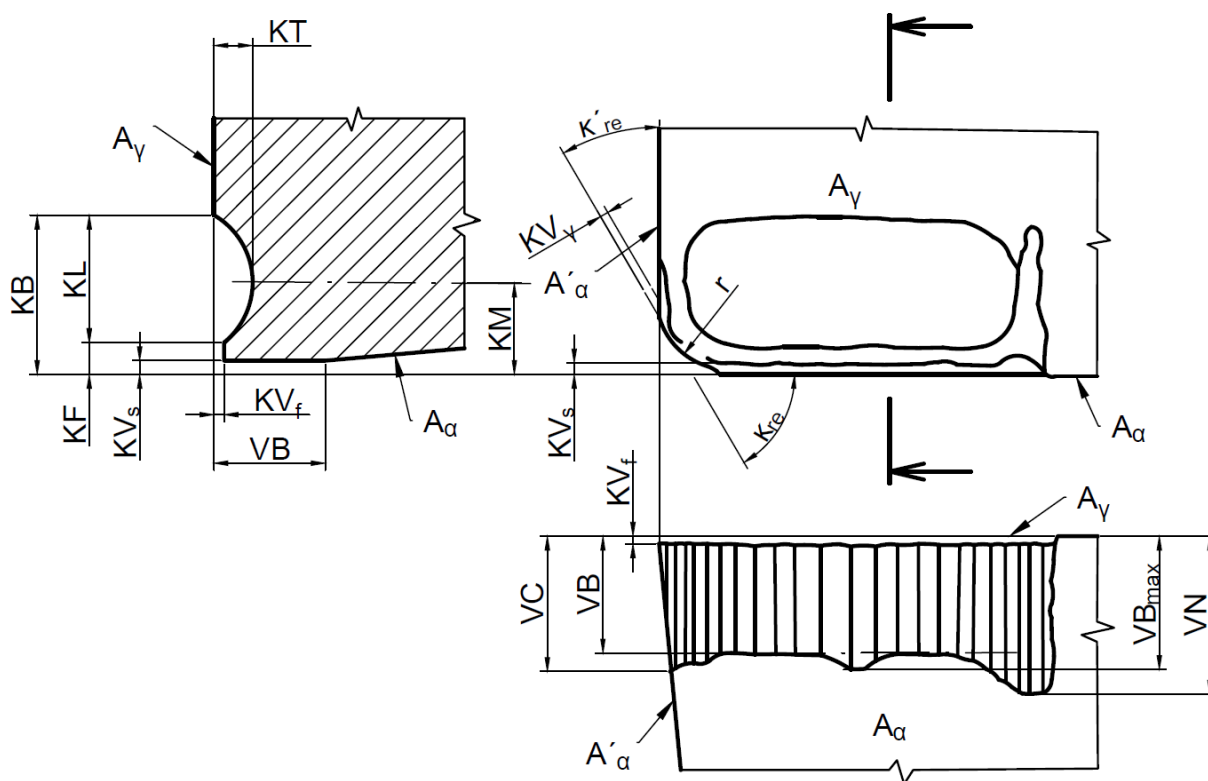
DRUH OPOTŘEBENÍ	MOŽNÁ OPATŘENÍ									
	Zvýšení řezné rychlosti	Snížení řezné rychlosti	Zvýšení posuvu	Snížení posuvu	Hloubka řezu	Tvrďší a otěruvzdornější materiál	Použití houževnatějšího materiálu	Poloha/geometrie ostří	Povlak	Účinnější chlazení
Otěr na hřbetě	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X
Výmol na čele	-	X	-	X	-	-	-	X	-	X
Vydrolené ostří	X	-	-	X	-	-	X	X	-	-
Plastická deformace	-	-	-	-	-	X	-	X	-	X
Tvorba nárůstku	X	-	X	-	-	-	-	X	X	X
Opotřebení ve tvaru vrubu	X	-	-	X	X	-	X	X	-	-
Hřebenové trhliny	-	X	-	X	-	-	X	-	-	X

Tab. 3.2 Druhy opotřebení [36, 37].

Otěr na hřbetě	Výmol na čele	Vydrolené ostří
		
Plastická deformace	Tvorba nárůstku	Opotřebení ve tvaru vrubu
		
Hřbenové trhliny	Únavový lom	Lom břitu nástroje
		

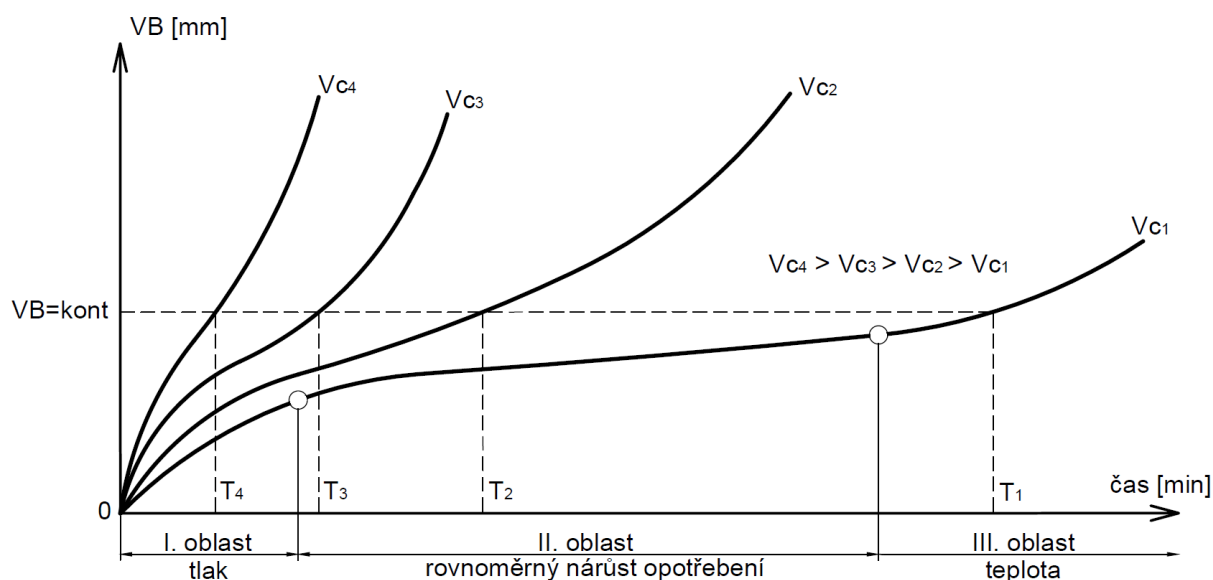
3.2 Kritéria opotřebení

Jednotlivá kritéria opotřebení jsou znázorněna na obr. 3.6. Pro vyhodnocování se nejčastěji používají kritéria: VB - šířka fazetky, KT - hloubka výmolu na čele, KV_y - radiální opotřebení špičky. Při dokončovacích operacích je nejvíce významné kritérium KV_y , to totiž ovlivňuje změnu rozměrů obrobené plochy [1].



Obr. 3.6 Kritéria opotřebení [1].

Na obr. 3.7 je znázorněn charakteristický průběh kritéria VB, přičemž křivka pro nejmenší řeznou rychlost je označena v_{c1} . Hodnoty kritéria VB se doporučují v rozsahu 0,2 až 0,8 mm. Průběh opotřebení je rozdělen do tří oblastí. V oblasti I je vlivem velkého měrného tlaku, který působí v místě styku hlavního hřbetu nástroje s přechodovou plochou obrobku, poměrně rychlý nárůst hodnoty VB. V oblasti II hodnota VB narůstá rovnoměrně a to v důsledku působení základních mechanismů opotřebení. Nakumulované tepelné zatížení, které nastává v oblasti III, výrazně zvýší intenzitu opotřebení [1].



Obr. 3.7 Závislost opotřebení na čase pro různé řezné rychlosti [1].

3.3 Trvanlivost a životnost nástroje

Trvanlivost řezného nástroje je definována jako součet všech čistých časů řezání, počítaných od začátku obrábění až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu jednoho z výše uvedených kritérií. Zvolené kritérium opotřebení a jeho hodnota musí být stanoveny tak, aby měl vyráběný obrobek po celou dobu trvanlivosti nástroje požadované rozměry, tvar a kvalitu povrchu [1].

Životnost nástroje se pak stanoví jako součet všech trvanlivostí nástroje, nebo také jako celková doba jeho funkce, od prvního uvedení do činnosti až po jeho vyřazení. U nástrojů, které lze ostřit končí jejich životnost v případě, že byla odbroušena celé jejich funkční část. U nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami nastává konec životnosti v případě, že byly použity všechny jejich břity [1].

U trvanlivosti nástroje, obdobně jako u opotřebení nástroje, hraje velkou roli metoda obrábění, vlastnosti obráběného a řezného materiálu a dále pak řezné podmínky, jako je šířka záběru ostří, řezná a posuvová rychlost. Dle zjištění Fredericka Winslowa Taylora, má na trvanlivost nástroje největší vliv právě řezná rychlost. Vztah známý jako „T - v_c “ závislost nebo také jako „Taylorův vztah“ se užívá ve tvaru:

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \quad [min] \quad (3.1)$$

kde: C_T - konstanta [-]

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

m - exponent [-]

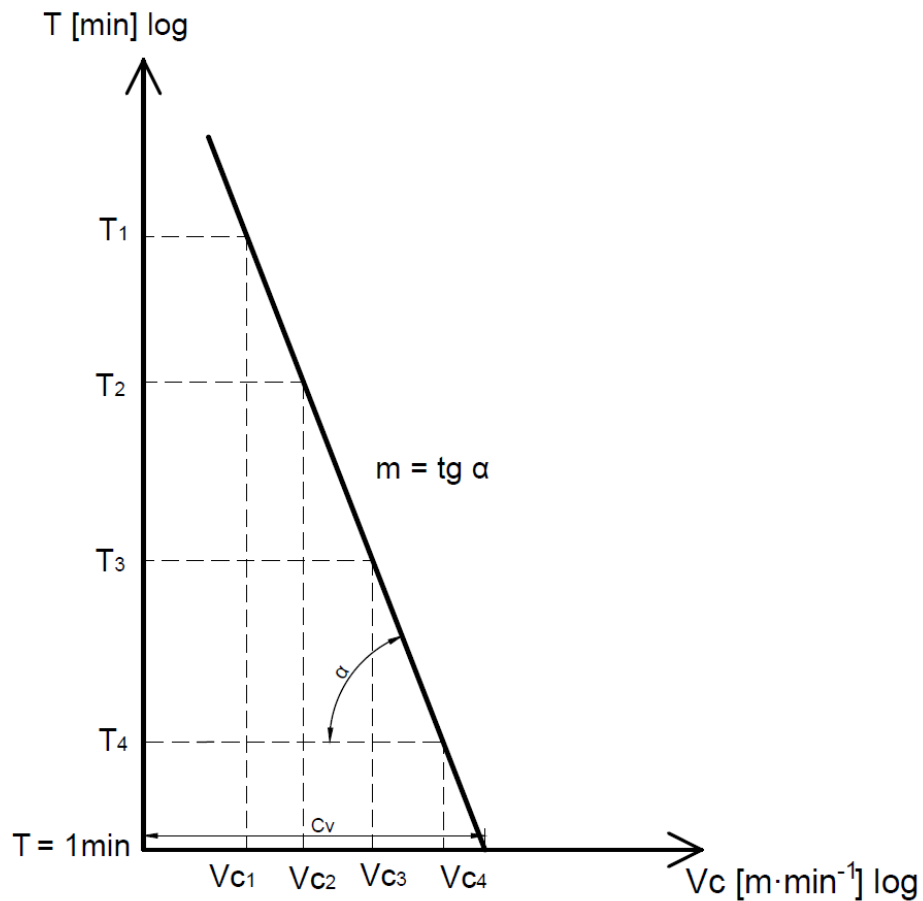
popřípadě bývá také vyjádřen ve tvaru:

$$v_c = \frac{C_v}{T^{1/m}} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (3.2)$$

kde: C_v - konstanta [-]

Pro konkrétní kombinaci řezný nástroj - obráběný materiál se při stanovení T - v_c závislosti vychází z definice trvanlivosti. Daný materiál je obráběn daným řezným nástrojem minimálně při čtyřech různých řezných rychlostech a to za konstantních řezných podmínek, jako je šířka záběru $a_p = konst$, posuv na otáčku $f = konst$, popř. způsob chlazení. Během procesu se sleduje časový nárůst opotřebení nástroje (VB), která se následně vynáší do závislosti VB = f (čas), viz obr. 3.7. Z důvodu dosažení rovnoměrného rozložení jednotlivých bodů pro konstrukci T - v_c závislosti se volí řezná rychlost dle normy ČSN ISO 3685 a to podle řady R20. Nejvyšší řezné rychlosti by neměla dosáhnout takové hodnoty, aby trvanlivost byla pod hodnotou T = 5 minut [1].

