

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VLIV VELIKOSTI ZAOBLENÍ OSTŘÍ NA TRVANLIVOST VBD

ON THE INFLUENCE OF CUTTING LENGTH ON TOOL LIFE OF INDEXABLE INSERTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN TOMIS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MARTIN BINDER

BRNO 2008

--

ABSTRAKT

Vyhodnocení zkoušek trvanlivosti vyměnitelné břitové destičky APKX1505PDER-M firmy Pramet Tools s. r. o., zaměřených na posouzení vlivu velikosti zaoblení ostří nástroje. Určení nejvhodnější velikosti zaoblení ostří pro maximální trvanlivost.

Klíčová slova

Zaoblení ostří, trvanlivost nástroje, opotřebení nástroje, zkoušky trvanlivosti.

ABSTRACT

Analysis of tool life tests of indexable insert APKX1505PDER-M by company Pramet Tools Ltd., focused to examination of the influence of Cutting Edge Radius on Tool life. Determination the best size of Honing Cutting Edge for maximum Tool life.

Key words

Honing Cutting edge, tool life, tool wear, tests of tool life.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOMIS, Jan. *Vliv velikosti zaoblení ostří na trvanlivost VBD: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. s. 51, 1. příloha. Vedoucí práce Ing. Martin Binder.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv velikosti zaoblení ostří na trvanlivost VBD vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 20. 5. 2008

.....
Jan Tomis

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Binderovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce, společnosti Pramet Tools s. r. o. za poskytnutí údajů ze zkoušek, společnosti SHM s. r. o. za poskytnutí snímků z elektronového mikroskopu.

OBSAH

Abstrakt.....	3
Prohlášení.....	4
Poděkování	5
Obsah	6
Úvod.....	7
1 PODSTATA ŘEZNÉHO PROCESU.....	8
1.1 Popis řezného klínu	8
1.2 Tvary třísek a jejich členění	9
1.3 Zaoblení ostří.....	10
2 VYMĚNITELNÉ BŘITOVÉ DESTIČKY	14
2.1 ISO systém značení VBD	14
2.2 Technologie výroby VBD ze slinutých karbidů.....	15
2.2.1 Skupiny materiálů slinutých karbidů podle ISO 513.....	15
2.2.2 Výroba VBD.....	17
3 OPOTŘEBENÍ VBD	21
3.1 Základní rozdělení opotřebení	21
3.2 Druhy opotřebení vhodná pro měření trvanlivosti nástroje	22
4 PRŮBĚH ZKOUŠKY TRVANLIVOSTI	25
4.1 VBD APKX 1505PDER-M	25
4.2 Stroje a zařízení	26
5 ZKOUŠKA TRVANLIVOSTI VBD APKX1505PDER-M	29
5.1 Zkouška na oceli 12 050.1 s chlazením.....	29
5.2 Zkouška na oceli 12 050.1 bez chlazení.....	32
5.3 Zkouška na oceli 17 349.4 bez chlazení.....	35
5.4 Zkouška na litině 42 2425 s chlazením.....	39
5.5 Zkouška na litině 42 2425 bez chlazení.....	42
6 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ.....	45
Závěr.....	46
Seznam použitých zdrojů	47
Seznam použitých zkratk a symbolů	48
Seznam příloh.....	49

ÚVOD

Rozvoj průmyslové výroby roste v závislosti s rozvojem strojírenství. Vývoj nových konstrukcí a materiálů s sebou přináší stále výkonnější prostředky pro výrobu. V oblasti obrábění se v posledních letech vývoj značně urychlil použitím výkonných číslicově řízených strojů. Jelikož jsou pořizovací náklady na tyto nové stroje značné, je nutné využívat je v maximální možné míře s minimálními prostoji.

Vliv nástroje na celkové náklady obrábění je asi 3 %. Ale velký vliv má nástroj na ostatní náklady (prostoje při výměně nástrojů, ostření nástrojů). Proto se stále vyvíjejí nové nástroje, které mohou pracovat delší dobu při vyšších zatíženích bez nutnosti výměny. Nejčastěji používanými nástrojovými materiály pro třískové obrábění jsou v dnešní době slinuté karbidy, které se používají ve formě vyměnitelných břitových destiček – VBD.

Vývoj VBD se dělí na vývoj nových materiálů (gradientní povlaky, snižování velikosti zrn substrátů), geometrie destiček (nové tvary utvařečů třísek), technologie výroby (zaoblování ostří, pískování povrchu pro zlepšení adheze substrátu).

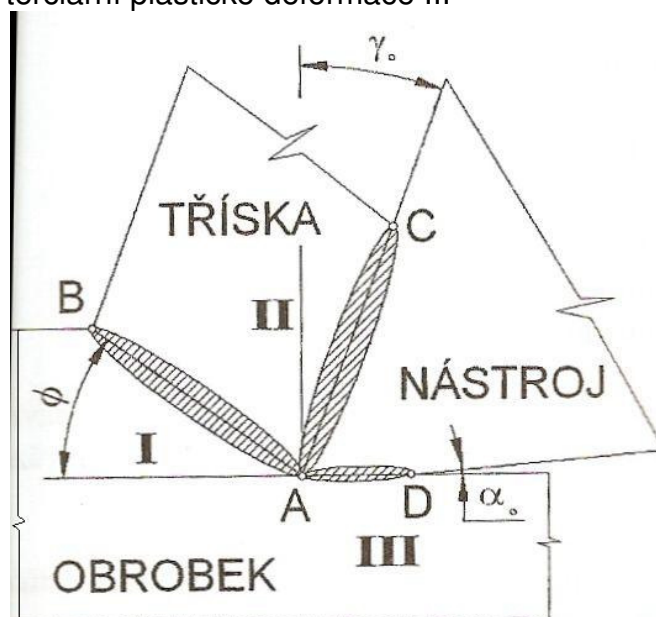
Využitím těchto nových poznatků mohou destičky ze slinutých karbidů dále zvyšovat svou výkonnost a tím přispívat k růstu efektivity strojírenské výroby.

1 PODSTATA ŘEZNÉHO PROCESU

1.1 Popis řezného klínu

Obrábění je charakterizováno úběrem materiálu ve formě třísek z výchozího polotovaru řezným nástrojem na obráběcím stroji a to tak dlouho dokud nedosáhneme požadovaného tvaru a jakosti obrobku. V závislosti na způsobu úběru materiálu je možné řezný proces rozdělit na plynulý (soustružení, vrtání) a přerušovaný (frézování). Proces obrábění je především procesem intenzivní plastické deformace podél roviny maximálních smykových napětí. Při tvorbě třísky prochází obráběný materiál velmi rychle mezním stavem pružné napjatosti, plastické napjatosti a oddělení nastane formou lomového porušení. Tyto děje probíhají velmi rychle a nelze je snadno pozorovat. Oblast materiálu, ve které dochází vlivem řezného nástroje k tvorbě třísky nazýváme kořenem třísky. Kořen třísky zahrnuje přibližně tři oblasti plastické deformace – obr. 1.1:^{5,7,10}

- oblast primární plastické deformace I
- oblast sekundární plastické deformace II
- oblast terciární plastické deformace III



Obr. 1.1 Oblasti plastických deformací v kořenu třísky⁵

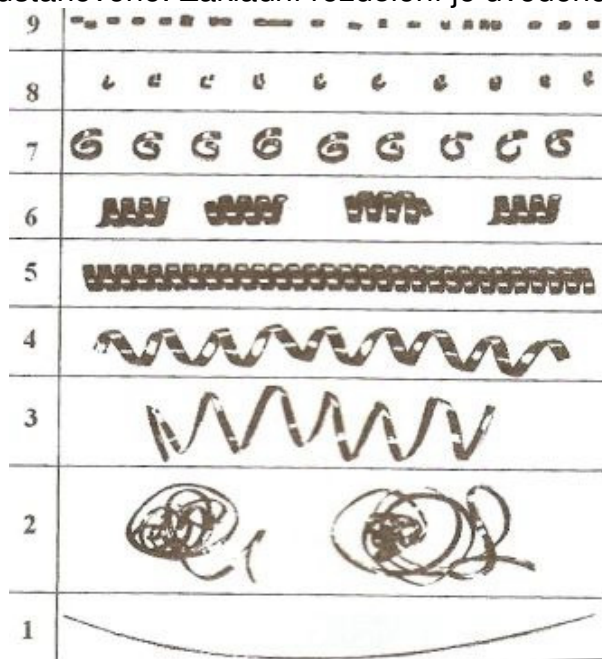
Řezný nástroj je znázorněn jako klín vnikající do obrobku, který má specifické geometrické rozměry jenž ovlivňují síly působící na ostří i velikosti sil přetvářejících třísku. Proces utváření třísky je ovlivňován jak makrogeometrií nástroje (profil nástroje, řezné úhly) tak jeho mikrogeometrií (zaoblení ostří).^{5,7,10}

1.2 Tvary třísek a jejich členění

Třísky tvoří odpadní produkt vznikající při obrábění. Tvar třísky je důležitým faktorem obráběcího procesu. Nejdůležitější faktory ovlivňující tvar třísky jsou:

- vlastnosti obráběného materiálu
- geometrie nástroje
- řezné podmínky

Třísky je možné rozdělit podle různých kritérií. Jejich členění není jednotně ustanoveno. Základní rozdělení je uvedeno na obr. 1.2 a 1.3.

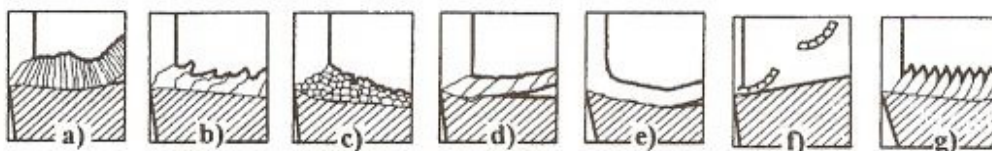


Z pohledu odstraňování třísek od obráběcího stroje je důležitá jejich velikost. Nejvhodnější tvar třísky je krátký článkový. Nejvíce se tvar třísky projeví při obrábění na automatizovaných obráběcích strojích. V praxi je zaveden objemový součinitel třísek W , jenž je dán poměrem objemu volně sypaných třísek a objemu odebraného materiálu.^{5,7}

Obr. 1.2 Dělení třísek podle firmy SECO Tools, 1-5 nevyhovující, 6 -9 vyhovující⁷

$$W = \frac{V_s}{V_m} \quad (1.1)$$

V_s – objem volně sypaných třísek
 V_m – objem odebraného materiálu

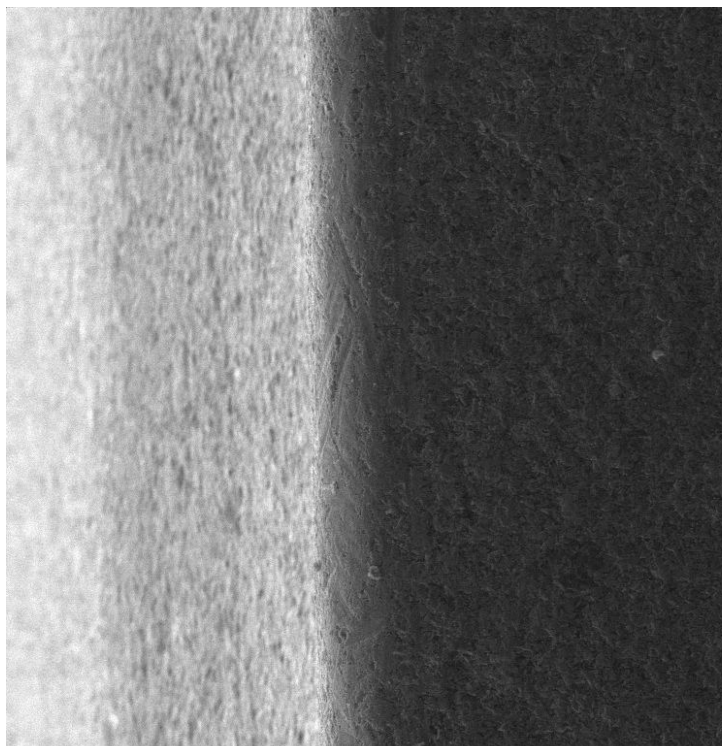


a – plynulá článková soudržná tříska; b – plynulá soudržná lamelová tříska; c – tvářená elementární tříska; d- nepravidelně článková plynulá tříska; e – tvářená plynulá soudržná tříska; f – dělená segmentová tříska; g – plynulá segmentová tříska

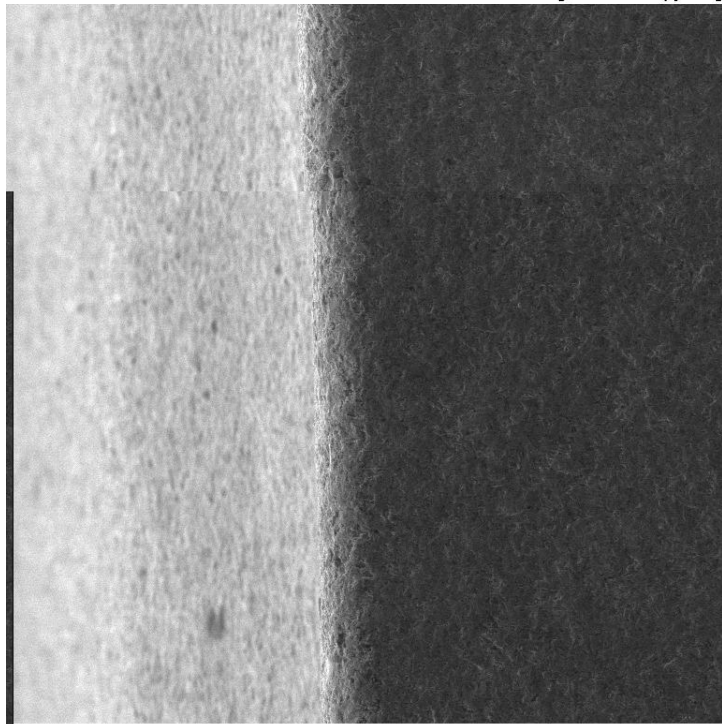
Obr. 1.3 Základní druhy tvářených třísek při obrábění kovů⁷