Z časových křivek VB jsou na základě předem stanovené hodnoty vybraného kritéria (VB) odečteny trvanlivosti T_1, T_2, T_3, T_4 . Tyto trvanlivosti odpovídají zvoleným řezným rychlostem v_{c1}, v_{c2}, v_{c3} a v_{c4} . Do diagramu s logaritmickými souřadnicemi T a v_c jsou vyneseny vzniklé body a jejich propojením vznikne přímka, která odpovídá zvolené hodnotě VB, viz obr. 3.8 [1].



Obr. 3.8 Závislost $T - v_c$ [1].

3.4 Struktura povrchu

V průběhu obrábění dochází ke vzniku mikronerovností, které určují výsledný stupeň drsnosti. Tato drsnost je způsobena stopami, které na ní zanechává břit nástroje. Druh a stupeň drsnosti závisí na mnoha aspektech, jako jsou např. způsob obrábění, na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na jakosti, tvaru a geometrii břitu a dále pak na řezných podmínkách (velikosti posuvu a řezné rychlosti). K ovlivnění drsností také přispívá tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek, způsob upínání obrobku, chladicí kapalina a opotřebení nástroje [40].

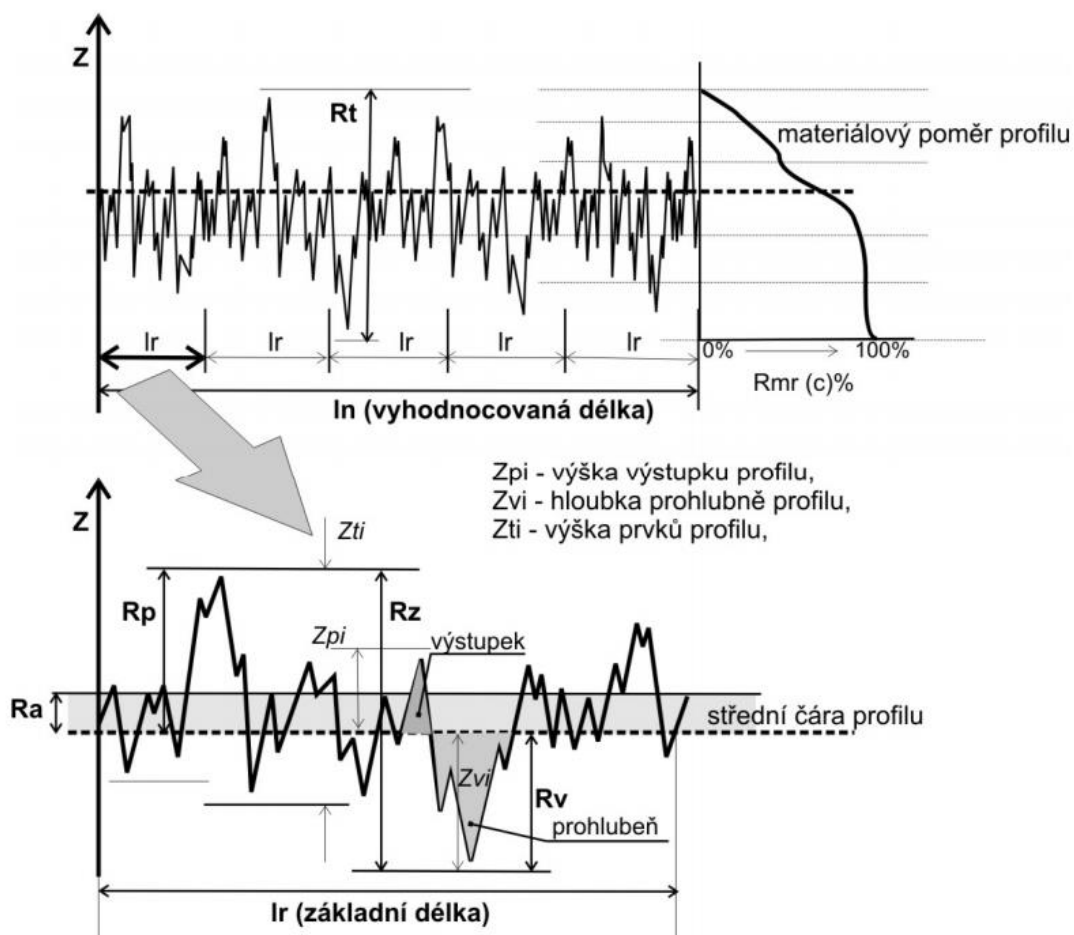
Drsnost povrchu se od sebe liší v příčném a podélném směru. Podélný směr je rovnoběžný s řezným pohybem, zatímco příčný směr je k němu kolmý. Například u soustružení, hoblování a vrtání je drsnost větší v příčném směru. U frézování je naopak drsnost větší ve směru podélném [40].

Jakost obrobenej plochy lze posuzovat podle následujících hledisek:

- přesností rozměru a tvaru - závisí na přesnosti stroje, tuhostí a dalšími faktory, které působí nepřímo na technologický proces.
- drsnost a mikrostruktura - tyto parametry jsou ovlivněny bezprostředně procesem řezání. Nejvíce jsou ovlivňovány řeznou rychlostí, tvarem nástroje a jeho opotřebením.
- vlastnosti povrchové vrstvy - jsou vyjádřeny stupněm zpevnění, strukturálními změnami, které jsou úměrné velikosti zbytkových napětí [41].

Parametry pro posuzování drsnosti (obr. 3.9)

- **R_a Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu** - v běžné strojírenské praxi je R_a nepoužívanější parametr pro vyhodnocování drsnosti povrchu. Správné vyhodnocení R_a je podmíněno vhodnou volbou vyhodnocované délky l_n . Jak už z názvu vyplývá, tento parametr udává pouze průměrnou hodnotu povrchových nerovností a nedává žádnou informaci o tvaru nerovností. Je proto nutné tuto hodnotu často ještě doplnit o další údaje (délka měření, usprádaní a směr nerovností atd.).
- **R_q Střední kvadratická úchylka posuzovaného profilu** - vhodný parametr pro statistické zpracování.
- **R_z Největší výška profilu** - vypočte se jako součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu. Výpočet je proveden v rozsahu základní delky l_r .
- **R_t Celková výška profilu** - určena jako vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším bodem profilu v rozsahu vyhodnocované délky.
- **R_p Výška největšího výstupku profilu** - určena jako vzdálenost mezi střední čarou profilu a nejvyšším bodem profilu.
- **R_v Největší hloubka prohlubně profilu** - je definována jako vzdálenost mezi střední čarou a nejnižším bodem profilu [42].



Obr. 3.9 Parametry pro posouzení drsnosti povrchu [42].

4 PRAKTICKÁ ČÁST

FINAL Tools a.s. osazuje ve většině případů své nástroje pro přesné obrábění děr břity z cermetu. Cermety nakupuje a dále používá na výstružníky do různých pracovních podmínek, od několika dodavatelů, na základě jejich doporučení a informací o užitných vlastnostech a na základě vlastních zkoušek a výsledku z praxe. FINAL Tools a.s. trvale monitoruje nabídku výrobců a vlastností nově nabízených jakostí cermetu.

Z tohoto důvodu je praktická část zaměřena na zkoušky 2 nových cermetů. Pro zkoušky jsou cermety označeny interním označením společnosti FINAL Tools a.s. SC3, SC8. Hlavním důvodem je ochrana informací. Označení cermetů, složení a mechanické vlastnosti deklarované výrobcem jsou společnosti FINAL Tools a.s. známé a bude je možno přiřadit zjištěným výsledkům.

Výsledkem testů je porovnání řezivosti 2 cermetů při obrábění uhlíkové oceli 12 050.3, při různých pracovních podmínkách. Výstupem jsou tabulky a grafické závislosti naměřených hodnot.

Testování cermetů bylo provedeno simulací pracovních podmínek vystružování při technologické operaci, podélným soustružením.

Sledovány byly tyto parametry:

Opotřebení na hřbetě: VB_B [mm] bylo zvoleno $VB_{Bmax} = 0,15$ mm

Drsnost povrchu: Ra [μ m] byla zvolena $Ra_{max} = 1,6$ μ m*

Životnost břitu T [min]

* Poznámka: maximální drsnost povrchu byla zvolena s ohledem na snahu simulovat proces vystružování. Při návrhu soustružnického nože, nebyla geometrie na vedlejším břitu vyrobena, tak aby simulovala válcovou část výstružníků a kuželové padání. Následkem toho nemohl při reálném nasazení soustružnický nůž dosahovat parametrů drsnosti jako výstružník. Kritérium drsnosti pak v této souvislosti nemohlo být jako limitní využito. Drsnost byla zaznamenána bez toho, aby hodnota byla důvodem k ukončení experimentu.

4.1 Řezné nástroje

Zá účelem experimentu byly vyrobeny soustružnické nože s připájenými břity z cermetů (viz obr. 4.1). Tělo nože bylo vyrobeno z oceli 12 060, zušlechťeno na 900 MPa. Aby bylo možné soustružnické nože od sebe dobře rozeznat, bylo jejich tělo popsáno laserem. Výkres soustružnického nože viz příloha 1.



Obr. 4.1 Soustružnický nůž s připájeným břitem z cermetu.

4.2 Obráběný materiál

ČSN 12 050 (dle DIN 17200)

Nelegovaná ocel určená pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechtilém nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot se dosahuje po zakalení a následném popouštění. V případě tvarově složitějších dílů se z důvodu zamezení vzniku trhlin preferuje kalení do oleje. Ocel je možné povrchově kalit plamenem nebo indukci. Po povrchovém kalení dosahuje ocel tvrdosti povrchu min. 55 HRC. Chemické složení je v tabulce 4.1[43].

Tab. 4.1 Chemické složení oceli ČSN 12 050 [hm %]. [43].

C	Si _{max.}	Mn	P _{max.}	S _{max.}	Cr _{max.}	Mo _{max.}	Ni _{max.}
0,400 až 0,500	0,430	0,460 až 0,840	0,035	0,040	0,450	0,130	0,450

V důsledku zvýšené pevnosti způsobené válcováním může být obrobiteľnosť třískovým obráběním ztížena. Z toho důvodu je pro obrábění výhodnější stav žíhaný na měkko. Se zvýšeným obsahem síry vykazuje ocel 12 050 zlepšenou obrobiteľnosť. Přehled mechanických vlastností oceli 12 050.3 je v tab. 4.2 [43].

Tab. 4.2 Přehled mechanických vlastností pro průměr $100 < d \leq 250$ mm [43].

Mech. vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném	
R _{m min.} [MPa]	560
Re _{min.} [MPa]	275
A _{5,65 min.} [%]	16

Polotovary o rozměrech Ø120 x 300 mm jsou zobrazeny na obr. 4.2.



Obr. 4.2 Materiál polotovaru z oceli 12 050.3.

4.3 Volba řezných podmínek

Polotovary byly upnuty do sklíčidla min. v délce 50 mm a podepřeny koníkem. Zkouška byla prováděna s chlazením. Použita byla procesní kapalina Blasocut Bc 35 Kombi s koncentrací 8 %. Veškerá měření probíhala při pokojové teplotě.

- Zvolené řezné podmínky:

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

$$a_p = 0,15 \text{ mm}$$

$$v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

4.4 Obráběcí stroj

Testování probíhalo na CNC soustružnickém/frézovacím centru (viz obr. 4.3), konkrétně se jednalo o model CTX beta 1250 TC firmy GILDEMEISTER. Parametry tohoto stroje jsou uvedeny v tab. 4.3.



Obr. 4.3 CNC centrum GILDEMEISTER CTX beta 1250 TC.

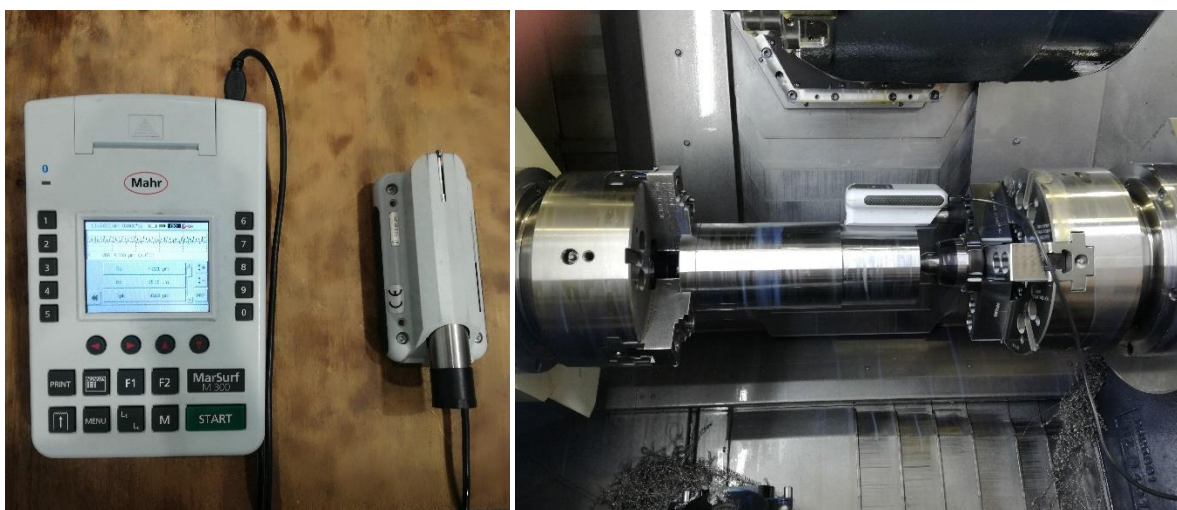
Tab. 4.3 Parametry CNC soustružnického/frézovacího centra [45].

Pracovní oblast	
Max. obráběný průměr	500 mm
Max. obráběná délka	1 200 mm
Max. vzdálenost mezi hroty	1 470 mm
Hlavní vřeteno	
Integrovaný vřetenový motor s osou C	5 000 1/min
Výkon pohonu	33 kW
Moment	580 Nm
Sub vřeteno	
Integrovaný vřetenový motor s osou C	6 000 1/min
Výkon pohonu	25 kW
Moment	280 Nm
Frézovací vřeteno	
Max. otáčky vřetene	20 000 1/min
Moment	87 Nm

4.5 Měřicí přístroje

Drsnoměr

Pro měření drsnosti byl použit přenosný drsnoměr Mahr MardSurf M 300 (viz obr. 4.4). Drsnoměr se skládá ze snímače a vyhodnocovací jednotky, která umožňuje vyhodnocování nejběžnějších parametrů dle ISO. Parametry drsnoměru Mahr jsou uvedeny v tab. 4.4.



Obr. 4.4 Drsnoměr Mahr MardSurf M 300.

Tab. 4.4 Parametry drsnoměru Mahr MardSurf M 300 [46].

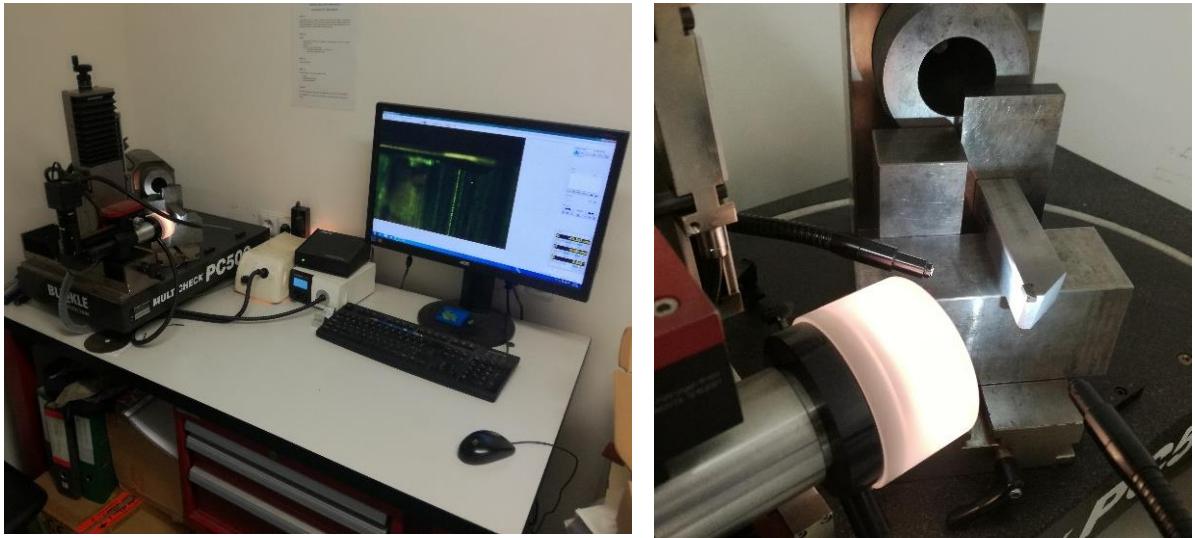
Princip měření	dotyková metoda
Snímač	indukční snímač s patkou
Rozsah měření	350 μm
Rozlišení profilu	8 nm
Rychlost snímání	0,5 mm/s
Síla při měření	cca 0,7 mN
Rozsah teplot pro provoz	+5 °C až +40 °C
Rozměr (D x Š x V) snímače v mm	130 x 70 x 50
Rozměr (D x Š x V) vyhodnocovacího přístroje v mm	190 x 140 x 75

Mikroskop

Měření opotřebení na hřbetě ($VB_{B\max}$) probíhalo na mikroskopu BLICKLE Multicheck Pc 500 (viz obr. 4.5). Tento mikroskop umožňuje měření poloměrů, automatické snímání a ukládání digitálních snímků. Pro správnost měření lze vytvořit masku, díky které je zaručeno správné umístění nástroje při opakovaném měření. Základní parametry mikroskopu BLICKLE Multicheck Pc 500 jsou uvedeny v tab. 4.5 [47].

Tab. 4.5 Základní parametry mikroskopu BLICKLE Multicheck Pc 500 [47].

Pevná kamenná základna	400 x 600 mm
Rozsah měření	Osa X 150 mm
	Osa Y 150 mm
Rozlišení	0,001 mm
Přesnost	$\pm 0,003$ mm



Obr. 4.5 Mikroskop BLICKLE Multicheck Pc 500.

4.6 Naměřené hodnoty

V této části jsou zpracovány naměřené hodnoty pro dva různé řezné materiály (cermet SC3 a SC8).

4.6.1 Cermet SC3

U cermetu SC3 bylo pro každou řeznou rychlost provedeno testování na dvou soustružnických nožích. Protože se naměřené hodnoty od sebe příliš nelišily (do 10 %), nebylo provedeno třetí opakování. Hodnoty v níže uvedených tabulkách jsou pro trvanlivost T v min, opotřebení na hřbetě VB v mm a pro parametry drsnosti Ra a Rz v μm .

Pro řeznou rychlost $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ jsou v tab. 4.6 zaznamenány hodnoty z prvního měření a v tab. 4.7 z druhého měření. Z těchto dvou tabulek byla následně vytvořena tab. 4.8, ve které jsou spočteny průměrné hodnoty z měření pro danou řeznou rychlost.

Tab. 4.6 Cermet SC3 první měření ($v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

T	VB_1	$Ra_{1.1}$	$Ra_{1.2}$	$Ra_{1.3}$	Ra_1	$Rz_{1.1}$	$Rz_{1.2}$	$Rz_{1.3}$	Rz_1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,032	1,809	1,897	1,774	1,827	7,490	8,835	7,616	7,980
8	0,045	2,441	2,245	2,361	2,349	11,690	11,370	10,980	11,347
18	0,084	3,060	3,245	3,015	3,107	12,880	13,220	12,830	12,977
28	0,087	3,278	2,965	3,345	3,196	13,620	13,840	13,440	13,633
48	0,114	3,704	3,772	3,693	3,723	14,180	14,340	14,610	14,377
68	0,131	4,625	4,425	4,100	4,383	14,240	14,270	14,430	14,313
88	0,141	4,771	4,816	4,221	4,603	15,350	15,350	15,150	15,283
98	0,152	4,923	4,988	4,697	4,869	15,832	15,581	15,423	15,612

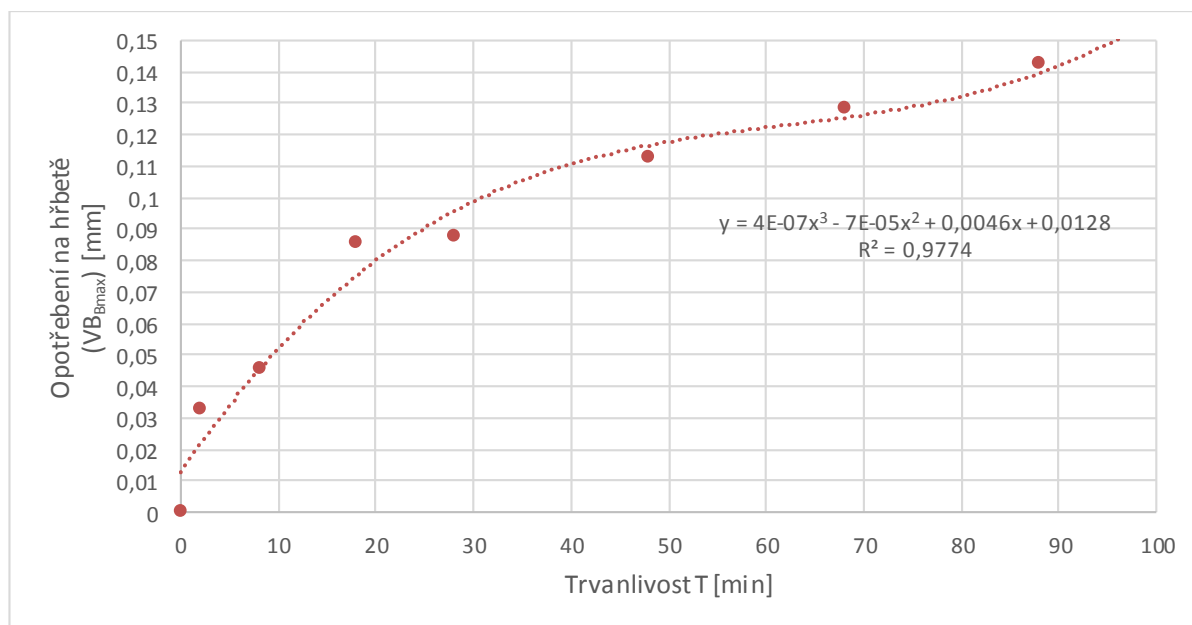
Tab. 4.7 Cermet SC3 druhé měření ($v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

T	VB ₂	Ra _{2.1}	Ra _{2.2}	Ra _{2.3}	Ra ₂	Rz _{2.1}	Rz _{2.2}	Rz _{2.3}	Rz ₂
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,034	1,845	1,821	1,827	1,831	7,265	9,188	7,540	7,998
8	0,046	2,417	2,267	2,314	2,333	11,456	11,484	11,309	11,416
18	0,087	3,152	3,213	3,045	3,137	13,395	13,088	12,317	12,933
28	0,088	3,212	3,024	3,312	3,183	13,892	13,563	13,978	13,811
48	0,112	3,667	3,810	3,656	3,711	14,038	14,627	14,902	14,522
68	0,126	4,671	4,514	4,059	4,415	14,382	14,841	13,997	14,407
88	0,144	4,676	4,864	4,348	4,629	15,504	15,964	15,453	15,640
98	0,151	4,825	5,038	4,838	4,900	15,990	16,204	15,731	15,975