1.3 Zaoblení ostří

Skutečný tvar nástroje je odlišný od tvaru teoretického. Odlišnosti jsou dány



SEM MAG: 800 x DET: SE Detector HV: 20.00 kV DATE: 02/13/08 VAC: HiVac Device: VG3190676CZ 100 µm Vega ©Tesc Digital Microscopy Imaging

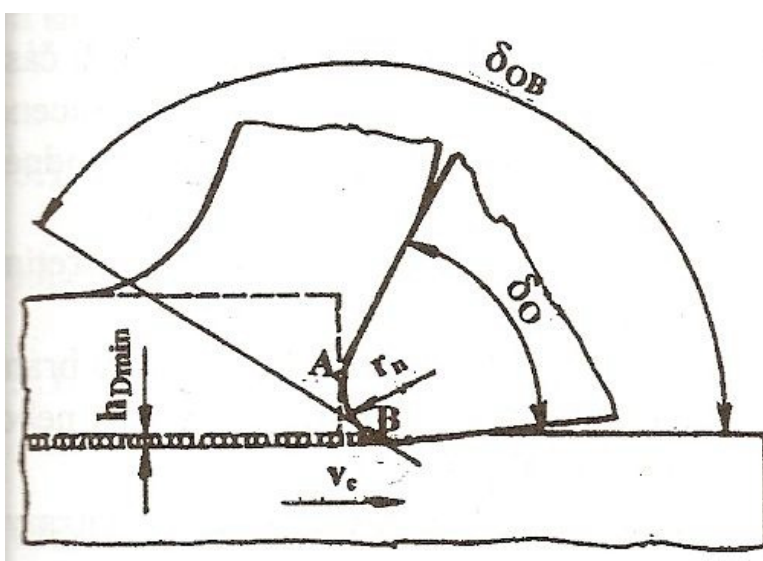


SEM MAG: 800 x DET: SE Detector HV: 20.00 kV DATE: 02/13/08 VAC: HiVac Device: VG3190676CZ 100 µm Vega ©Tesc Digital Microscopy Imaging

jednak nepřesnostmi geometrie nástroje při jeho výrobě, ale také cílenou úpravou ostří nástroje. Na ostří nástroje je vytvořeno malé zaoblení R_n v řádu desítek mikrometrů (15-70). Zaoblení ostří ovlivní jak mikrogeometrii nástroje tak i jakost povrchu ostří. Zaoblené ostří je mnohem méně pórovité s menším množstvím mikrovýstupků – obr. 1.4.

Vytvořením takového zaoblení je realizován vznik negativního úhlu čela a konečný povrch obrobené plochy nevznikne řezáním, ale tvářením. S tímto jevem souvisí i určitá minimální hodnota jmenovité tloušťky řezu, která se dá pro dané podmínky ještě realizovat – obr. 1.5.⁷

Obr.1.4 Rozdíl pórovitosti a jakosti povrchu zaobleného a nezaobleného ostří



h_{Dmin} – minimální hloubka třísky

Obr. 1.5 Ortogonální řezání nástrojem s reálným ostřím⁷

Na volbu velikosti zaoblení ostří má vliv několik faktorů. Je to jednak geometrie nástroje (nástroj s fazetkou nebo bez fazetky), volba obráběného materiálu, druh obráběcí operace (hrubování, dokončování). Při volbě velikosti zaoblení ostří se musí rovněž přihlídnout k volbě velikosti špičky nástroje.



Obr. 1.6 – Elektronový mikroskop TESCAN Vega LMH¹⁴

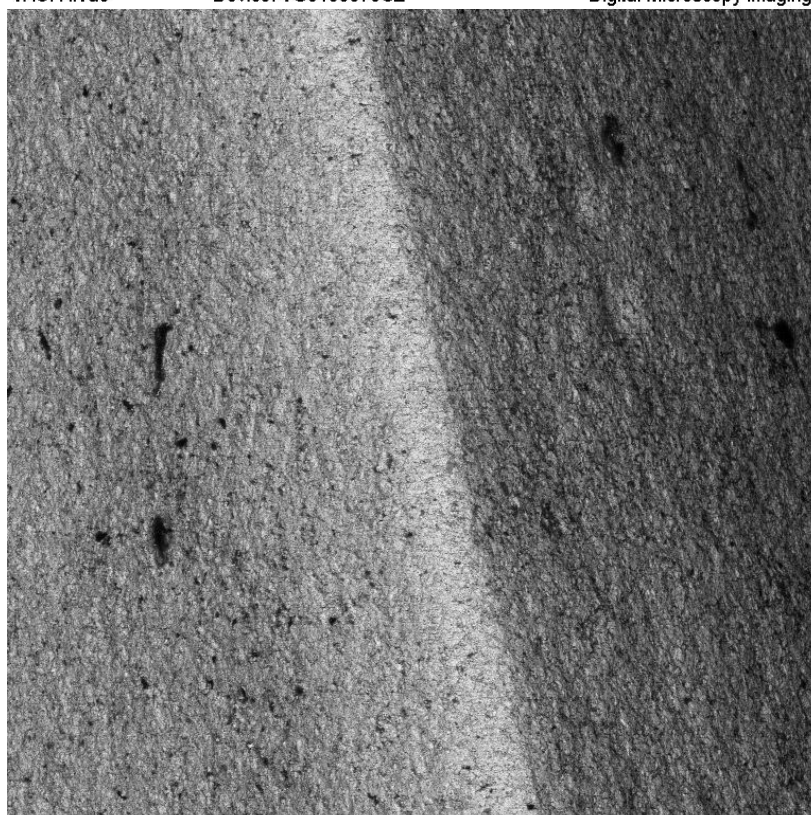
Realizace zaoblení v praxi znamená začlenění další operace v procesu výroby nástroje. Pro úpravy ostří je možné použít různé metody. Patří k nim především pískování, omílání, kartáčování, lapování, magnetické leštění, proudové broušení nebo laser. Podstatou většiny metod je působení abrazivních částic na břit. Jejich účinek na obrobek je

zprostředkován vhodným médiem (vzduch, pasta, pojivo, vlákno, magnet). Rychlostí a dobou pohybu abraziva nebo obrobku dojde k vytvoření požadovaného zaoblení hran. Rozdíl mezi zaobleným a nezaobleným břitem je patrný z obr. 1.7.^{4, 10}

Obrázky zaoblení byly pořízeny na elektronovém mikroskopu TECAN Vega LMH – obr. 1.6.



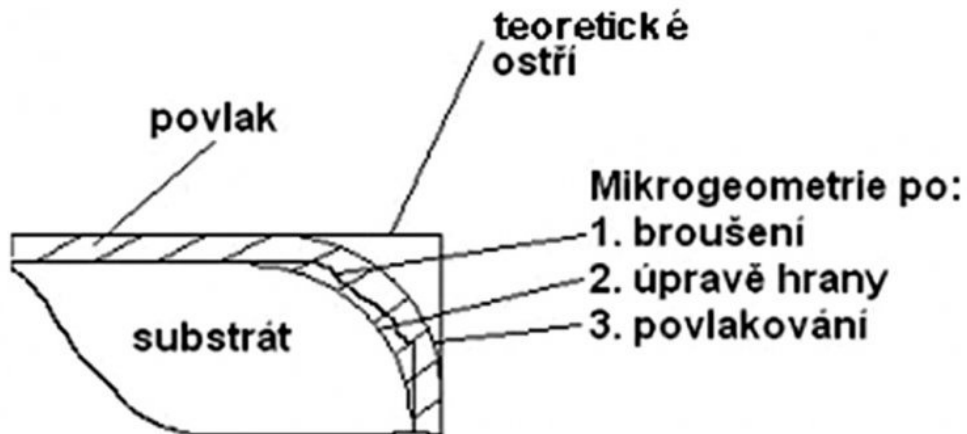
SEM MAG: 600 x DET: BSE Detector
HV: 20.00 kV DATE: 02/13/08 100 µm Vega ©Tescan
VAC: HiVac Device: VG3190676CZ Digital Microscopy Imaging



SEM MAG: 600 x DET: BSE Detector
HV: 20.00 kV DATE: 02/13/08 100 µm Vega ©Tescan
VAC: HiVac Device: VG3190676CZ Digital Microscopy Imaging

Obr. 1.7 Zaoblené a nezaoblené ostří nástroje

Změnou jakosti povrchu a tvaru ostří je zmenšován vliv mikrotrhlin na porušení nástroje. Tím dojde značně k ovlivnění trvanlivost nástroje při obrábění. Volbou větší velikosti zaoblení ostří je zvyšována jeho pevnost, ale roste řezný odpor a tím narůstají další negativní vlivy působící na břit (síly, teplota). Při volbě velikosti zaoblení je nutno přihlídnout i k volbě povlaku nanášeného na konkrétní VBD, jelikož tloušťka povlaku ovlivní velikost zaoblení R_n – obr. 1.8.



Obr. 1.8 Schéma břitu nástroje¹⁰

2.2 Technologie výroby VBD ze slinutých karbidů

Slinutý karbid je nejpoužívanějším materiálem pro výrobu vyměnitelných břitových destiček a existuje velký počet variant pro nejrůznější použití. Podle svého použití jsou slinuté karbidy děleny do skupin klasifikovaných normou ISO 513.

Materiály pro výrobu VBD mají tyto základní vlastnosti : vysoká odolnost proti otěru, vysoká tvrdost a houževnatost. V dnešní době se používá především slinutých práškových kovů ve formě karbidů WC TiC TaC NbC, jako pojivo je použit Co nebo Ni.

2.2.1 Skupiny materiálů slinutých karbidů podle ISO 513

Skupina P – je vhodná pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku (uhlíkové oceli, ocelolitiny). Označuje se modrou barvou. Skupina P obsahuje zvýšené množství TiC a TaC, které zlepšují odolnost opotřebení na čele nástroje.

Tab. 2.1 Skupina P^{3,13}

P	P01	Ocel, Ocelolitina	Jemné soustružení a vyvrtávání – vysoké řezné rychlosti, malé posuvy
	P10		Soustružení, kopírování, řezání závitů, frézování
	P20	Ocel, ocelolitina, temperovaná litina	Soustružení, kopírování, frézování – střední řezné rychlosti, střední posuvy
	P30		Soustružení, hoblování, frézování – střední až nízké řezné rychlosti, střední až vysoké posuvy
	P40	Ocel, ocelolitina s pískem a kůrou	Soustružení, hoblování, obrážení, částečně práce na automatech – nízké řezné rychlosti, velké posuvy
	P50	Ocel, ocelolitina střední nebo nižší pevnosti, s pískem a kůrou	Soustružení, hoblování, obrážení, práce na automatech, nízké řezné rychlosti, velké posuvy
Chemické složení: WC (30-82%) + TiC (8-64%) + Co (5-17%) + TaC.NbC			

Skupina M – je vhodná pro obrábění materiálů tvořících dlouhou a střední třísku (litě oceli, austenitické korozivzdorné oceli, tvárné litiny). Označuje se žlutou barvou. Slinuté karbidy této skupiny mají vysokou houževnatost a jsou často používány na těžké hrubování a přerušované řezy. K opotřebení nástroje dochází hlavně vydrolováním ostří.

Tab. 2.2 Skupina M^{3,13}

M	M10	Ocel, manganová ocel, ocelolitina, šedá litina, legovaná litina	Soustružení – střední až vysoké řezné rychlosti, malé až střední posuvy
	M20	Ocel, austenitická a manganová ocel, ocelolitina, šedá a temperovaná litina	Soustružení, frézování, - střední řezné rychlosti, střední posuvy
	M30	Ocel, austenitická ocel, žárovevné materiály, ocelolitina, šedá litina	Soustružení, hoblování, frézování – střední řezné rychlosti, střední až velké posuvy
	M40	Ocel nízké pevnosti, automatová ocel, neželezné kovy a lehké kovy	Soustružení, tvarové soustružení, upichování – zvláště na automatech
Chemické složení: WC (79-84%) + TiC (5-10%) + Co (6-15%) + TaC.NbC (4-7%)			

Skupina K – je vhodná pro materiály, které tvoří krátkou droбивou třísku (litiny, neželezné kovy). Označuje se červenou barvou. K opotřebení nástroje dochází hlavně obrazí a adhezí. Materiály této skupiny nejsou vhodné pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku.

Tab. 2.3 Skupina K^{3,13}

K	K01	Kalená ocel, šedá litina s vysokou tvrdostí, plastické hmoty, keramické látky	Soustružení, jemné vyvrtávání, frézování na čisto, škrábání
	K10	Kalená ocel, šedá a temperovaná litina, slitiny CU a Al, sklo, porcelán, kámen	Soustružení, vrtání, vyhrubování, vystružování, frézování, protahování
	K20	Šedá litina s HB≤220, měď, mosaz, hliník a ostatní neželezné kovy	Soustružení, hoblování, vyhrubování, vystružování, frézování – při vysokých požadavcích na houževnatost slinutého karbidu
	K30	Ocel nízké pevnosti, šedá litina s nízkou tvrdostí	Soustružení, hoblování, obrážení, frézování: možnost použít negativního úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách
	K40	Neželezné kovy, měkké a tvrdé dřeva	Soustružení, hoblování, obrážení: možnost použít negativního úhlu čela při nepříznivých pracovních podmínkách
Chemické složení: WC (87-92%) + Co (4-12%) + TaC.NbC			

Skupiny N, S, H – vycházejí složením ze skupin P, M, K. Skupina N se používá pro neželezné kovy hlavně pro obrábění hliníku, mědi a hořčíku. Značí se zelenou barvou. Skupina S se používá na tepelně odolné slitiny a superslitiny. Značí se hnědou barvou. Skupina H se používá pro obrábění kalených a zušlechtěných ocelí, značí se černou barvou.