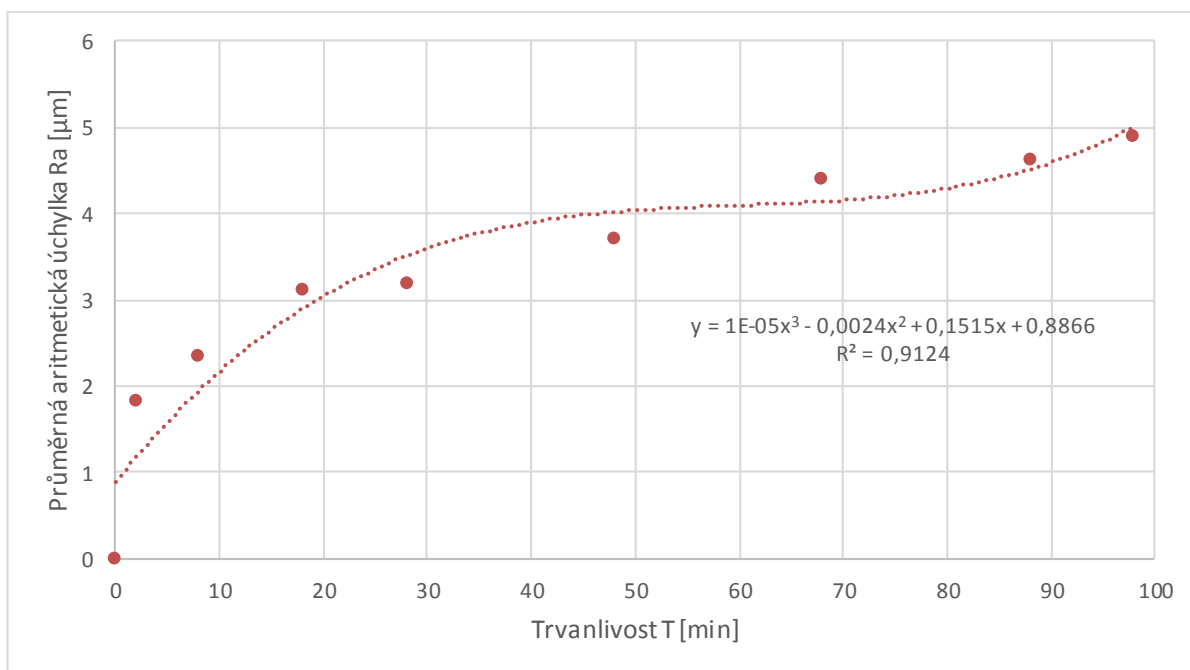
Tab. 4.8 Cermet SC3 střední hodnoty měření ($v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

T	VB ₁	VB ₂	VB	Ra ₁	Ra ₂	Ra	Rz ₁	Rz ₂	Rz
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,032	0,034	0,033	1,827	1,831	1,829	7,980	7,998	7,989
8	0,045	0,046	0,045	2,349	2,333	2,341	11,347	11,416	11,382
18	0,084	0,087	0,085	3,107	3,137	3,122	12,977	12,933	12,955
28	0,087	0,088	0,087	3,196	3,183	3,189	13,633	13,811	13,722
48	0,114	0,112	0,113	3,723	3,711	3,717	14,377	14,522	14,450
68	0,131	0,126	0,128	4,383	4,415	4,399	14,313	14,407	14,360
88	0,141	0,144	0,142	4,603	4,629	4,616	15,283	15,640	15,462
98	0,152	0,151	0,152	4,869	4,900	4,885	15,612	15,975	15,794

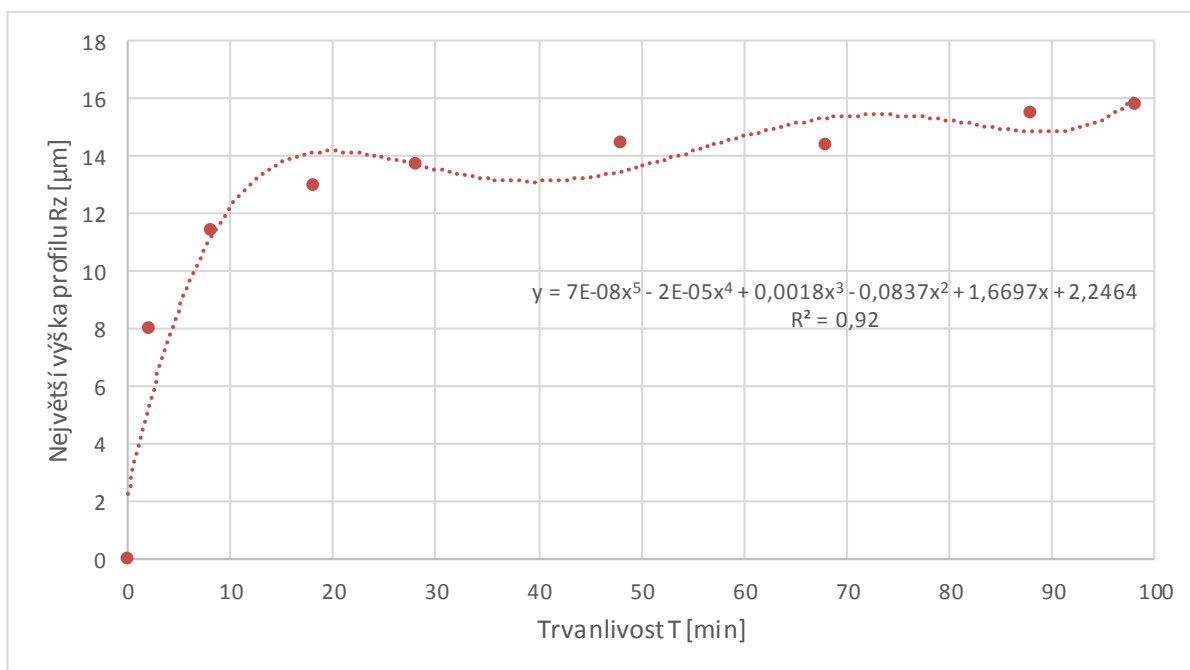
Z hodnot z tab. 4.8 byly vytvořeny níže uvedené grafické závislosti. Na obr. 4.6 je zobrazeno opotřebení na hřbetě v závislosti na trvanlivosti nástroje při řezné rychlosti $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ pro cermet SC3. Na obr. 4.7 až obr. 4.9 jsou zobrazeny průběhy parametrů drsnosti povrchu v závislosti na trvanlivosti nástroje.



Obr. 4.6 Opotřebení na hřbetě v závislosti na trvanlivosti břitů (SC3 - $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).



Obr. 4.7 Průměrná aritmetická úchylnka Ra v závislosti na trvanlivosti bříty (SC3 - $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).



Obr. 4.8 Největší výška profilu Rz v závislosti na trvanlivosti bříty (SC3 - $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

Obdobně jsou pak zaznamenány hodnoty pro řeznou rychlost $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. V tab. 4.9 jsou zaznamenány hodnoty z prvního měření a v tab. 4.10 z druhého měření. Z těchto dvou tabulek byla následně vytvořena tab. 4.11, ve které jsou spočteny průměrné hodnoty z měření pro danou řeznou rychlost.

Tab. 4.9 Cermet SC3 první měření ($v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

T	VB ₁	Ra _{1.1}	Ra _{1.2}	Ra _{1.3}	Ra ₁	Rz _{1.1}	Rz _{1.2}	Rz _{1.3}	Rz ₁
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,074	1,711	1,738	1,797	1,749	9,763	9,466	9,479	9,569
40	0,081	1,991	1,888	2,049	1,976	11,310	10,970	10,960	11,080
60	0,081	2,280	2,245	2,306	2,277	11,730	11,800	11,450	11,660
80	0,100	2,262	2,166	2,290	2,239	11,240	11,270	11,460	11,323
100	0,131	2,114	2,203	2,154	2,157	10,800	11,210	11,420	11,143
120	0,153	2,183	2,249	2,172	2,201	11,370	11,120	10,830	11,107

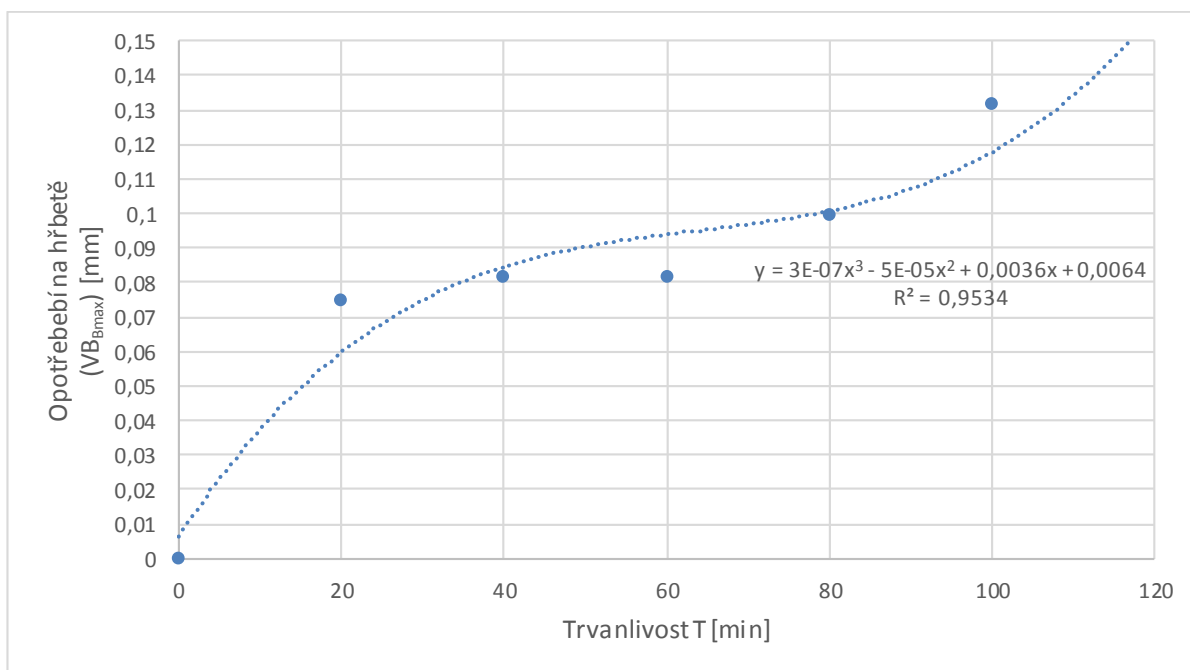
Tab 4.10 Cermet SC3 druhé měření ($v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

T	VB ₂	Ra _{2.1}	Ra _{2.2}	Ra _{2.3}	Ra ₂	Rz _{2.1}	Rz _{2.2}	Rz _{2.3}	Rz ₂
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,075	1,762	1,808	1,833	1,801	9,958	9,750	9,763	9,824
40	0,083	1,951	1,907	2,008	1,955	10,858	11,080	11,070	11,002
60	0,082	2,371	2,290	2,329	2,330	12,199	11,682	11,107	11,663
80	0,099	2,285	2,123	2,267	2,225	11,465	11,045	11,345	11,285
100	0,132	2,093	2,159	2,219	2,157	10,692	11,434	11,763	11,296
120	0,151	2,248	2,294	2,129	2,224	11,484	11,565	11,047	11,365

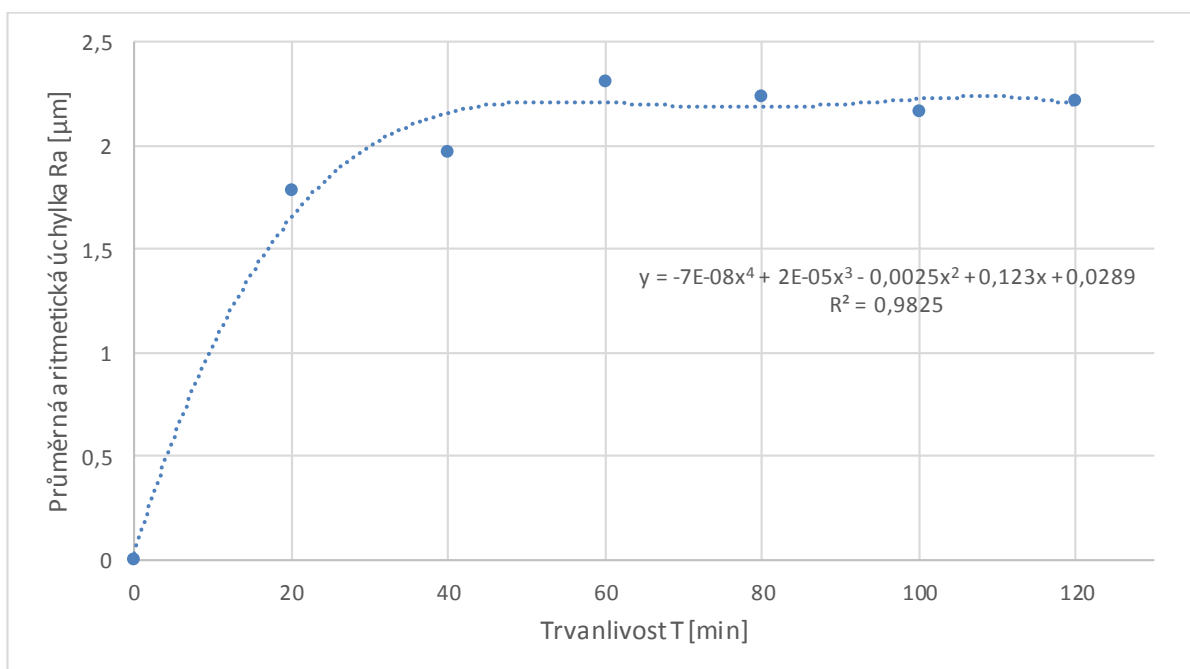
Tab. 4.11 Cermet SC3 střední hodnoty měření ($v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

T	VB ₁	VB ₂	VB	Ra ₁	Ra ₂	Ra	Rz ₁	Rz ₂	Rz
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,074	0,075	0,075	1,749	1,801	1,775	9,569	9,824	9,697
40	0,081	0,083	0,082	1,976	1,955	1,966	11,080	11,002	11,041
60	0,081	0,082	0,081	2,277	2,330	2,304	11,660	11,663	11,661
80	0,100	0,099	0,100	2,239	2,225	2,232	11,323	11,285	11,304
100	0,131	0,132	0,132	2,157	2,157	2,157	11,143	11,296	11,220
120	0,153	0,151	0,152	2,201	2,224	2,213	11,107	11,365	11,236

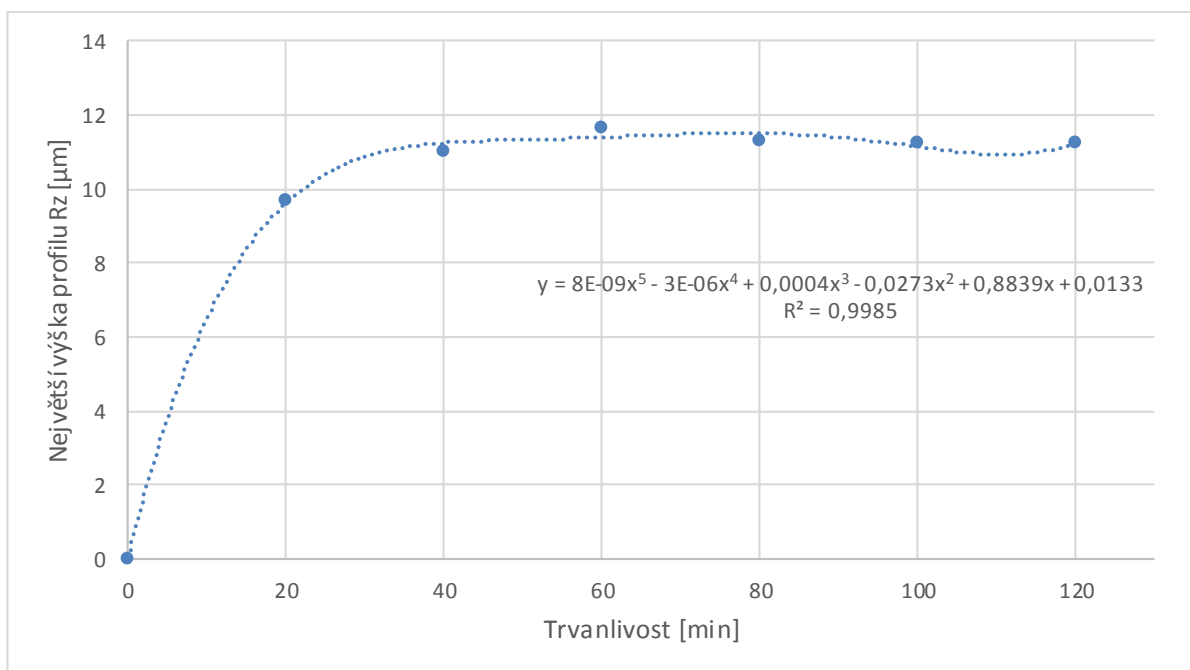
Z hodnot z tab. 4.11 byly vytvořeny níže uvedené grafické závislosti. Na obr. 4.9 je zobrazeno opotřebení na hřbetě v závislosti na trvanlivosti nástroje při řezné rychlosti $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ pro cermet SC3. Na obr. 4.10 až obr. 4.11 jsou zobrazeny průběhy parametrů drsnosti povrchu v závislosti na trvanlivosti nástroje.



Obr. 4.9 Opotřebení na hřbetě v závislosti na trvanlivosti bříty (SC3 - $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

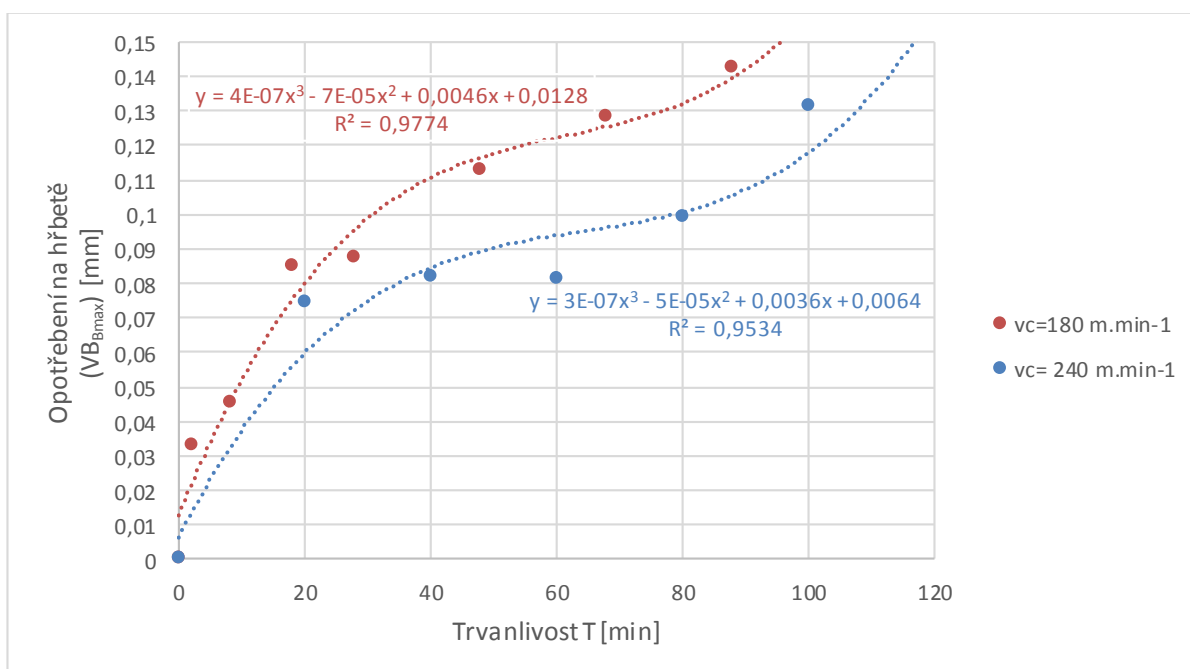


Obr. 4.10 Průměrná aritmetická úchylnka Ra v závislosti na trvanlivosti bříty (SC3 - $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).



Obr. 4.11 Největší výška profilu Rz v závislosti na trvanlivosti břítu (SC3 - $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

Na obr. 4.12 je zobrazeno porovnání řezných rychlostí pro cermet SC3. Z obrázku je patrné, že testováním cermetu SC3 bylo dosaženo lepších výsledků trvanlivosti i drsnosti povrchu při použití řezné rychlosti $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, u které dosahoval břit trvanlivosti $T = 117 \text{ min}$, zatímco při řezné rychlosti $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ dosahoval břit trvanlivosti $T = 96 \text{ min}$.

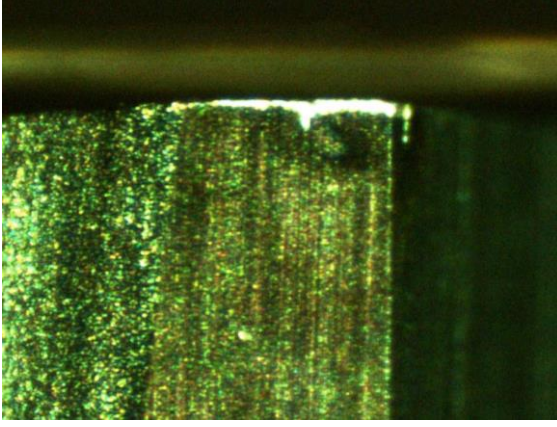
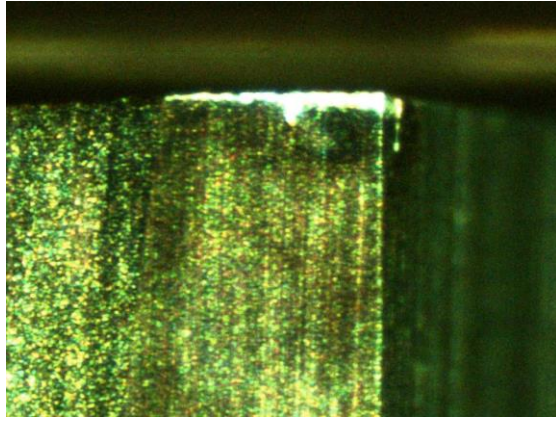
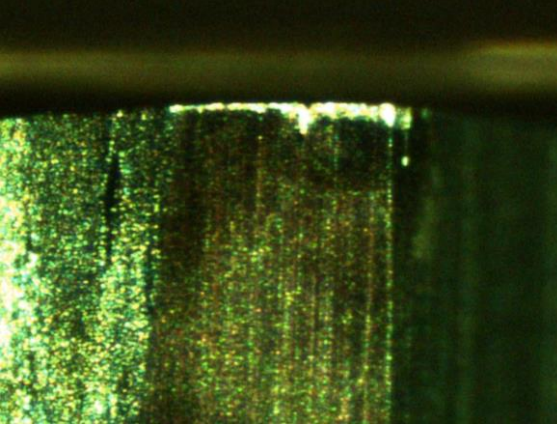
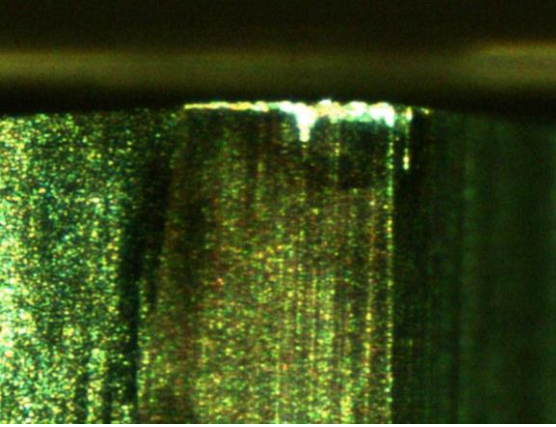
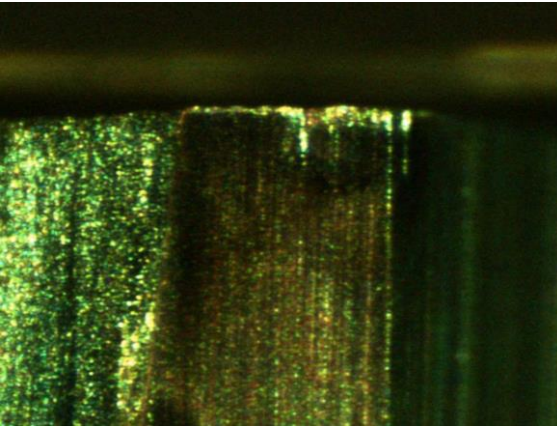
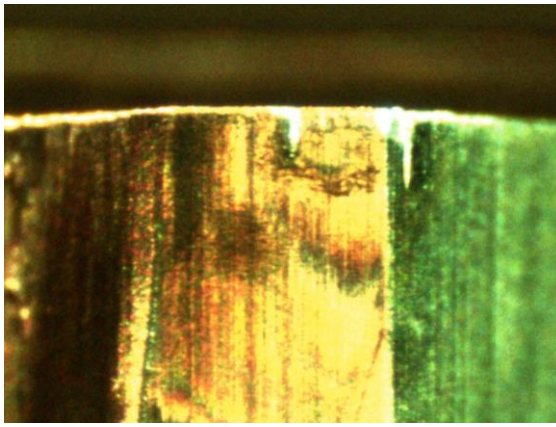


Obr. 4.12 Porovnání opotřebení na hřbetě při dvou řezných rychlostech

V tab. 4.12 jsou zobrazeny snímky opotřebení na hřbetě pro jednotlivé trvanlivosti, u cermetu SC3 při řezné rychlosti $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, focené pomocí mikroskopu. I přes velký zoom mikroskopu nebylo opotřebení na hřbetě vidět v dostatečné kvalitě, a proto byl břit

nástroje přisvícen větší intenzitou světla pomocí lampy. Opotřebení na hřbetě je tedy vidět pouze jako bílý odraz světla.