Tab. 2.4 Skupiny N, S, H^{3,13}

N	N01	Neželezné kovy (slitiny hliníku, hořčíku, mědi), plasty, kompozity a dřeva	Dokončovací obrábění neželezných kovů a nekovových slitin
	N05		Střední až těžké soustružení neželezných kovů a nekovových materiálů
	N10		
	N25		Hrubování neželezných kovů a nekovových materiálů
S	S05	Tepelně odolné slitiny a superslitiny, slitiny titanu	Dokončovací obrábění za tepelně nepříznivých pracovních podmínek
	S10		Obrábění při nízkých rychlostech. Nepřerušované i přerušované řezy
	S25		
	S30		Střední až těžké soustružení
H	H01	Kalené a zušlechtěné materiály	Nepřerušované a lehce přerušované řezy ve zušlechtěných ocelích
	H05		
	H10		Soustružení za nepříznivých pracovních podmínek
	H15		
	H25		Soustružení tvrzených materiálů při nízkých řezných rychlostech

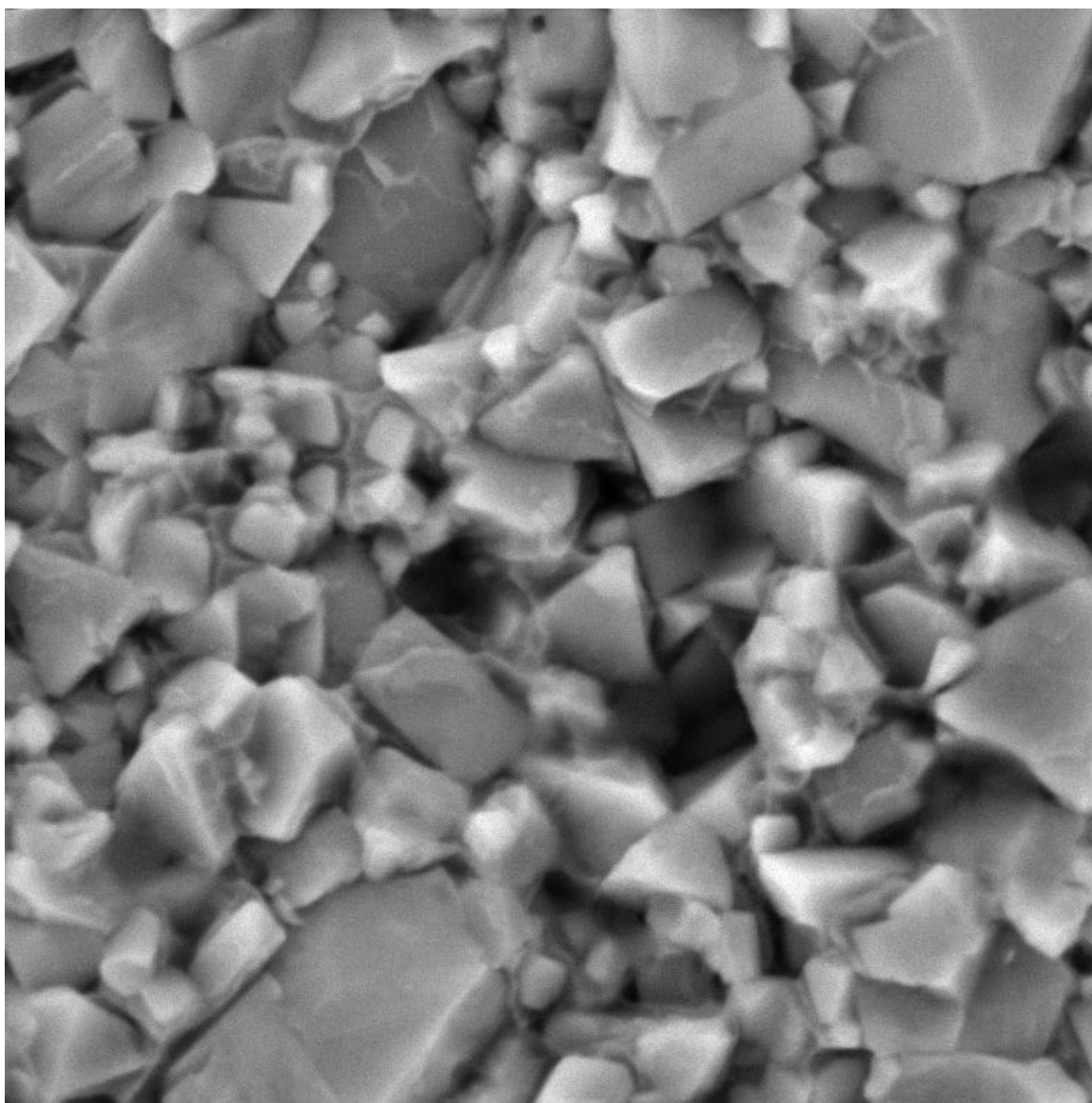
2.2.2 Výroba VBD

Výroba VBD se člení na několik kategorií:

- výroba prášku
- lisování polotovarů
- slinování
- úprava tvaru a povrchu
- povlakování

Výroba prášku:

Prášky jsou vyráběny z wolframové rudy, nejčastěji z scheelitu (CaWO_4) nebo wolframitu ($(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$). Hlavní fází výroby je mletí ve velkých kulových nebo kladívkových mlýnech s přidáním kyseliny chlorovodíkové HCl , nebo suchým mletím a následným rozpouštěním v horké kyselině chlorovodíkové. Dalšími postupy (praní, filtrování) získáme oxid wolframový, ze kterého redukcí získáme čistý wolfram. Pro výrobu WC je nutné wolframový prach smíchat se sazemí a následuje karburace v pecích v ochranné atmosféře H_2 za teplot okolo 1700°C . Podle požadovaných vlastností se WC prášek mísí s pojivem (kobalt) v odpovídajícím poměru. Výsledné vlastnosti VBD z materiálového hlediska určuje jak chemické složení prášků tak i jeho zrnitost - obr. 2.2.^{1,12}



SEM MAG: 25.00 kx

DET: SE Detector + BSE Detector

HV: 20.00 kV

DATE: 09/04/07

2 µm

VAC: HiVac

Device: VG3190676CZ

Vega ©Tescan

Digital Microscopy Imaging

Obr. 2.2 Struktura tvrdokovu

Lisování polotovarů:

Lisování polotovarů probíhá na jednočinných nebo dvojčinných lisech při tlacích 50 - 150 MPa. Pro ulehčení lisování je přidáván do prášku plastifikátor, který dává polotovaru doplňkovou pevnost a zajišťuje kompaktnost při vyjmutí z formy.^{1,13}

Slinování:

Při slinování se pórovitý výlisek mění na slinutý karbid. Tepelným procesem dojde k uzavření pórů výlisku a ke zmenšení objemu. Toto zmenšení se pohybuje okolo 21 %. Díky vysokým teplotám dojde k difuznímu spojení zrn WC a kobaltu. Rovněž se odpaří plastifikátor. Slinovací proces probíhá buď ve vakuu nebo v ochranné atmosféře H₂.^{1,13}

Úprava tvaru a povrchu:

Pro získání konečného tvaru VBD je nutné slinované polotovary dále upravit. VBD jsou velmi přesné výrobky s velmi malými tolerancemi, které často nejdou dosáhnout při lisování, proto se musí VBD brousit a to hlavně na dosedacích a obvodových plochách. Dále je nutné provést úpravy povrchu destičky po broušení, kterými zlepšíme adhezi mezi destičkou a povlakem. Nejčastěji se používá mokré nebo suché pískování. Pro některé VBD je vhodné dále provádět úpravu ostří, na kterém vytvoříme malé zaoblení.^{1,13}

Povlakování:

Nemalý podíl na výsledných vlastnostech VBD má povlak. Povlakování destiček začalo koncem 60.let 20.století. Tloušťka povlaku je jen v řádech μm , ale i tak velmi zvyšuje trvanlivost nástroje. Povlak je velmi tvrdý a odolný proti otěru i za vysokých teplot, poskytuje základovému materiálu dobrou ochranu před opotřebením. Proto může být základový substrát VBD houževnatější než při použití nepovlakované VBD. V dnešní době jsou téměř všechny nástroje na trhu opatřeny povlakem. Nejpoužívanějšími materiály pro povlakování jsou karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN), oxid hlinitý (Al_2O_3) a karbonitrid titanu (TiCN). Na výsledné vlastnosti má vliv jak kombinace použitých povlaků tak jejich tloušťka. Čím je povlak silnější tím lépe chrání destičku před opotřebením, ale zároveň při větších tloušťkách roste křehkost a náchylnost na odlupování povlaku od substrátu.^{1,13}

Tab 2.5 Vlastnosti povlaků⁶

Povlak	Tvrdost [HV]	Modul pružnosti [MPa]	Poissonova konstanta μ [-]	Koeficient délkové roztažnosti [10^{-6}K^{-1}]	Teplota tavení [$^{\circ}\text{C}$]
TiN	2000≤3680	440	0,25	9,35	2949
TiC	2900≤4000	450	0,19	7,4	3067
TiB ₂	3370	480		8,0	
VN	1500	460		8,1	2177
VC	2900	430			2648
ZrM	1500≤4500	510	0,25	7,2	2982
NbN	1400	480		10,1	2204
NbC	2400	580	0,22	6,6	3600
TaN	1000			3,6	3093
CrN	1100	400		2,3	1500
Cr ₃ C ₂	1300	400		10,3	1810
HfN	1600≤4700			6,9	3387
HfC	2700≤3900	460	0,18	6,6	3928
WC	2100	695	0,185	4,3	2776
Al ₂ O ₃	≤2100	400	0,23	9,0	2300
SiC	2600≤4000	480		5,3	
BN	3000-5000	660			
B ₄ C	3000-4000	440		4,5-5,6	
Diamant	9000	440-590		0,8	

Nanášení povlaků na základový materiál tvoří dvě základní skupiny:

- CVD povlaky (Chemical vapour deposition)
- PVD povlaky (Physical vapour deposition)

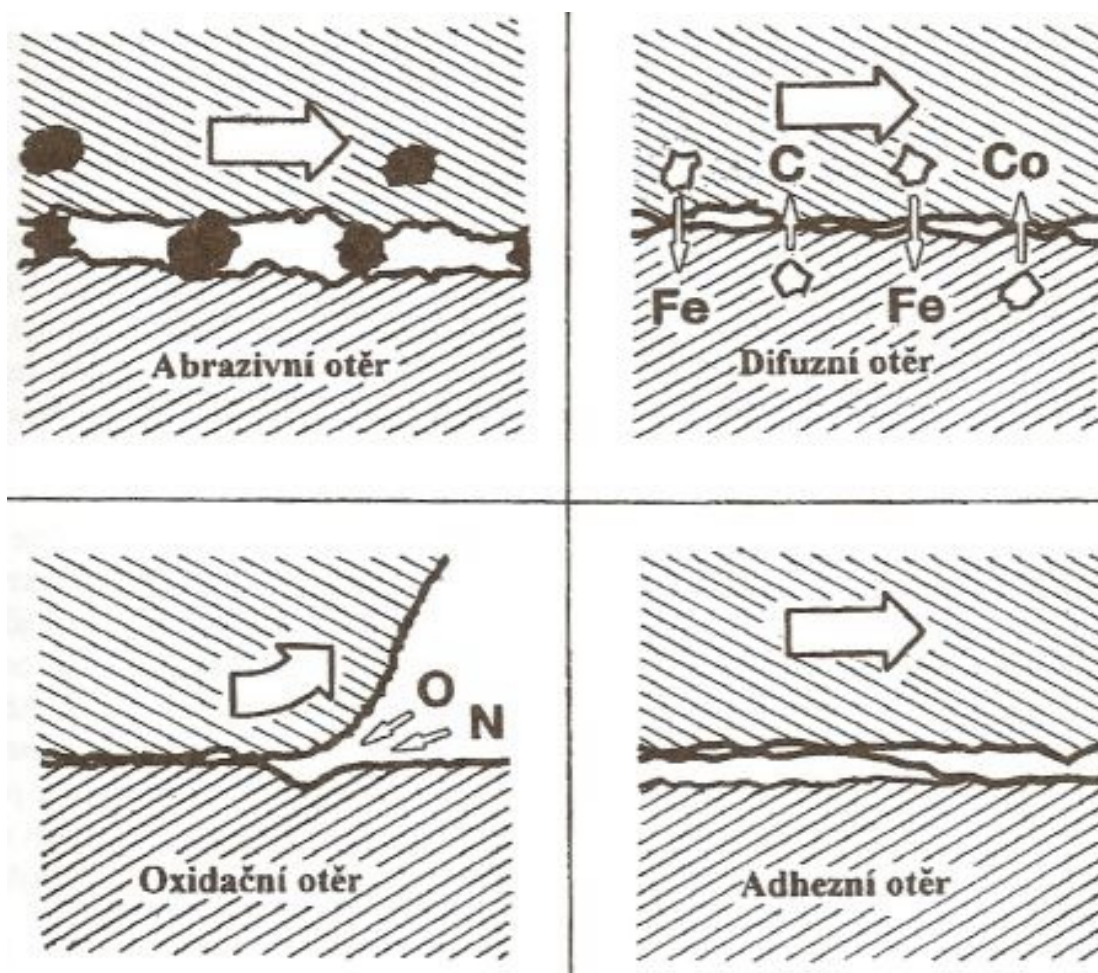
CVD - chemická metoda povlakování probíhá za vysokých teplot (900°C - 1200°C). Výhodou těchto povlaků je možnost vytvoření větších tloušťek vrstev (10μm - 13μm), všestranný účinek, výborná adheze se základovým materiálem. Nevýhodou je tepelné ovlivnění základového materiálu, neschopnost napovlakování ostrých hran a tahová zbytková napětí v povlaku. Nejčastější využití CVD povlaků je při soustružení. V posledních letech byly vyvinuty MTCVD povlaky, které se vytvářejí při nižších teplotách než CVD povlaky a proto méně tepelně námáhají základový materiál. MTCVD povlaky je možné uplatnit i při frézování, kde je nástroj zatěžován dynamickou změnou teplot.^{1,13}