Tab. 4.12 Ukázka postupného opotřebení na hřbetě u materiálu SC3 ($v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

$VB_{\text{max}} = 0,074 \text{ mm}$ $T = 20 \text{ min}$	$VB_{\text{max}} = 0,081 \text{ mm}$ $T = 40 \text{ min}$
	
$VB_{\text{max}} = 0,081 \text{ mm}$ $T = 60 \text{ min}$	$VB_{\text{max}} = 0,100 \text{ mm}$ $T = 80 \text{ min}$
	
$VB_{\text{max}} = 0,131 \text{ mm}$ $T = 100 \text{ min}$	$VB_{\text{max}} = 0,153 \text{ mm}$ $T = 120 \text{ min}$
	

4.6.2 Cermet SC8

U cermetu SC8 měření probíhalo obdobně jako u cermetu SC3. Nastala zde však komplikace při testování soustružnického nože při rychlosti $v_{c2} = 240 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. V tab. 4.12 jsou zaznamenány hodnoty až do lomu břitu. Hodnoty v níže uvedených tabulkách jsou pro trvanlivost T v min, opotřebení na hřbetě VB v mm a pro parametry drsnosti Ra a Rz v μm .

Pro řeznou rychlost $v_{c1} = 180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ jsou v tab. 4.13 jsou zaznamenány hodnoty z prvního měření a v tab. 4.14 z druhého měření. Z těchto dvou tabulek byla následně vytvořena tab. 4.15, ve které jsou spočteny průměrné hodnoty z měření pro danou řeznou rychlost.

Tab. 4.13 Cermet SC8 první měření ($v_{c1} = 180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$).

T	VB ₁	Ra _{1.1}	Ra _{1.2}	Ra _{1.3}	Ra ₁	Rz _{1.1}	Rz _{1.2}	Rz _{1.3}	Rz ₁
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,076	2,331	2,498	2,450	2,426	12,390	12,440	12,370	12,400
40	0,085	3,159	3,194	3,102	3,152	13,240	13,180	13,850	13,423
60	0,108	3,363	3,346	3,555	3,421	13,880	13,950	13,740	13,857
80	0,128	3,375	3,498	3,581	3,485	13,990	13,910	13,920	13,940
100	0,137	3,462	3,051	3,326	3,280	14,250	14,360	14,120	14,243
120	0,141	3,440	3,596	3,666	3,567	14,480	14,640	14,790	14,637
140	0,153	3,971	3,865	3,914	3,917	15,123	14,987	15,058	15,056

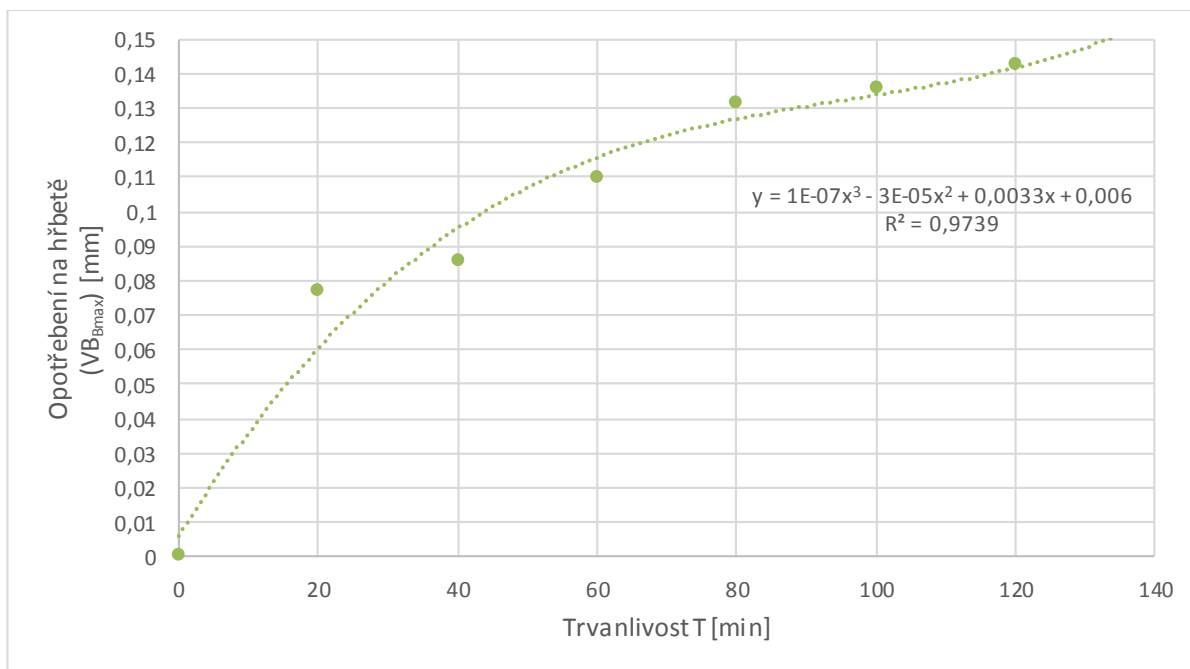
Tab. 4.14 Cermet SC8 druhé měření ($v_{c1} = 180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$).

T	VB ₂	Ra _{2.1}	Ra _{2.2}	Ra _{2.3}	Ra ₂	Rz _{2.1}	Rz _{2.2}	Rz _{2.3}	Rz ₂
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,078	2,401	2,448	2,475	2,441	12,514	12,813	11,999	12,442
40	0,086	3,064	3,226	2,978	3,089	13,108	13,312	14,127	13,515
60	0,111	3,228	3,480	3,591	3,433	14,019	14,508	13,328	13,952
80	0,134	3,443	3,533	3,474	3,483	13,570	13,632	13,781	13,661
100	0,134	3,427	3,143	3,259	3,276	14,393	14,647	14,685	14,575
120	0,144	3,474	3,560	3,703	3,579	14,625	14,201	15,086	14,637
140	0,156	3,931	3,788	3,992	3,904	14,821	14,837	14,606	14,755

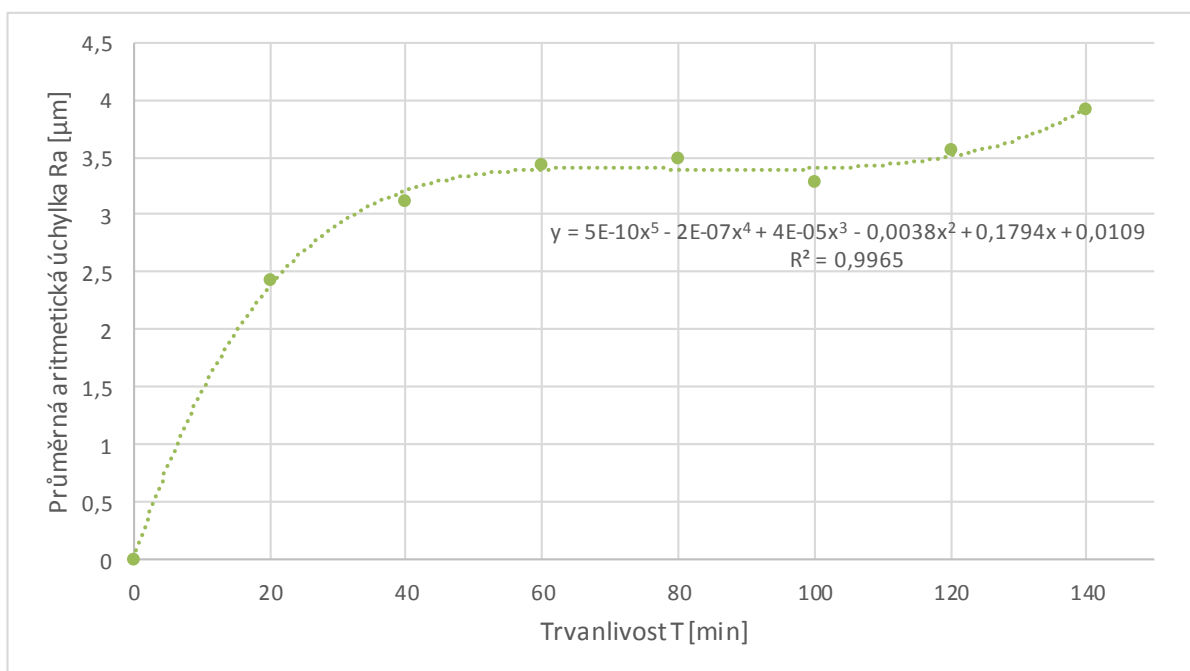
Tab. 4.15 Cermet SC8 střední hodnoty měření ($v_{c1} = 180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$).

T	VB ₁	VB ₂	VB	Ra ₁	Ra ₂	Ra	Rz ₁	Rz ₂	Rz
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,076	0,078	0,077	2,426	2,441	2,434	12,400	12,442	12,421
40	0,085	0,086	0,085	3,152	3,089	3,121	13,423	13,515	13,469
60	0,108	0,111	0,110	3,421	3,433	3,427	13,857	13,952	13,904
80	0,128	0,134	0,131	3,485	3,483	3,484	13,940	13,661	13,800
100	0,137	0,134	0,136	3,280	3,276	3,278	14,243	14,575	14,409
120	0,141	0,144	0,142	3,567	3,579	3,573	14,637	14,637	14,637
140	0,153	0,156	0,155	3,917	3,904	3,910	15,056	14,755	14,905

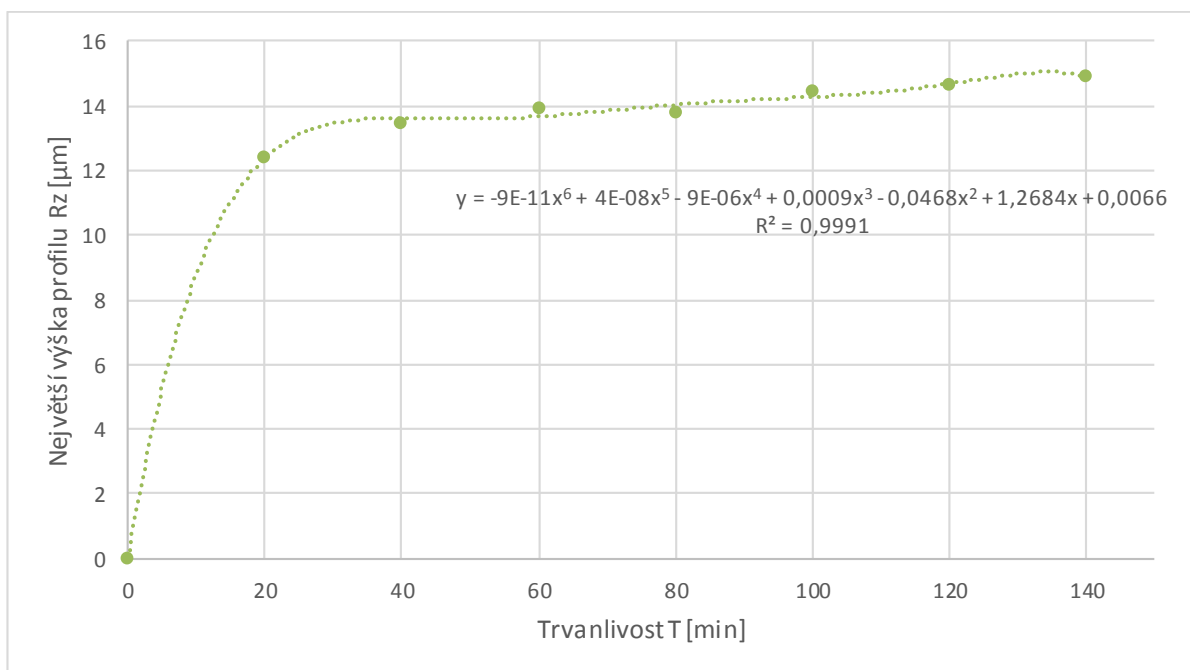
Z hodnot z tab. 4.15 byly vytvořeny níže uvedené grafické závislosti. Na obr. 4.13 je zobrazeno opotřebení na hřbetě v závislosti na trvanlivosti nástroje při řezné rychlosti $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ pro cermet SC8. Na obr. 4.14 až obr. 4.15 jsou zobrazeny průběhy parametrů drsnosti povrchu v závislosti na trvanlivosti nástroje.