PVD – fyzikální metoda povlakování probíhá již za teplot okolo 500°C. Takováto teplota nezatěžuje základový materiál a dochází při ní jen velmi malému vnitřnímu pnutí. Zbytková napětí v povlaku mají charakter tlakových napětí. S PVD povlakem je možné napovlakovat i ostré hrany. Nevýhodou je nutnost pohybu povlakovaných součástí v povlakovací komoře.^{1,13}

3 OPOTŘEBENÍ VBD

3.1 Základní rozdělení opotřebení

Opotřebení je běžným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném silovém styku a v relativním pohybu. Při obrábění dochází v důsledku řezného procesu k relativnímu pohybu nástroj - obrobek a nástroj – tříška. Při obrábění vzniká velké množství tepla, které značně namáhá břit nástroje. V některých případech (frézování) je namáhání ještě zvětšeno vlivem působení dynamických změn teplot. Obráběné materiály často obsahují tvrdé částice, které jsou svým složením podobné materiálu nástroje. Tyto částice vyvolávají u nástroje abrazivní otěr. Základní mechanismy opotřebení jsou abrazivní, difúzní, oxidační a adhezní otěr - obr. 3.1.^{5,7}



Obr. 3.1 Schéma základních mechanismů opotřebení břitu nástroje⁷

Difúzní otěr vzniká působením chemických vlivů při obrábění. Chemické složení řezného materiálu a materiálu obrobku jsou rozhodující pro vznik a průběh difúzního opotřebení. Tvrdost materiálu má na tento druh opotřebení minimální vliv.⁷

Abrazivní otěr je jedním z nejrozšířenějších způsobů opotřebení nástrojů. Vzniká působením tvrdých částic obsažených v obrobku a nástroj. Schopnost břitů odolávat abrazivnímu opotřebení je značně závislá na jeho tvrdosti.⁷

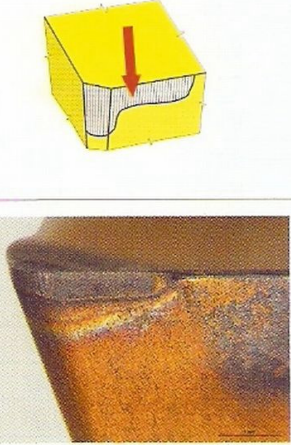
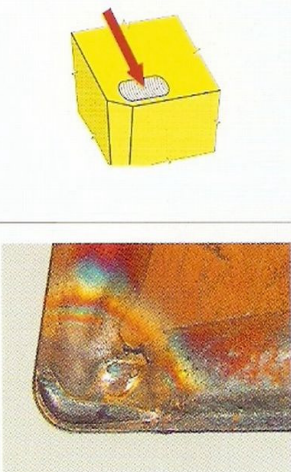
Oxidační otěr souvisí s vysokými teplotami při obrábění, které spolu s okolním vzduchem mají za následek vznik oxidací na nástroji.⁷

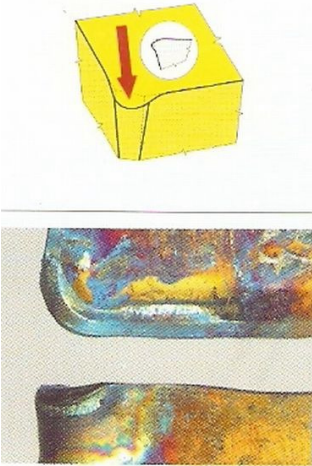
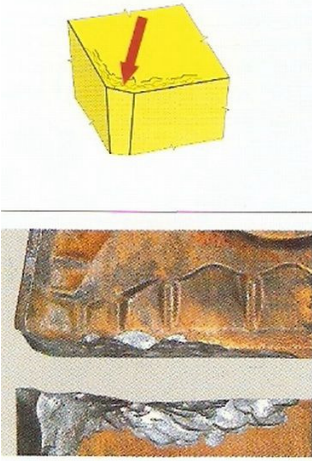
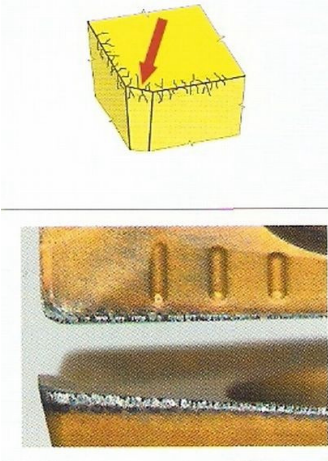
Adhesivní otěr se vyskytuje hlavně při nízkých řezných rychlostech. Adhesivní otěr vzniká hlavně použitím nástrojových a rychlořezných ocelí jako materiálu nástroje. Tento jev často vede k vytváření nárůstku mezi třískou a nástrojem.⁷

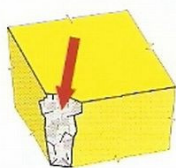
3.2 Druhy opotřebení

Nejčastěji vyskytované druhy opotřebení jsou uvedeny v tab. 3.1.

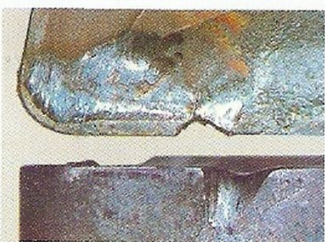
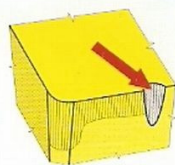
Tab. 3.1 Druhy opotřebení¹⁰

	Opotřebení hřbetu – patří mezi formy abrazivního opotřebení. Vzniká v důsledku styku obráběného materiálu s nástrojem. Velikost opotřebení narůstá s časem. Při rostoucí hodnotě opotřebení se zhoršuje jakost povrchu a nepřesnost rozměrů výrobku. Opotřebení hřbetu se můžeme bránit použitím otěruvzdornějšího typu slinutého karbidu, použitím řezné kapaliny, snížením řezné rychlosti.
	Opotřebení čela ve tvaru výmolu – je způsobeno působením abraze současně s difúzními mechanismy. Projevuje se nejvíce u destiček s rovným čelem. Abrazivní opotřebení způsobují tvrdé částice obráběného materiálu. Difúzní opotřebení vzniká v místě styku třísky s čelem destičky, tj. v místě s nejvyšší teplotou. Velké opotřebení tohoto typu mění geometrii nástroje a tím ovlivňuje utváření třísky a síly působící na břit. S rostoucím výmolem se oslabuje pevnost břitů což může vést až k jeho ulomení. Výmolu se můžeme bránit použitím pozitivnějšího typu řezné geometrie, intenzivnějším chlazením, otěruvzdornějším typem slinutého karbidu.

 The diagram shows a yellow chip being cut by a tool, with a red arrow indicating the direction of cutting. Below the diagram are two micrographs showing the surface of the chip, which appears deformed and discolored due to high temperatures.	Plastická deformace břitu – vzniká v důsledku velkých řezných teplot a tlaků působících na břit. Při překročení limitní teploty materiálu VBD dojde k měknutí břitu a tím k jeho deformaci. Se vznikající deformací břitu se mění řezná geometrie a s ní dále narůstá tepelné zatížení břitu. Plastickou deformaci lze snížit použitím intenzivnějšího chlazení, větším poloměrem špičky, snížením řezné rychlosti a posuvu.
 The diagram shows a yellow chip with a red arrow indicating the direction of cutting. Below the diagram are two micrographs showing the surface of the chip, which exhibits fatigue fracture lines (hřbet) running along the length of the chip.	Únavový lom – Vzniká následkem působení dynamických účinků sil působících na břit. Únavové trhliny vznikají obvykle podél hřbetu. Eliminovat tento druh opotřebení se může změnou řezné geometrie VBD, změnit způsob najíždění a vyjíždění nástroje, použitím houževnatějšího materiálu slinutého karbidu.
 The diagram shows a yellow chip with a red arrow indicating the direction of cutting. Below the diagram are two micrographs showing the surface of the chip, which exhibits ridge-like cracks (hřebenovité trhliny) running along the length of the chip.	Hřebenovité trhliny – Tento druh opotřebení vzniká vlivem dynamických změn teplot působících na břit. Nastává nejčastěji při frézování. Změna průřezu třísky mění teploty obrábění. Tento negativní jev dále zvyšuje použití chladicí kapaliny, která značně ochladí břit v době kdy je mimo záběr. Vznikající trhlinky jsou kolmé na ostří nástroje. Snížení vzniku tohoto opotřebení se dosáhne použitím houževnatějšího materiálu slinutého karbidu, snížením řezné rychlosti, obráběním bez chlazení kapalinou.



Lom břitu – vlivem tohoto opotřebení dochází náhle k úplné destrukci břitu zejména špičky nástroje. Na lom břitu má vliv více faktorů, málo houževnatý materiál nástroje, tuhost soustavy stroj nástroj obrobek, záběrové podmínky. Tomuto druhu poškození se snažíme vždy zabránit, vznik lomu břitu značí okamžité ukončení jeho životnosti.



Vrubové opotřebení na hlavním břitu – Opotřebení hřbetu ve tvaru je zapříčiněno hlavně zpevněnou povrchovou vrstvou obrobku a otřepy. Patří mezi adhezní druhy opotřebení, ale může souviset i s oxidačním opotřebením. Proti tomuto opotřebení se můžeme chránit použitím povlaků na bázi Al_2O_3 .

4 PRŮBĚH ZKOUŠKY TRVANLIVOSTI

Zkoušky byly prováděny podle normy ČSN 8688-1. Základním požadavkem zkoušky je dosažení minimální trvanlivosti 30 minut. Podle obráběného materiálu a podle zkušeností je nastavena hodnota řezné rychlosti. Další parametry vycházejí z normy ČSN 8688-1. Takto nastavené řezné podmínky zůstávají stejné pro všechny porovnávané vzorky VBD. Použitá fréza 63A06R-S90AP15D se osadí jednou destičkou APKX1505PDER-M, tímto je eliminováno ovlivnění trvanlivosti VBD jinými destičkami. Zkouška je limitována opotřebením $VB = 0,2$ mm nebo jiným druhem opotřebení, které má za důsledek zhoršení povrchu obrobku nebo destruktivní poškození VBD.²

Pro zkoušky vyžadující chladicí kapalinu byla použita řezná emulze Paramo UNI PLUS o koncentraci 5 %. Paramo UNI PLUS je směs ropného oleje a syntetických komponent. U všech zkoušek trvanlivosti byly porovnávány destičky se zaoblením ostří 30 μm , 40 μm a 55 μm . Pro porovnání řezivosti, mezi vzorky s různou velikostí zaoblení ostří, byla hodnota 100 % přiřazena destičce se zaoblením 30 μm .

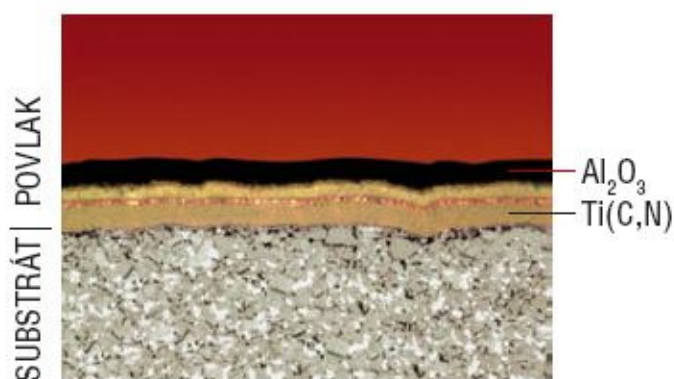
Každá zkouška byla prováděna třikrát. Výsledná hodnota trvanlivosti je získána aritmetickým průměrem dílčích hodnot ze vztahu:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

4.1 VBD APKX1505PDER-M

Vyměnitelná břitová destička APKX1505PDER-M byla zhotovena z materiálu 2230. Substrát z materiálu 2230 je slinutý karbid vyráběný z jemně zrnitého karbidu wolframu, s malým obsahem kubických karbidů obsahujících tantal a niob s 12 % kobaltu. Přes tento vysoký obsah kobaltu se dosahuje tvrdosti HV 1400, což je způsobeno jemnou zrnitostí WC. Vysokým obsahem Co je získána vynikající houževnatost břitu. Optimalizovaná kombinace zrnitosti, obsahu kobaltu a přísady kubického karbidu zajišťuje vysokou odolnost proti hřebenovitým trhlinám. Tímto je možné dosáhnout dobrých výkonů i při operacích, kde je použito chladicí médium.¹¹

Povlak použitý pro materiál 2230 je optimalizován na dobrou houževnatost břitu a minimalizaci přilnavosti nástrojového materiálu k obrobku, při zachování odolnosti vůči otěru. V povlaku jsou použity Ti(C,N) a Al_2O_3 . Ti(C,N) vrstva je vytvořena technikou MTCVD (moderate temperature chemical vapour deposition) a je dosaženo dobré houževnatosti břitu a dobré přilnavosti k substrátu. Vnější vrstva Al_2O_3 dává dobrou otěruvzdornost a tepelnou odolnost – obr 4.1.¹¹

Obr. 4.1 Materiál 2230¹¹

Tento nový materiál je primárně určen pro nasazení frézování ocelí a nerezových ocelí a dodatečně i litin – obr. 4.2.¹¹

ISO 513	Aplikační oblasti materiálu 2230					
	5	10	20	30	40	
P				P15 - P40		
M				M20 - M35		
K				K20 - K40		
N						
S						
H						

Skupiny obráběných materiálů					
P	M	K	N	S	H

■ hlavní oblast použití ■ další použití

Obr. 4.2 Aplikační oblasti materiálu 2230¹¹

4.2 STROJE A ZAŘÍZENÍ

Pro stanovení vlivu velikosti zaoblení ostří na trvanlivost nástroje je důležité přesně znát velikost zaoblení u porovnávaných vzorků destiček. Velikost je možné měřit opticky pomocí mikroskopu nebo mechanicky pomocí dotykového hrotu a speciálního měřicího zařízení. V této studii byla veškerá zaoblení měřena dotykovým způsobem na měřicím zařízení MAHR Marsurf XC20 s vyhodnocovacím softwarem MarWin – obr 4.3.⁹

Obr. 4.3 MAHR Marsurf XC20⁹

Jednotlivé zkoušky byly prováděny ve zkušební laboratoři společnosti Pramet Tools s.r.o. na obráběcím centru MAS MCV 1270 POWER – obr. 4.4.



TECHNICKÁ DATA		MCV 1270 POWER	
Stůl			
Upínací plocha stolu	mm	1500 x 670	
Maximální zatížení stolu	kg	1200	
Pracovní rozsah			
X-osa	mm	1270	
Y-osa	mm	610	
Z-osa	mm	720	
Rozměry stroje			
Délka x šířka x výška	mm	5000 x 3600 x 3330	
Vřeteno		ISO 40	ISO 50
Výkon motoru S1/S6 - 25 % (40%)	kW	28/43	28/43
Max. otáčky vřetena	ot/min	8000	8000
Zásobník nástrojů			
Počet míst v zásobníku	-	30	24

Obr. 4.4 Obráběcí centrum MAS MCV 1270 POWER⁸

Destičky byly upínány do frézy 63A06R-S90AP15D – obr. 4.5



Obr. 4.5 Fréza 63A06R-S90AP15D

Vyhodnocování velikosti opotřebení VB a dalších druhů opotřebení bylo prováděno na dílenském mikroskopu s elektronickým odměřováním souřadnic - obr.4.6



Obr. 4.6 Dílenský mikroskop

5 ZKOUŠKA TRVANLIVOSTI VBD APKX1505PDER-M

5.1 Zkouška na oceli 12 050.1 s chlazením

Zkouška byla provedena na uhlíkové oceli 12 050.1 s chlazením procesní kapalinou. Tvrdost oceli byla 195 – 200 HB. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 5.1

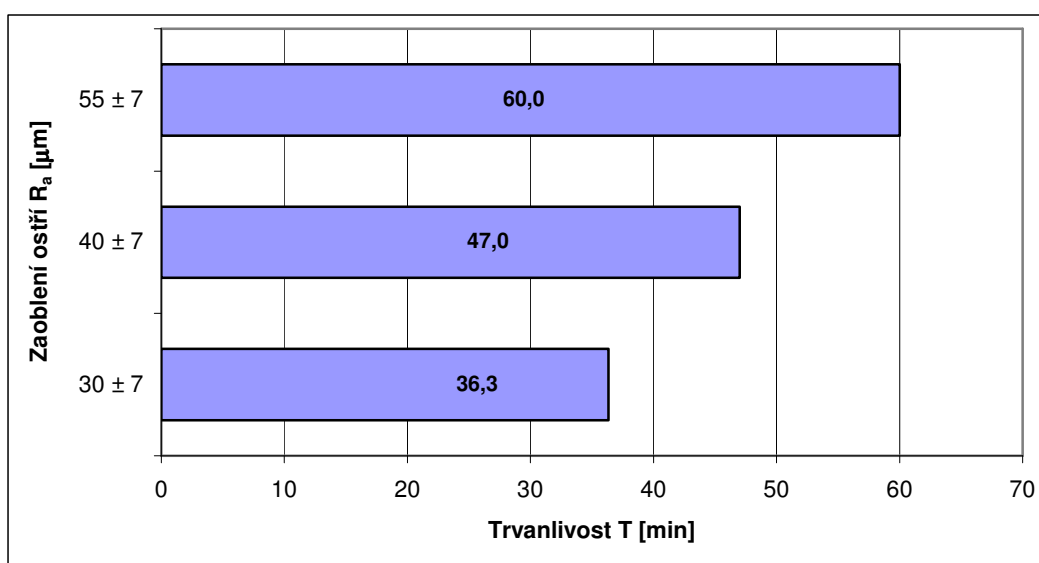
Tab. 5.1 Řezné podmínky pro ocel 12 050.1 s chlazením

Nastavovaná veličina		Hodnota
Řezná rychlost	$[v_c]$	$220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv na zub	$[f]$	$0,2 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$
Hloubka třísky	$[a_p]$	2,5 mm
Šířka záběru	$[a_e]$	50 mm

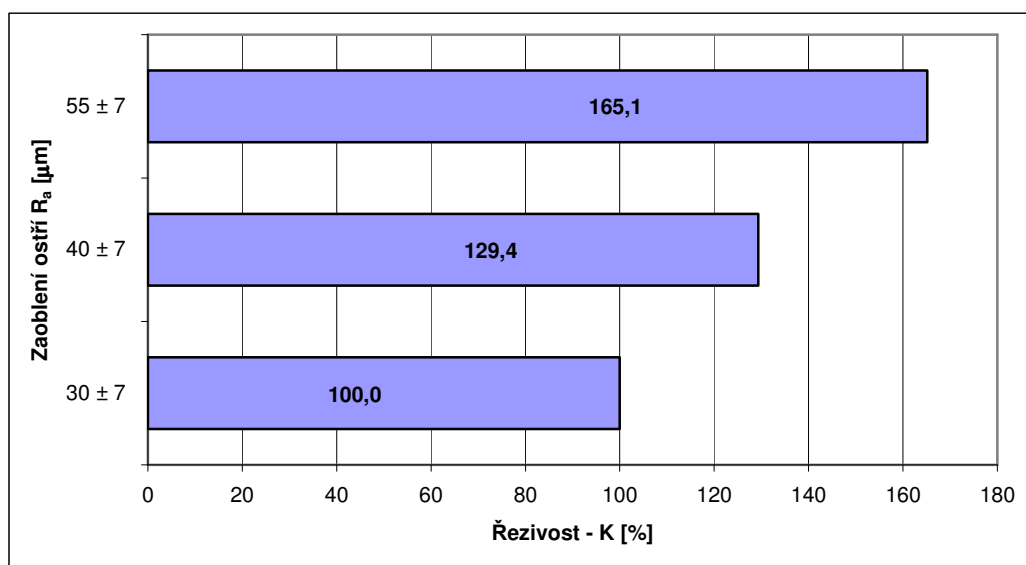
Tabulka naměřených hodnot je v příloze 1.

Tab. 5.2 Výsledky zkoušky na oceli 12 050.1 s chlazením

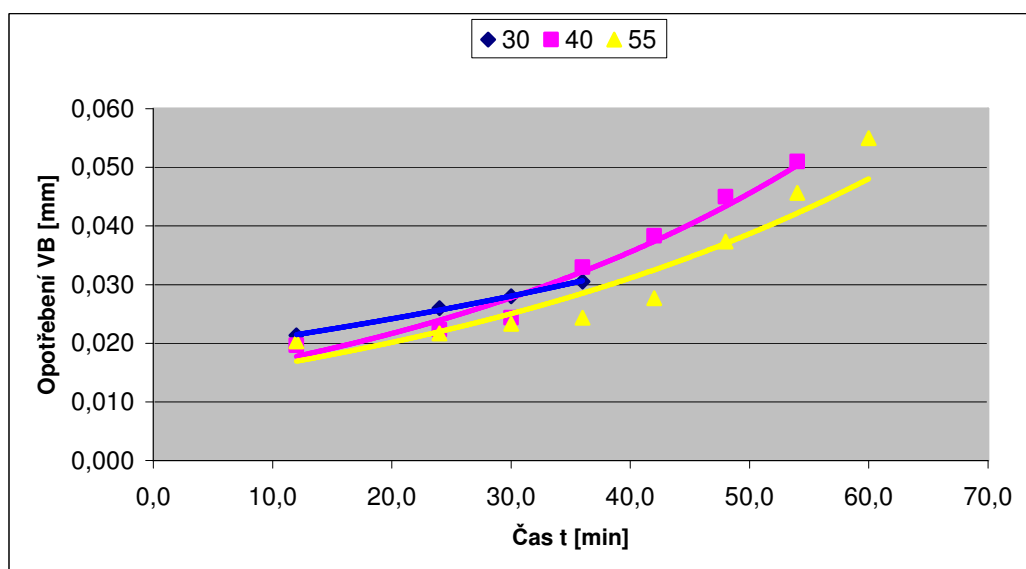
Označení vzorku	Zaoblení ostří $[\mu\text{m}]$	Trvanlivost $[\text{min}]$	ϕT $[\text{min}]$	Řezivost $[\%]$
A22	27	36,0	36,3	100,0
A23	30	37,0		
A29	32	36,0		
B11	41	42,0	47,0	129,4
B13	39	45,0		
B16	41	54,0		
C18	54	66,0	60,0	165,1
C19	50	60,0		
C25	48	54,0		



Graf 5.1 Porovnání trvanlivostí pro zkoušku na oceli 12 050.1 s chlazením

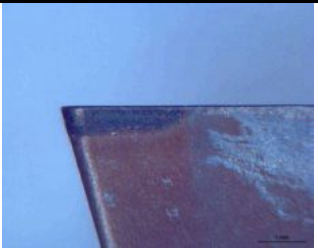
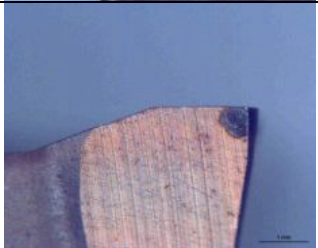
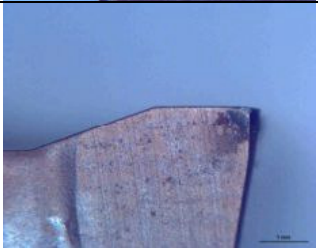
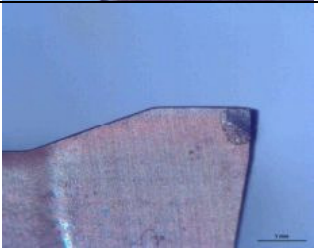
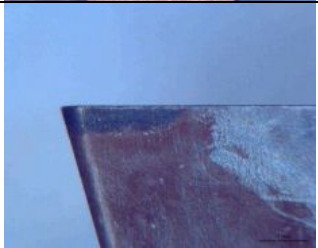
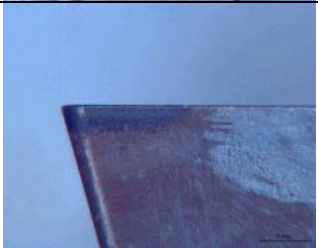
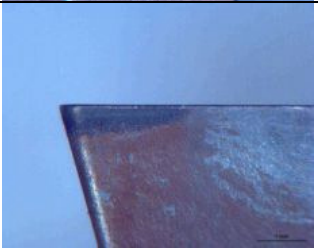
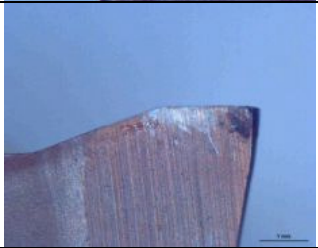
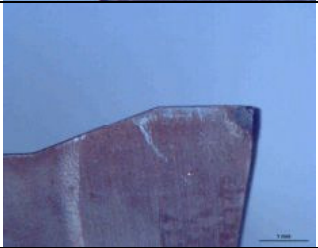
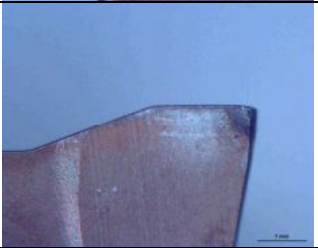
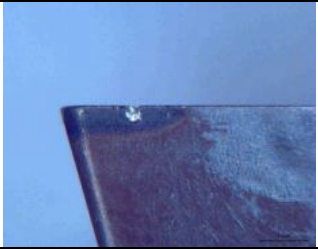
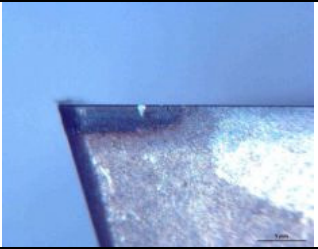
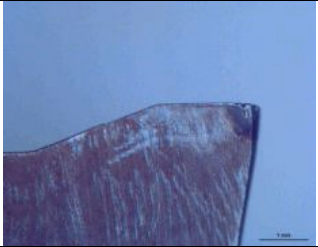
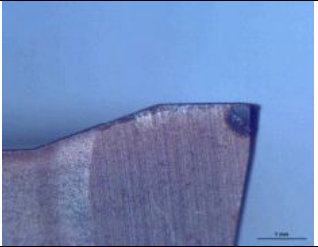


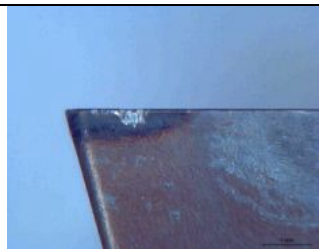
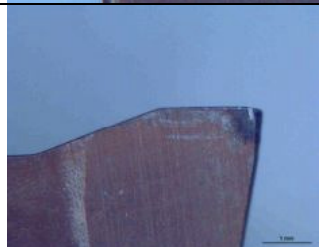
Graf 5.2 Porovnání řezivosti pro zkoušku na oceli 12 050.1 s chlazením



Graf 5.3 Průběh opotřebení na čase na oceli 12 050.1 s chlazením

Tab. 5.3 Zobrazení opotřebení destiček na oceli 12 050.1 s chlazením

Čas [min]	Velikost zaoblení ostří		
	30 μm	40 μm	55 μm
15			
			
30			
			
45			
			

60			
			

5.2 Zkouška na oceli 12 050.1 bez chlazení

Zkouška byla provedena na uhlíkové oceli 12 050.1 bez chlazení procesní kapalinou. Tvrdost oceli byla 178 – 190 HB. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 5.4