Obr. 4.13 Opotřebení na hřbetě v závislosti na trvanlivosti bříty (SC8 - $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).



Obr. 4.14 Průměrná aritmetická úchylna Ra v závislosti na trvanlivosti bříty (SC8 - $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

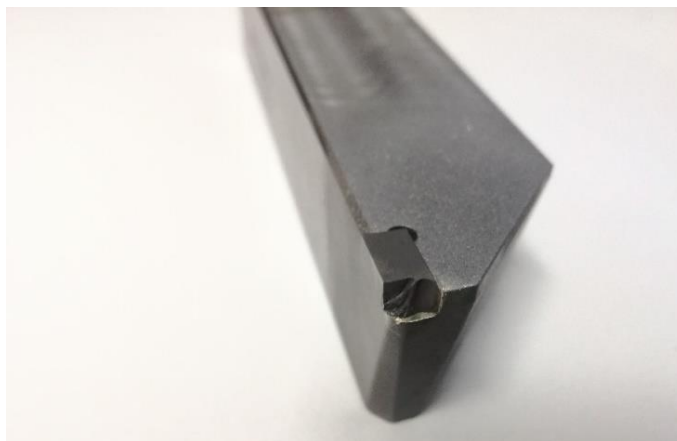


Obr. 4.15 Největší výška profilu Rz v závislosti na trvanlivosti břítu (SC8 - $v_{c1} = 180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

V níže uvedené tab. 4.16 jsou uvedeny hodnoty do lomu břítu. Po vyjmutí nože ze stroje po $T = 80 \text{ min}$ byla cermetová řezná část zlomena a testování bylo přerušeno. Z technických důvodů nebylo možné, operativně provést opravu poškozeného nástroje a pokračovat v testování pro řeznou rychlost $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Dokončení testování bylo ze strany FINAL Tools a.s. odloženo. Na obr. 4.16 je zobrazen nůž s odlomeným břitem. K lomu břítu došlo pravděpodobně v důsledku technologické chyby během výroby nástroje. Bližší odůvodnění lomu břítu je rozebráno v diskuzi.

Tab. 4.16 Cermet SC8 první měření ($v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

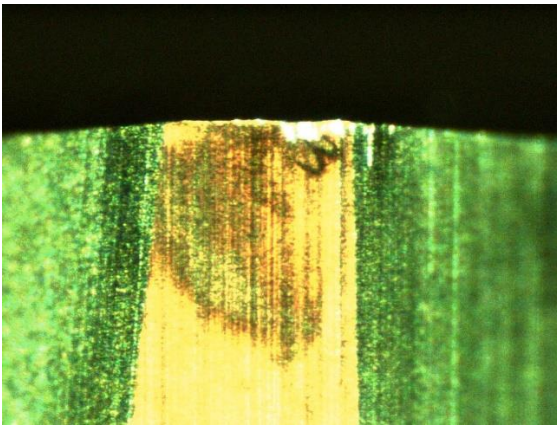
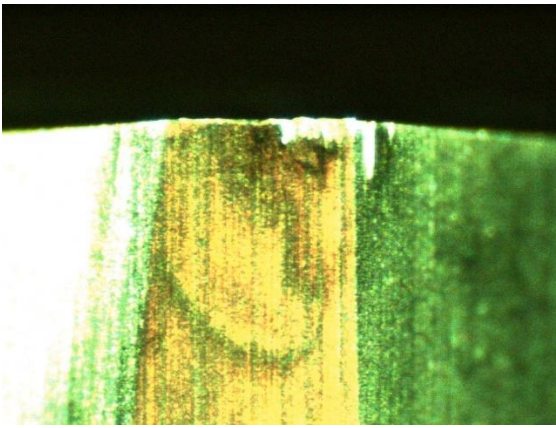
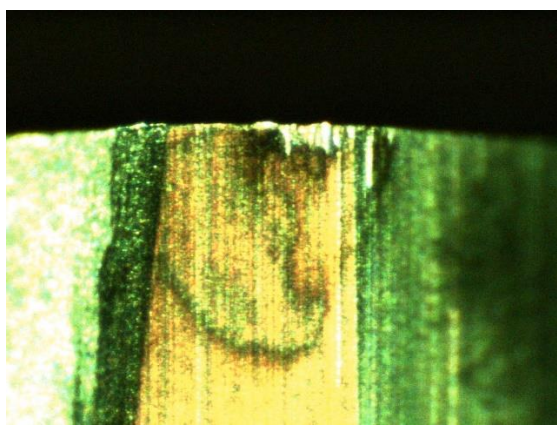
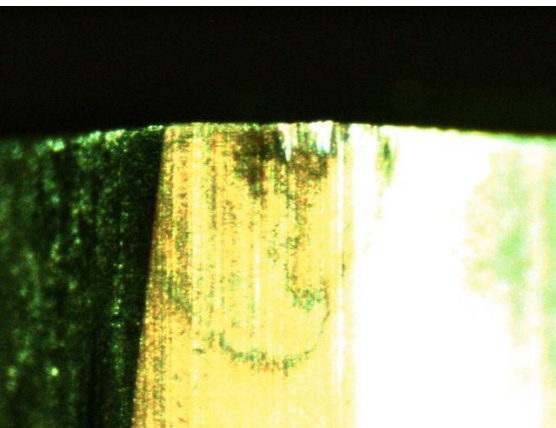
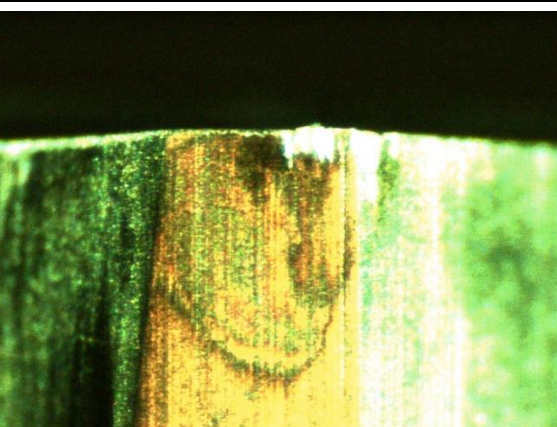
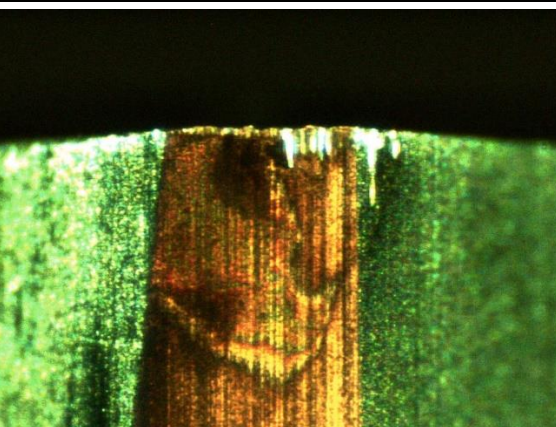
T	VB ₁	Ra _{1.1}	Ra _{1.2}	Ra _{1.3}	Ra ₁	Rz _{1.1}	Rz _{1.2}	Rz _{1.3}	Rz ₁
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0,065	1,981	2,269	2,410	2,220	12,560	12,450	12,360	12,457
40	0,079	2,401	2,359	2,487	2,416	13,120	13,240	13,260	13,207
60	0,103	2,506	2,656	2,407	2,523	13,520	13,870	13,350	13,580
80	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Obr. 4.16 Lom břítu nástroje u cermetu SC8 při řezné rychlosti $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Obdobně jako u cermetu SC3 jsou i pro cermet SC8 v tab. 4.17 zobrazeny snímky opotřebení na hřbetě pro jednotlivé trvanlivosti při řezné rychlosti $v_{c1} = 180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, focené pomocí mikroskopu. Zde je také opotřebení na hřbetě vidět pouze jako bílý odraz světla.

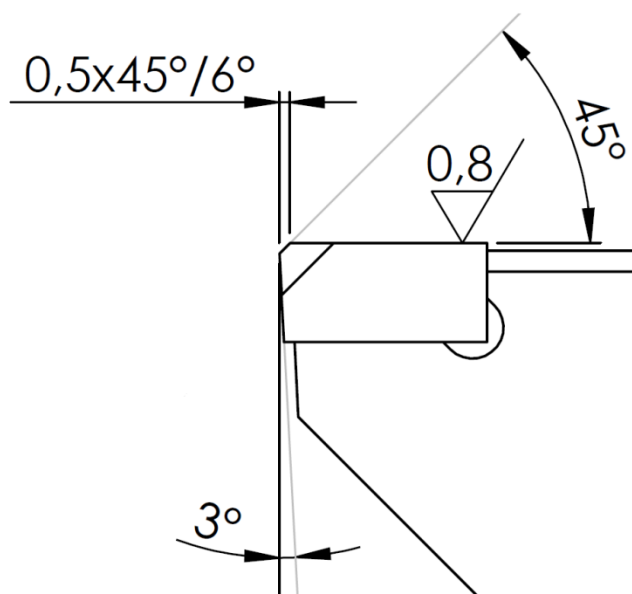
Tab. 4.17 Ukázka postupného opotřebení na hřbetě u materiálu SC8 ($v_{c1} = 180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$).

$VB_{\text{max}} = 0,076 \text{ mm}$ $T = 20 \text{ min}$	$VB_{\text{max}} = 0,085 \text{ mm}$ $T = 40 \text{ min}$
	
$VB_{\text{max}} = 0,108 \text{ mm}$ $T = 60 \text{ min}$	$VB_{\text{max}} = 0,128 \text{ mm}$ $T = 80 \text{ min}$
	
$VB_{\text{max}} = 0,141 \text{ mm}$ $T = 120 \text{ min}$	$VB_{\text{max}} = 0,155 \text{ mm}$ $T = 140 \text{ min}$
	

5 DISKUZE

Z výsledků pro řezný materiál SC3 je zřejmé, že při použití vyšší řezné rychlosti docházelo k pomalejšímu opotřebení na hřbetě nástroje, než při použití nižší řezné rychlosti. Podobných výsledků dosáhli ve své práci i páni M. Kaladhar, K. Venkata Subbaiah a Ch. Srinivasa Rao, kteří zkoumali faktory, které nejvíce ovlivňují opotřebení na hřbetě při obrábění oceli AISI 304 povlakovaným nástrojem vyrobeným ze slinutého karbidu (viz kapitola 3 Opotřebení řezných nástrojů). Výsledky jejich práce ukázaly, že nejzásadnějším faktorem je řezná rychlost. Z obr. 3.4 je patrné, že při použití řezné rychlosti do hodnoty $v_c = 170 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ opotřebení na hřbetě s rostoucí hodnotou řezné rychlosti roste a od hodnoty $v_c = 170 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ opotřebení na hřbetě s vyšší řeznou rychlostí klesá.

Oproti původnímu očekávání dosahovaly naměřené hodnoty drsnosti povrchu vyšších hodnot. Výstružníky mají na nástroji „hladící“ část, která zarovnává případné výstupky vzniklé během odebrání třísky. Geometrie připájené destičky však tuto „hladící“ část neměla a vedlejší ostří je hned od špičky břitu pod úhlem 3° (viz obr. 5.1) a z toho důvodu nebyly vznikající výstupky zahlazovány a drsnost tak dosahovala vyšších hodnot. I přesto má však drsnost povrchu určitou vypovídající hodnotu. Při porovnání cermetů SC3 a SC8 při stejné řezné rychlosti, je patrné, že materiál SC8 dosahoval nižších hodnot průměrné aritmetické úchylky R_a při stejných trvanlivostech.



Obr. 5.1 Pohled shora na břitovou destičku.

Při testování cermetu SC8 došlo při řezné rychlosti $v_{c2} = 240 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ k lomu břitu. Příčinou lomu břitu byla pravděpodobně technologická chyba vnesená během výroby. Jednou z možností je, že během broušení břitu bylo do nástroje vneseno napětí, které zapříčinilo vznik mikrotrhliny a následný lom břitu. Další možností je, že během ručního pájení došlo ke vniku napětí mezi tělem nože a břitovou destičkou, které následně vedlo až k lomu. Obrábění probíhalo na dostatečně tuhém stroji, nepřerušovaným řezem a během procesu nedošlo k žádným rázům a lze tedy říci, že tyto faktory lom břitu nezapříčinily. Pro bližší rozbor problematiky by bylo potřeba břit prozkoumat pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu.