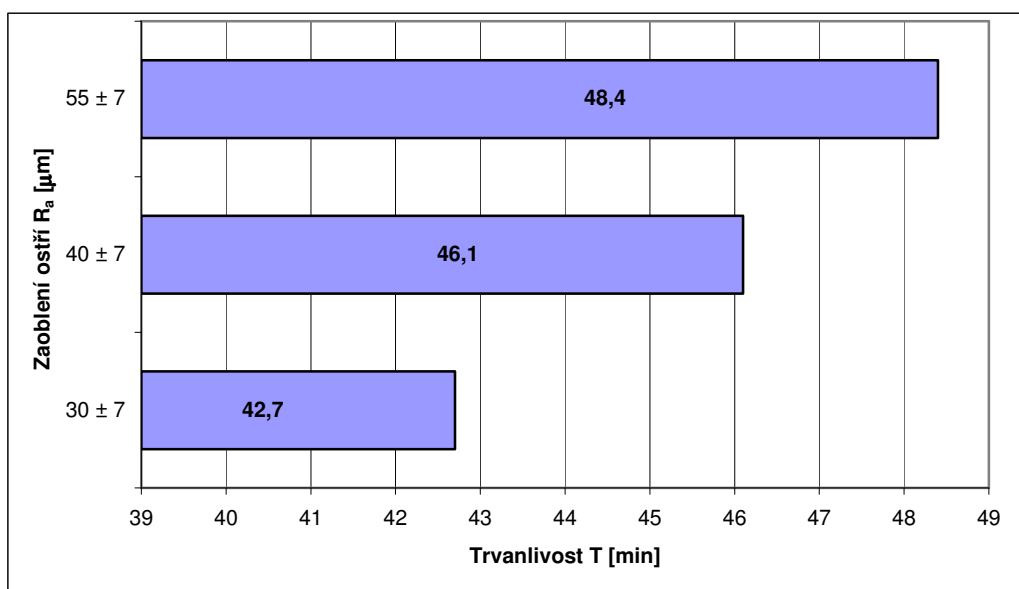
Tab. 5.4 Řezné podmínky pro ocel 12 050.1 bez chlazení

Nastavovaná veličina		Hodnota
Řezná rychlost	$[v_c]$	280 m·min ⁻¹
Posuv na zub	$[f]$	0,225 mm·zub ⁻¹
Hloubka třísky	$[a_p]$	2,5 mm
Šířka záběru	$[a_e]$	50 mm

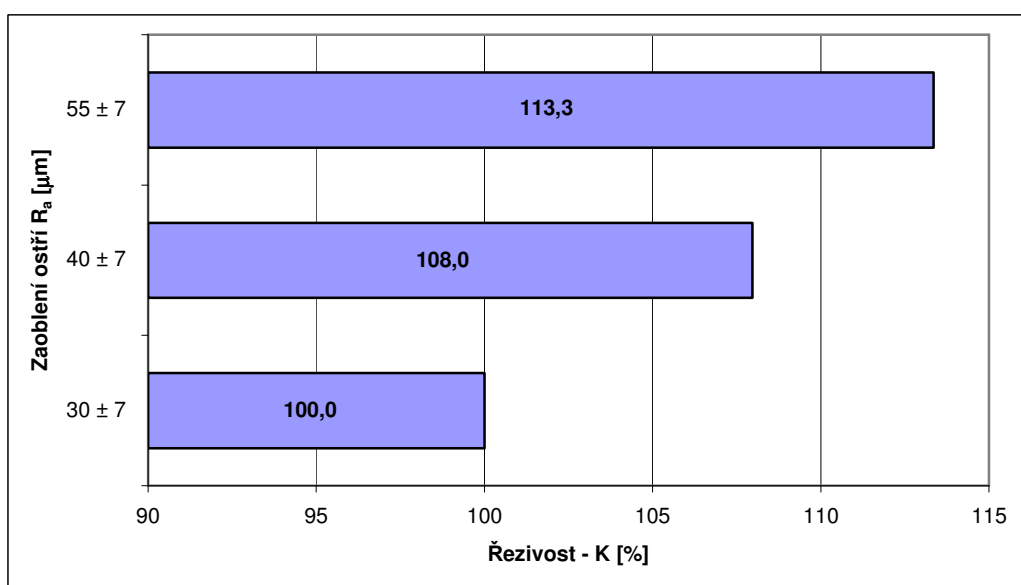
Tabulka naměřených hodnot je v příloze 1.

Tab. 5.5 Výsledky zkoušky na oceli 12 050.1 bez chlazení

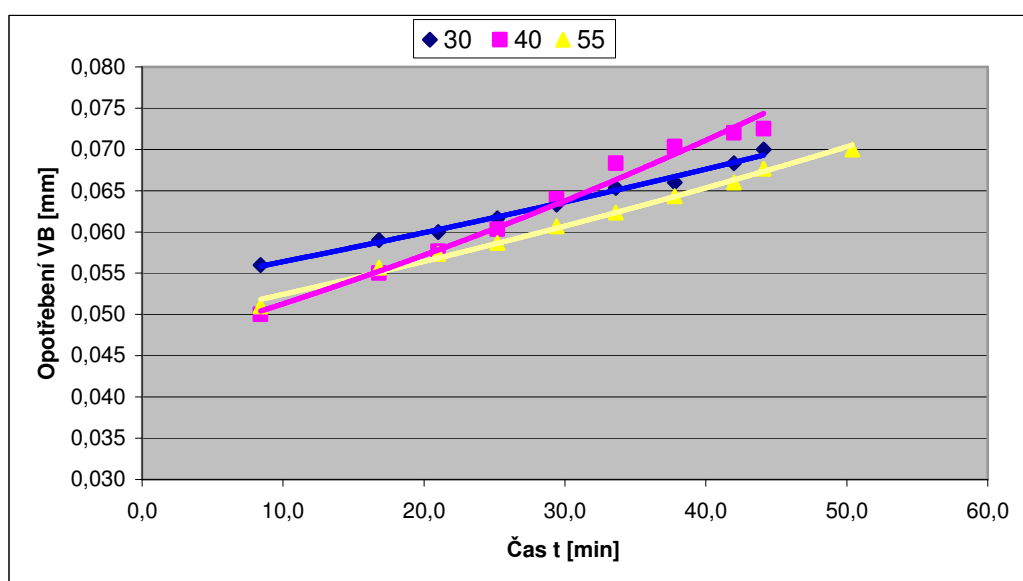
Označení vzorku	Zaoblení ostří [μm]	Trvanlivost [min]	ϕT [min]	Řezivost [%]
A17	25	39,9	42,7	100,0
A26	25	46,2		
A27	27	42,0		
B7	43	44,1	46,1	108,0
B10	45	44,0		
B23	43	50,2		
C4	52	50,1	48,4	113,3
C8	53	49,0		
C14	49	46,1		



Graf 5.4 Porovnání trvanlivostí pro zkoušku na oceli 12 050.1 bez chlazení



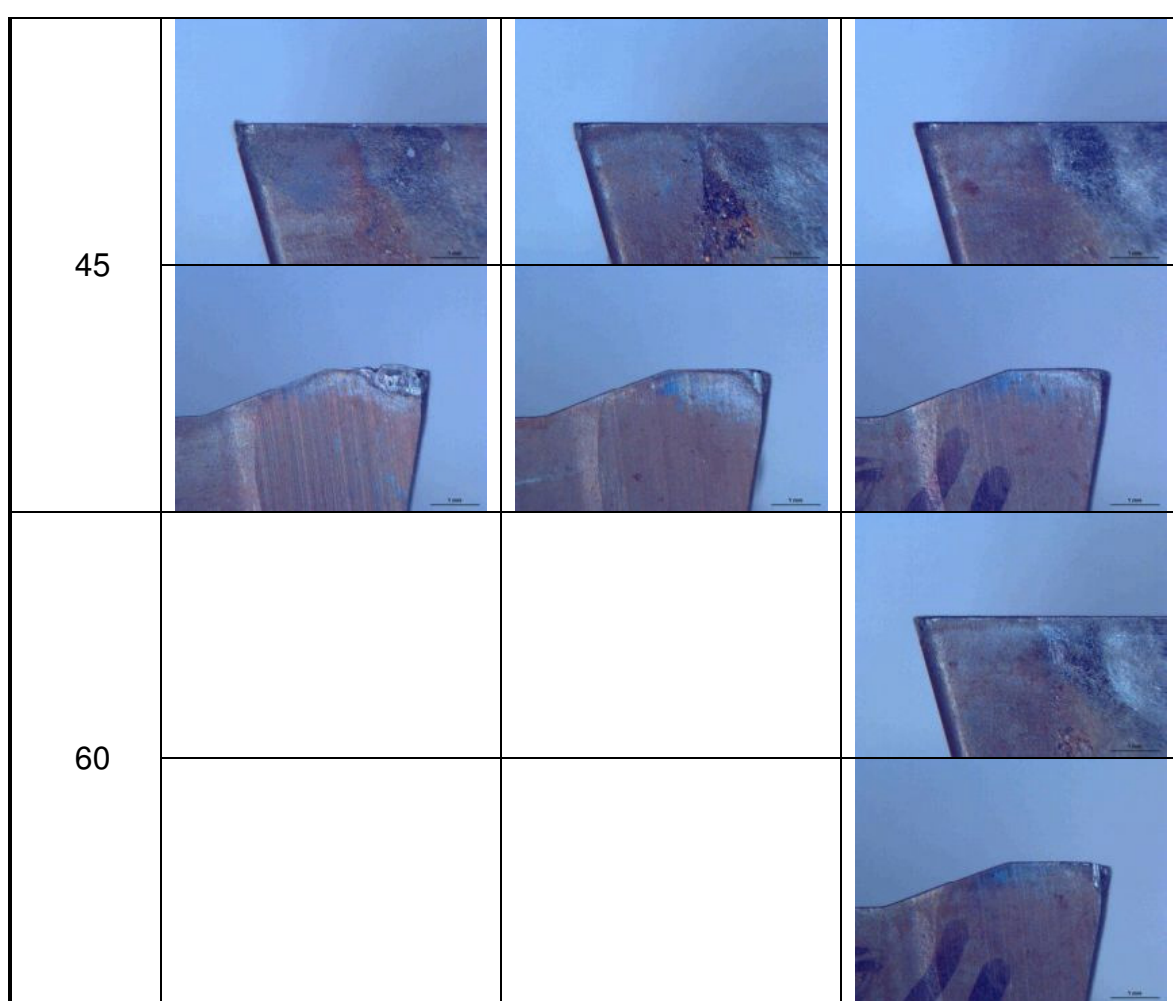
Graf 5.5 Porovnání řezivosti pro zkoušku na oceli 12 050.1 bez chlazení



Graf 5.6 Průběh opotřebení na čase na oceli 12 050.1 bez chlazení

Tab. 5.6 Zobrazení opotřebení destiček na oceli 12 050.1 bez chlazení

Čas [min]	Velikost zaoblení ostří		
	30 μm	40 μm	55 μm
15			
30			



5.3 Zkouška na oceli 17 349.4 bez chlazení

Zkouška byla provedena na austenitické korozivzdorné oceli 17 349.4 bez chlazení procesní kapalinou. Tvrdost oceli byla 150 – 160 HB. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 5.7

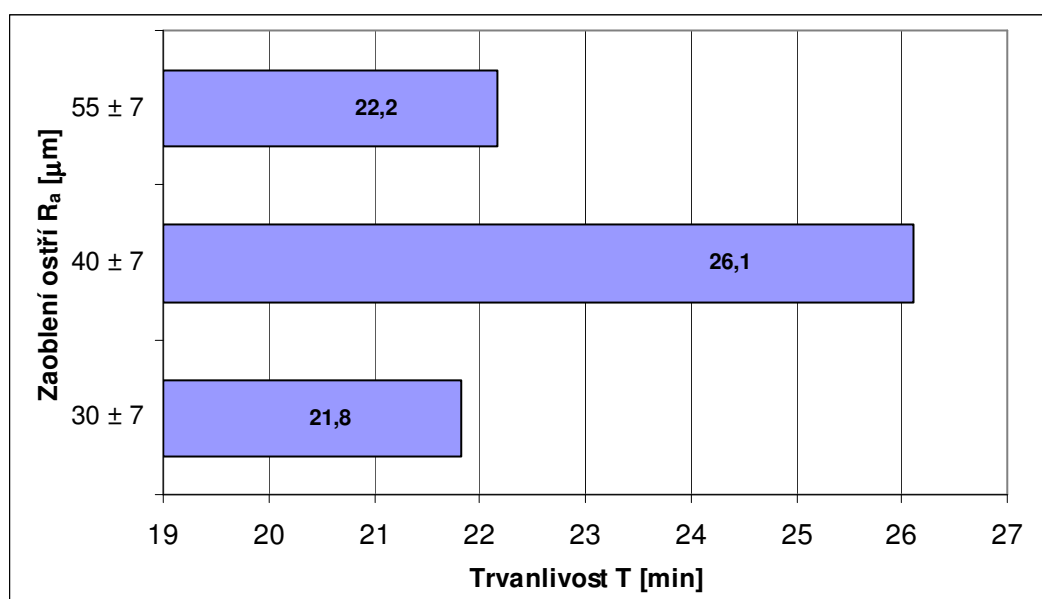
Tab. 5.7 Řezné podmínky pro ocel 17 349.4 bez chlazení

Nastavovaná veličina		Hodnota
Řezná rychlost	$[v_c]$	$100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv na zub	$[f]$	$0,18 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$
Hloubka třísky	$[a_p]$	2,5 mm
Šířka záběru	$[a_e]$	50 mm

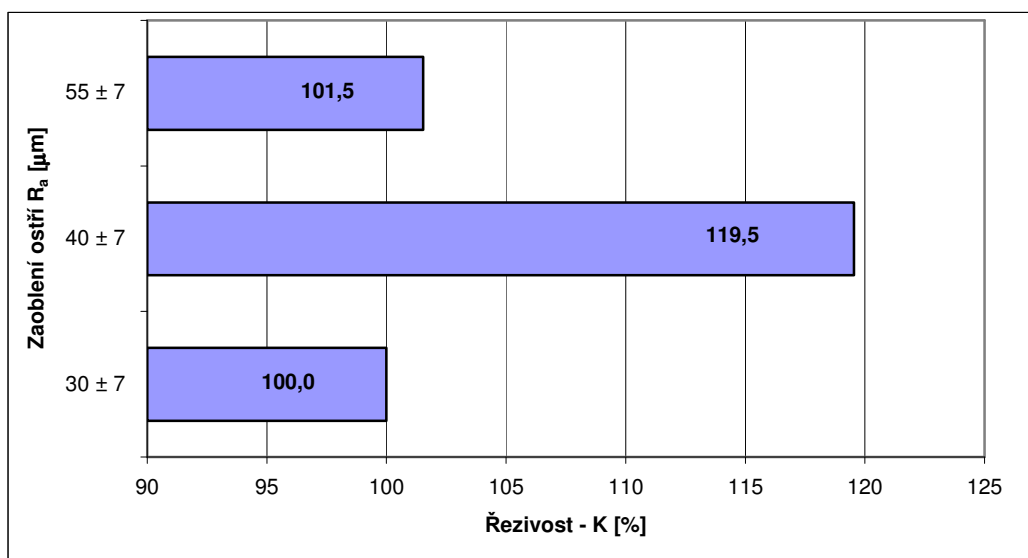
Tabulka naměřených hodnot je v příloze 1.

Tab. 5.8 Výsledky zkoušky na oceli 17 349.4 bez chlazení

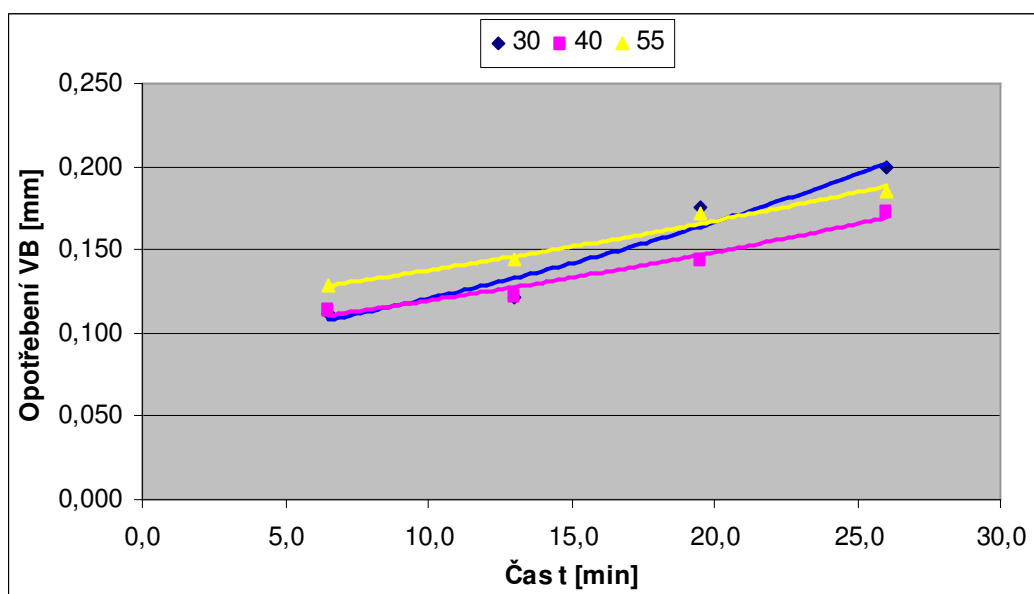
Označení vzorku	Zaoblení ostří [μm]	Trvanlivost [min]	ϕ T [min]	Řezivost [%]
A2	31	19,5	21,8	100,0
A10	30	20,0		
A11	29	26,0		
B20	38	26,0	26,1	119,5
B29	42	26,0		
B32	44	26,3		
C13	53	26,0	22,2	101,5
C17	54	21,0		
C24	55	19,5		



Graf 5.4 Porovnání trvanlivostí pro zkoušku na oceli 17 349.4 bez chlazení

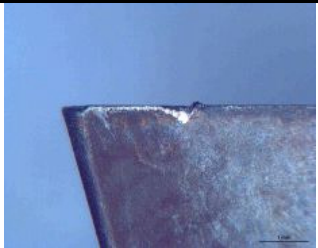
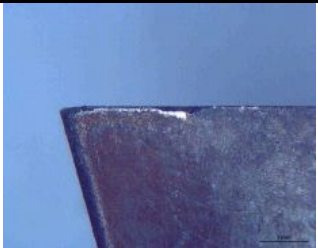
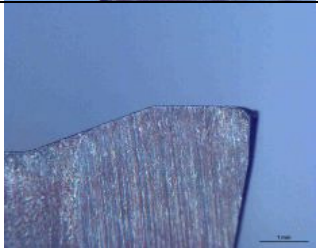
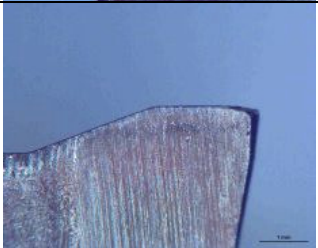
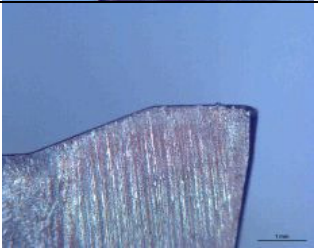
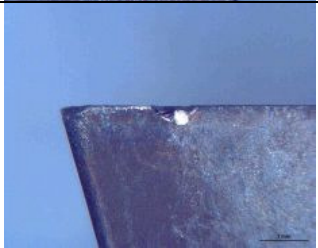
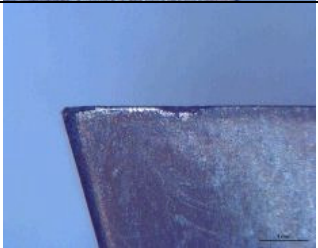
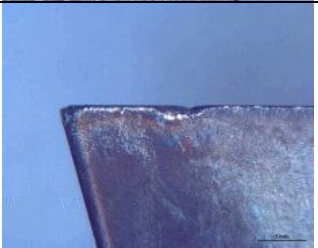
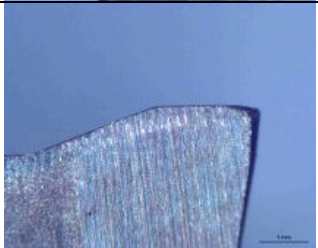
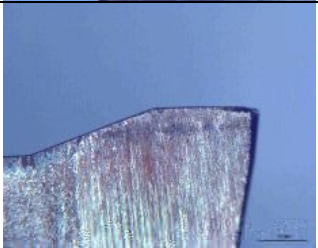
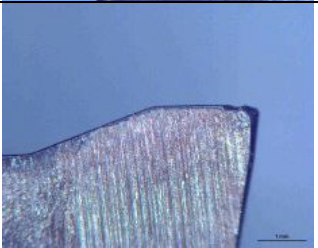
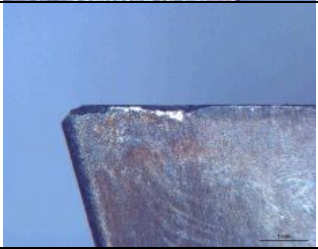
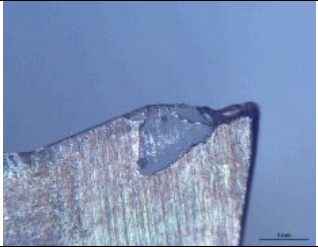


Graf 5.5 Porovnání řezivosti pro zkoušku na oceli 17 349.4 bez chlazení



Graf 5.6 Průběh opotřebení na čase na oceli 17 349.4 bez chlazení

Tab. 5.9 Zobrazení opotřebení destiček na oceli 17 349.4 bez chlazení

Čas [min]	Velikost zaoblení ostří		
	30 μm	40 μm	55 μm
15			
			
20			
			
26			
			

5.4 Zkouška na litině 42 2425 s chlazením

Zkouška byla provedena na šedé litině s lupínkovým grafitem 42 2425 s chlazením procesní kapalinou. Tvrdost litiny byla 195 – 220 HB. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 5.10

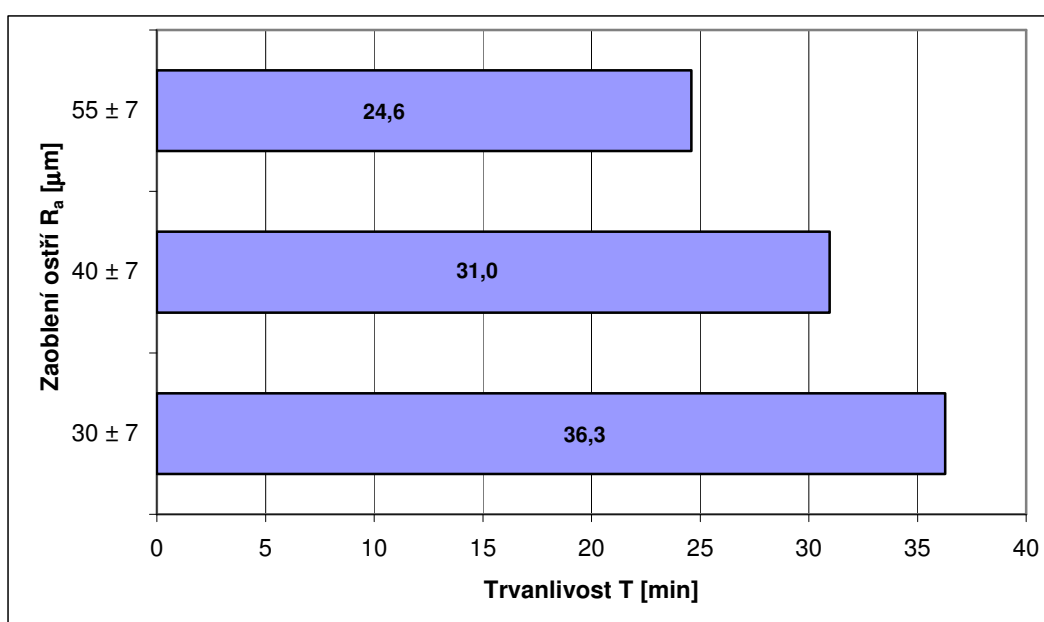
Tab. 5.10 Řezné podmínky pro litinu 42 2425 s chlazením

Nastavovaná veličina		Hodnota
Řezná rychlost	$[v_c]$	$200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv na zub	$[f]$	$0,225 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$
Hloubka třísky	$[a_p]$	2,5 mm
Šířka záběru	$[a_e]$	50 mm

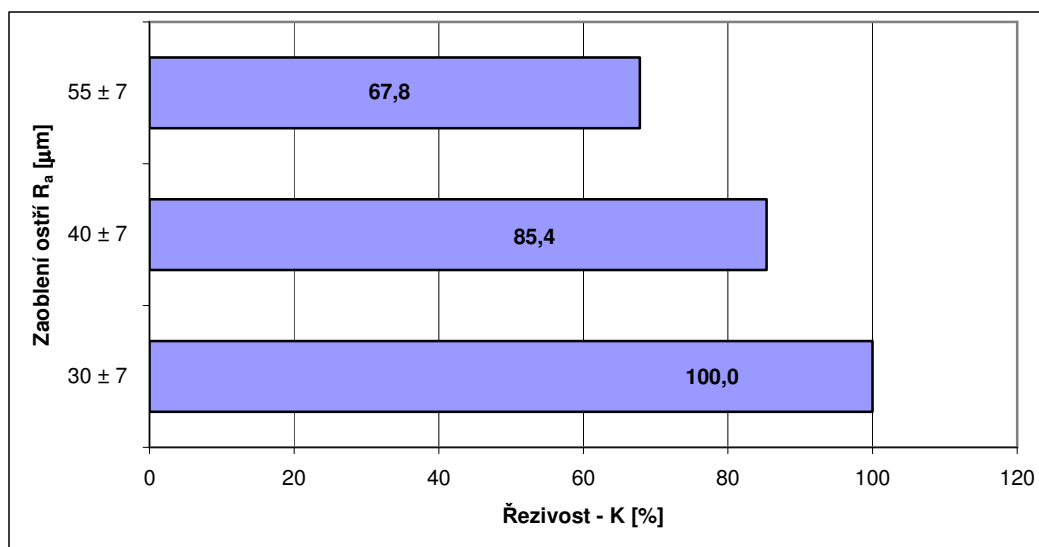
Tabulka naměřených hodnot je v příloze 1.