ZÁVĚR

V rámci předkládané práce byla navržena metodika řezných zkoušek pro porovnání užitečných vlastností různých cermetů, doporučených výrobcem pro břitý výstružník. Zkouška byla provedena soustružením. Použité pracovní podmínky se blížily procesu vystružování. Volba technologie soustružením umožnila testování zkrátit a zjednodušit výrobu nástrojů, tzn. soustružnických nožů, oproti výstružníkům. Uvedený postup umožnil prvotní hodnocení testovaných cermetů. Pro komplexní a dlouhodobé zkoušky bude ve společnosti FINAL Tools a.s. navazovat testování reálných výstružníků.

Z naměřených hodnot je zřejmé, že při řezné rychlosti $v_{c1} = 180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ dosahuje lepších výsledků cermet SC8, který měl při hodnotě opotřebení $VB_{Bmax} = 0,15 \text{ mm}$ trvanlivost $T = 133 \text{ min}$ a průměrnou aritmetickou úchylku cca $Ra = 3,90 \text{ }\mu\text{m}$, zatímco cermet SC3 při stejných řezných podmínkách dosáhl hodnoty $VB_{Bmax} = 0,15 \text{ mm}$ již při trvanlivosti $T = 96 \text{ min}$ a při průměrné aritmetické úchylce cca $Ra = 4,85 \text{ }\mu\text{m}$. Pro řeznou rychlost $v_{c2} = 240 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ z důvodu lomu břitu při testování cermetu SC8 bylo testování ukončeno a není možné v této fázi mezi sebou jednotlivé cermety porovnat. Z technických důvodů nebylo možné, operativně provést opravu poškozeného nástroje a pokračovat v testování pro řeznou rychlost $v_{c2} = 240 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Dokončení testování bylo ze strany FINAL Tools a.s. odloženo. FINAL Tools a.s. a VUT, bude podle navržené metodiky zkoušek, pokračovat v realizaci zkoušek a vyhodnocení cermetů.

Důležitým faktorem při obrábění je řezná rychlost, která zásadně ovlivňuje trvanlivost a kvalitu povrchu. Při testování cermetu SC3 bylo dosaženo lepších výsledků trvanlivosti i drsnosti povrchu při použití řezné rychlosti $v_{c2} = 240 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, u které dosahoval břit trvanlivosti $T = 117 \text{ min}$ a průměrné aritmetické úchylky cca $Ra = 2,200 \text{ }\mu\text{m}$, zatímco při řezné rychlosti $v_{c1} = 180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ dosahoval břit trvanlivosti $T = 96 \text{ min}$ a průměrné aritmetické úchylky cca $Ra = 4,850 \text{ }\mu\text{m}$. Cermety jsou obecně doporučovány pro vyšší řezné rychlosti. Je velmi pravděpodobné, že při použití vyšší řezné rychlosti nad $250 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ by bylo dosaženo ještě lepších hodnot opotřebení i drsnosti povrchu. Výše uvedené vede k předpokladu, že moderní cermety jsou vhodné pro řezné rychlosti $200 \div 300 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Pro vyšší řezné rychlosti může, vzhledem k obvykle malým průměrům výstružníků, být obtížné dosáhnout potřebných otáček na konkrétním obráběcím stroji.

Jak již bylo zmíněno v diskuzi, pro kvalitu povrchu je důležitá geometrie břitu nástroje. Během testování bylo zjištěno, že geometrie břitu nebyla vhodně zvolena a u parametru Ra bylo dosaženo vyšších hodnot, než je typické pro vystružování. To však na cíl práce nemá zásadní vliv, protože geometrie byla shodná pro oba testované cermety, a proto lze vyslovit tvrzení, který cermet dosahoval lepších výsledků.

Práce slouží jako podklad pro první klasifikaci testovaných cermetů mezi stávající cermety používané firmou FINAL Tools a.s. a lze říci, že lepších hodnot a to jak trvanlivosti, tak i drsnosti povrchu dosahoval cermet SC8. V práci se nadále pokračuje s cílem otestovat další dva druhy cermetů a rozšířit testování o další řezné rychlosti, díky kterým by bylo možné pro dané materiály sestavit T - v závislost.

Všechny vytyčené cíle diplomové práce byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HUMÁR, Antonín. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 1.část* [online]. 2003 [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [2] *Nástrojové materiály* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: http://utopm.fs.id.cvut.cz/podklady/ON/2013_1_Nastrojove_materialy.pdf
- [3] *OSTRAVSKÁ UNIVERZITA: Slinuté karbidy* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <http://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/03007.html>
- [4] *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ V PŘÍKLADECH: Materiály řezných nástrojů* [online]. 2013, , 113 [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_003/Technologie%20obrabeni%20v%20p%20C5%99%20C3%ADkladech.pdf
- [5] *MM Průmyslové spektrum: Trendy v povlakování slinutých karbidů* [online]. 2001, (7), 43 [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>
- [6] *CERMETY A JEJICH EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ* [online]. Brno, 2011 [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37881. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.
- [7] *MATERIÁLY PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE* [online]. 2006 [cit. 2018-02-02]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
- [8] *Sandvik Coromant: Cermet* [online]. [cit. 2018-01-25]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/cutting_tool_materials/cermet
- [9] *History of Development of Cemented Carbides and Cermet* [online]. 2016, , 5 [cit. 2018-01-24]. Dostupné z: <http://global-sei.com/technology/tr/bn82/pdf/82-03.pdf>
- [10] *MM Průmyslové spektrum: Prášková metalurgie a její využití* [online]. 2002, (11) [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/praskova-metalurgie-a-jeji-vyuziti.html>
- [11] *Prášková metalurgie* [online]. In: . s. 84 [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <https://www.opi.zcu.cz/praskova-metalurgie.pdf>
- [12] *MM Průmyslové spektrum: Trendy v PVD a CVD povlakování* [online]. 2014, (11) [cit. 2018-01-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-pvd-a-cvd-povlakovani.html>
- [13] *MM Průmyslové spektrum: Současnost a trendy povlakování technologií PVD* [online]. 2013, (4) [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-a-trendy-povlakovani-technologie-pvd.html>
- [14] *VÝROBA VBD A DRUHÝ POVLAKŮ* [online]. , 6 [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrabeni_331.pdf
- [15] *PVD povlakování* [online]. [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: <http://www.bohler-uddeholm.cz/media/PVD.pdf>

- [16] *CVD technologie* [online]. [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: <http://www.bohler-uddeholm.cz/media/CVD.pdf>
- [17] *MM Průmyslové spektrum: Nová generace povlakovaných cermetů* [online]. 2016, (4) [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/c/lanek/nova-generace-povlakovanych-cermetu.html>
- [18] *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/reamer_830/Pages/default.aspx
- [19] *DIATool* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://diatool.de/en/products/reaming-tools.html>
- [20] *GUHRING* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.guehring.de/en/products/reamers.php>
- [21] *KENNAMETAL* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/en/products/20478624/556249/3924463/8378384.html>
- [22] *Seco Tools* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: https://www.secotools.com/#article/m_7140
- [23] *BECK* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.beck-tools.de/en/products/machine-reamers/>
- [24] *MAPAL* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.mapal.com/cz/products/reaming-fine-boring/>
- [25] *FINAL Tools* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.ham-final.cz/?page=katalog>
- [26] *CERATIZIT* [online]. [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: <http://www.ceratizit.com/>
- [27] *CYC* [online]. [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: <https://www.cycarbide.com/en/product-548720/Cermet-rod.html>
- [28] *HHT – Hartmetall* [online]. [cit. 2018-02-24]. Dostupné z: http://www.hht-hartmetall.com/en/product_range.html
- [29] *Langfeng Metallic* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://www.langfengmetallic.com/ti/>
- [30] *Metcera* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://www.metcera.net/show-16-13-1.html>
- [31] *Mitsubishi Materials* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <http://blank.mitsubishicarbide.com/en>
- [32] *KYOCERA Precision Tools* [online]. [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://www.kyoceraprecisiontools.com/indexable/turning/grades/steel/tn620-pv720/>
- [33] *Tungaloy* [online]. [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <https://www.tungaloy.com/cz/product/iso-turning/>
- [34] *SUMITOMO* [online]. [cit. 2018-03-03]. Dostupné z: <http://www.sumitool.com/en/products/cutting-tools/inserts/grades/t1000a-t1500a.html>

- [35] ČEP, Robert a Jana PETRŮ. *ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ* [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2018-02-08]. ISBN 978-80-248-3013-1. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_002/%C3%9Avod%20do%20teorie%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/02%20Text%20pro%20e-learning/%C3%9Avod%20do%20teorie%20obrabeni%2004%20Opot%C5%99eben%C3%AD%20C5%99ezn%C3%BDch%20n%C3%A1stroj%C5%AF.pdf
- [36] *MM Průmyslové spektrum: Příručka pro technology - Opatření se nevyhne!* [online]. 2012, (6) [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhne.html>
- [37] *Sandvik Coromant: Opatření nástroje* [online]. [cit. 2018-02-08]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/troubleshooting/tool_wear/
- [38] *Journal of Engineering Science and Technology: OPTIMIZATION OF SURFACE ROUGHNESS AND TOOL FLANK WEAR IN TURNING OF AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEEL WITH CVD COATED TOOL* [online]. 2013, (2) [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: [http://jestec.taylors.edu.my/Vol%208%20Issue%202%20April%2013/Volume%20\(8\)%20Issue%20\(2\)%20165-176.pdf](http://jestec.taylors.edu.my/Vol%208%20Issue%202%20April%2013/Volume%20(8)%20Issue%20(2)%20165-176.pdf)
- [39] J. PAULO DAVIM a EDITOR. *Surface integrity in machining*. London: Springer, 2010. ISBN 9781848828742.
- [40] *Tumlikovo* [online]. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>
- [41] BUMBÁLEK, Bohumil. *INTEGRITA POVRCHU A JEJÍ VÝZNAM PRO POSOUZENÍ VHODNOSTI DANÉ PLOCHY PRO JEJÍ FUNKCI* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf
- [42] TECHNIK, Radim. *VYSTRUŽOVACÍ NÁSTROJE S BŘÍTY Z CERMETU A PVD POVLAKEM* [online]. Brno, 2009 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16486. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
- [43] *Bohdan Bolzano* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_oce/EN_10083/MOP_vlastnosti_C45.pdf
- [44] *United Cast Bar* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://www.unitedcastbar.cz/storage/get/104-en-gjs-600-3.pdf>
- [45] *DMG MORI* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://en.dmgmori.com/products/machines/turning/turn-mill/ctx-tc/ctx-beta-1250-tc>
- [46] *Mahr* [online]. [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://www.mahr.com/cs/Services/Production-metrology/Products/MarSurf---Mobile-Roughness-Measuring-Units/MarSurf-M-300---Mobile-roughness-measuring-instrument/#DownloadBox>
- [47] *DIRECT INDUSTRY* [online]. [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: <http://pdf.directindustry.com/pdf/avyac-machines/multicheck-pc500/32404-456983.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
A_{min}	[%]	tažnost
C_T	[-]	konstanta
C_v	[-]	konstanta
KT	[mm]	hloubka výmolu na čele
KV_y	[mm]	radiální opotřebení špičky
R_a	[μ m]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_e	[MPa]	mez kluzu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
R_p	[μ m]	výška největšího výstupku profilu
R_q	[μ m]	střední kvadratická hodnota drsnosti
R_t	[μ m]	celková výška profilu
R_v	[μ m]	největší hloubka prohlubně profilu
R_z	[μ m]	největší výška profilu
T	[min]	trvanlivost
VB	[mm]	šířka fazetky
Z_p	[μ m]	výška nejvyššího výstupku profilu
Z_v	[μ m]	hloubka nejnižší prohlubně profilu
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku
l_n	[mm]	vyhodnocovaná délka
l_r	[mm]	základní délka
m	[-]	exponent
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost

Zkratka	Jednotka	Popis
CNC	[-]	Computer Numerical Control
CVD	[-]	Chemical Vapor Deposition
SK	[-]	slinutý karbid
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
HRA	[-]	tvrdost dle Rockwella
KNB	[-]	kubický nitrid boru
NC	[-]	Numerical Control
PACVD	[-]	Plasma assisted - CVD
PD	[-]	polykrystalický diamant
PKNB	[-]	polykrystalický kubický nitrid boru
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition
RO	[-]	rychlořezná ocel
VBD	[-]	výměnná břitová destička

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres cermetového soustružnického nože

PŘÍLOHA 1