Tab. 5.11 Výsledky zkoušky na litině 42 2425 s chlazením

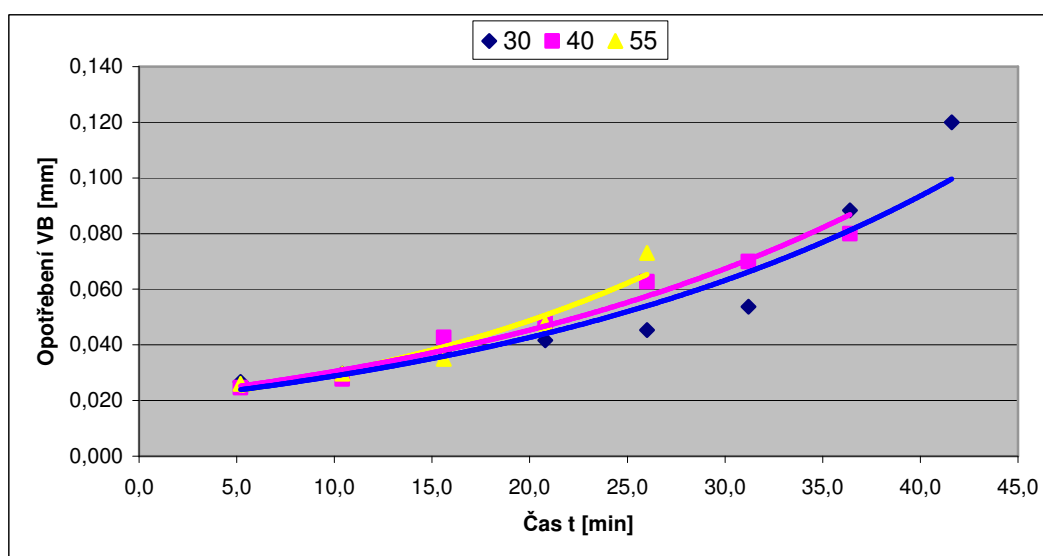
Označení vzorku	Zaoblení ostří $[\mu\text{m}]$	Trvanlivost $[\text{min}]$	ϕT $[\text{min}]$	Řezivost $[\%]$
A32	30	33,8	36,3	100,0
A33	30	39,0		
A34	31	36,0		
B5	40	33,8	31,0	85,4
B6	39	30,5		
B27	40	28,6		
C1	51	23,4	24,6	67,8
C2	48	24,3		
C5	52	26,1		



Graf 5.10 Porovnání trvanlivostí pro zkoušku na litině 42 2425 s chlazením

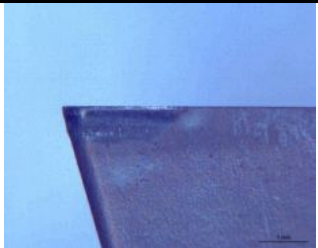
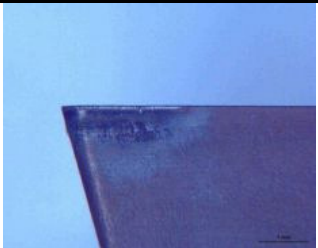
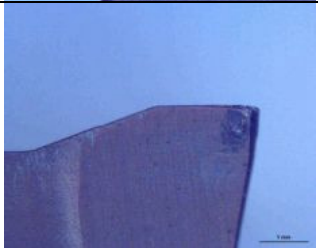
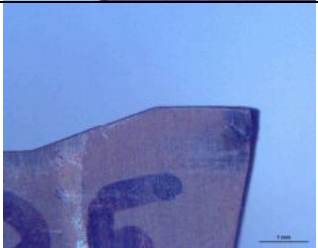
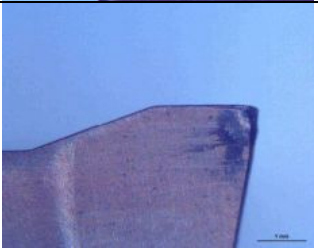
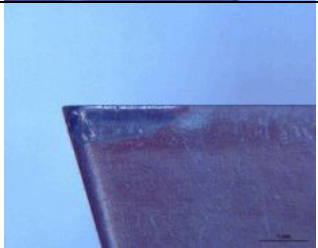
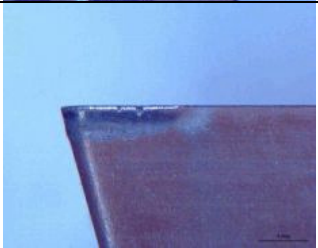
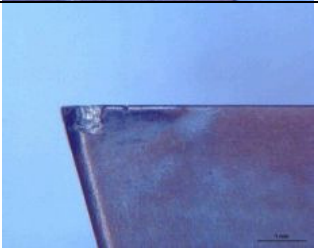
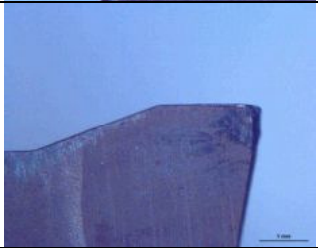
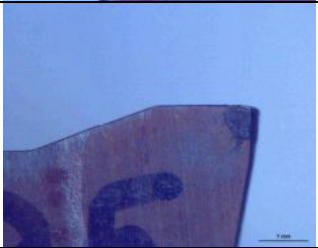
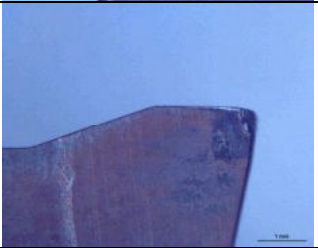
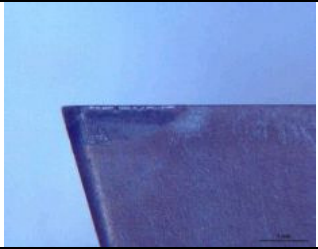
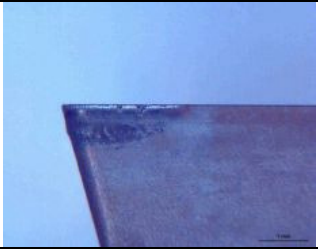
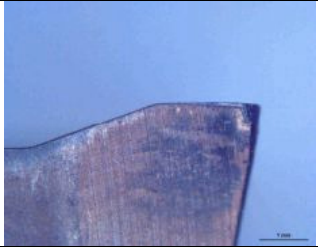
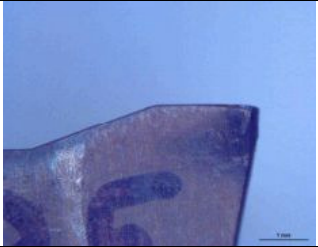


Graf 5.11 Porovnání řezivosti pro zkoušku na litině 42 2425 s chlazením



Graf 5.12 Průběh opotřebení na čase na litině 42 2425 s chlazením

Tab. 5.12 Zobrazení opotřebení destiček na litině 42 2425 s chlazením

Čas [min]	Velikost zaoblení ostří		
	30 μm	40 μm	55 μm
15			
			
20			
			
26			
			

5.5 Zkouška na litině 42 2425 bez chlazení

Zkouška byla provedena na šedé litině s lupínkovým grafitem 42 2425 s chlazením procesní kapalinou. Tvrdost litiny byla 230 – 240 HB. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 5.13

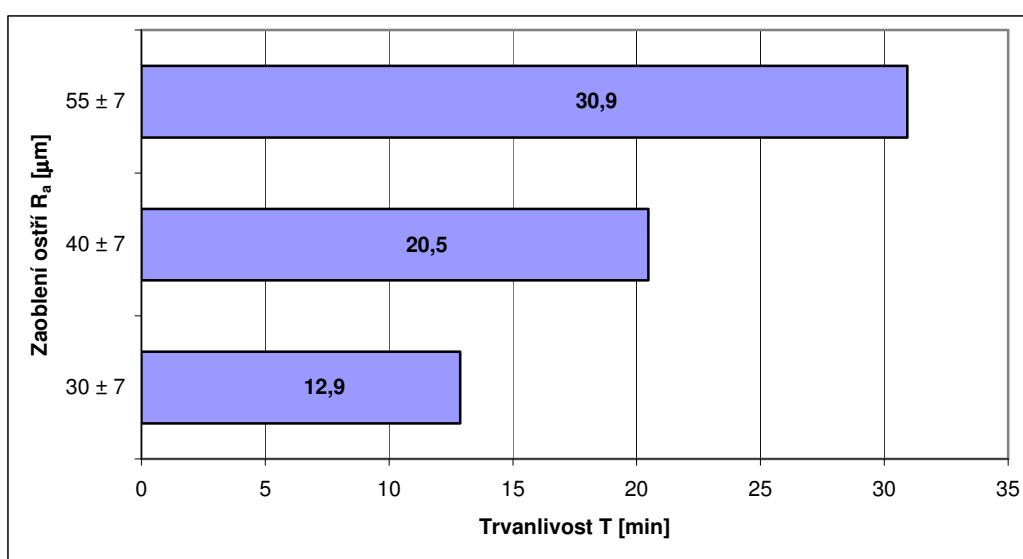
Tab. 5.13 Řezné podmínky pro litinu 42 2425 bez chlazení

Nastavovaná veličina		Hodnota
Řezná rychlost	$[v_c]$	$200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv na zub	$[f]$	$0,225 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$
Hloubka třísky	$[a_p]$	2,5 mm
Šířka záběru	$[a_e]$	50 mm

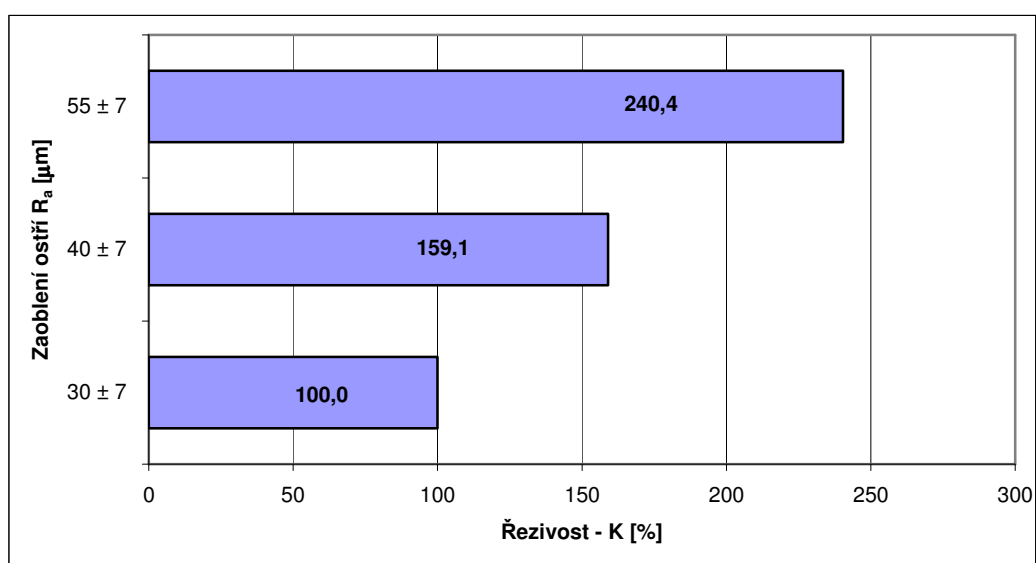
Tabulka naměřených hodnot je v příloze 1.

Tab. 5.14 Výsledky zkoušky na litině 42 2425 bez chlazení

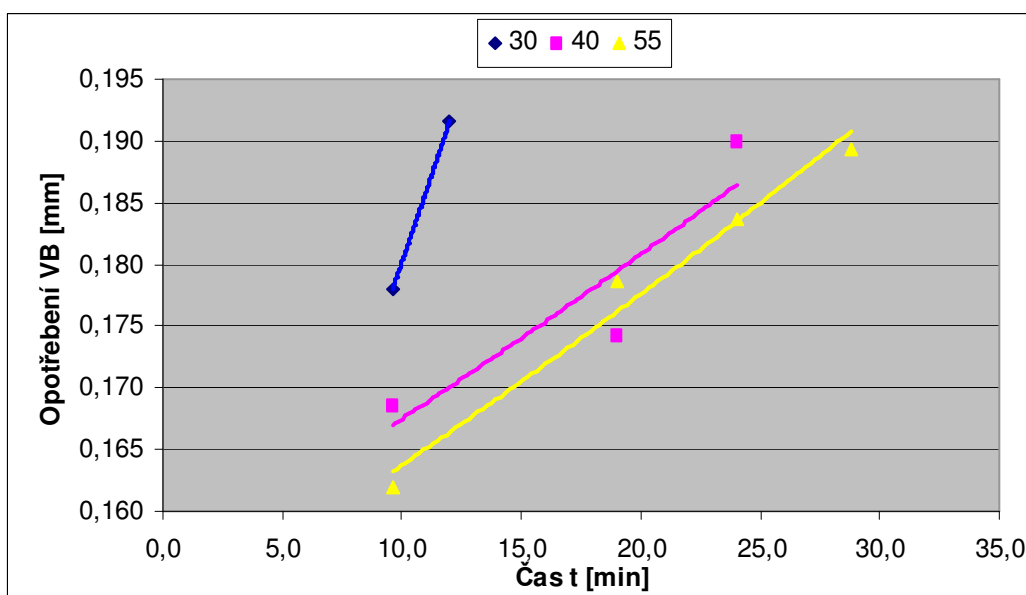
Označení vzorku	Zaoblení ostří $[\mu\text{m}]$	Trvanlivost $[\text{min}]$	ϕT $[\text{min}]$	Řezivost $[\%]$
A16	30	12,5	12,9	100,0
A18	32	14,0		
A25	33	12,1		
B1	38	25,6	20,5	159,1
B2	40	19,0		
B12	39	16,8		
C3	50	32,2	30,9	240,4
C7	53	32,0		
C11	50	28,6		



Graf 5.13 Porovnání trvanlivostí pro zkoušku na litině 42 2425 bez chlazení

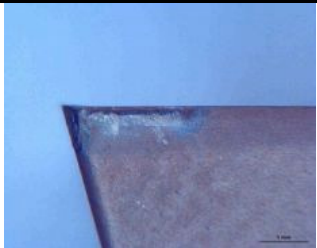
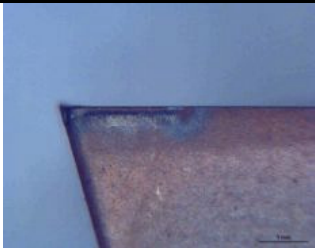
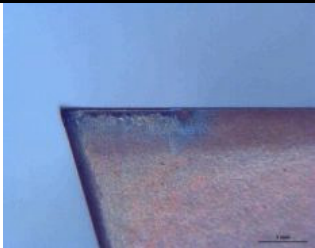
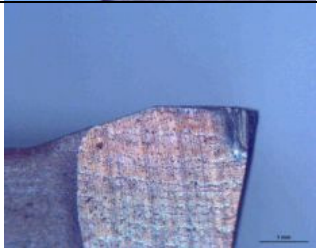
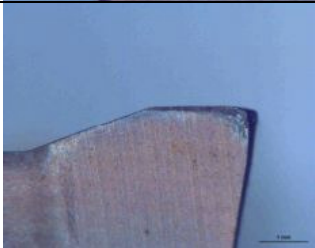
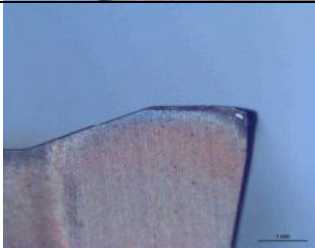
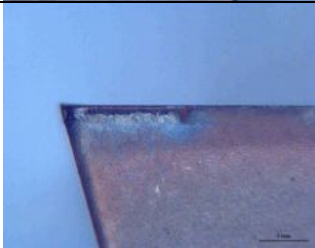
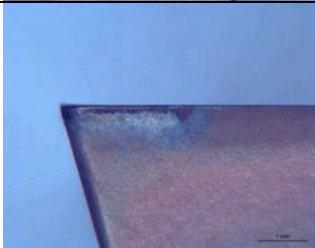
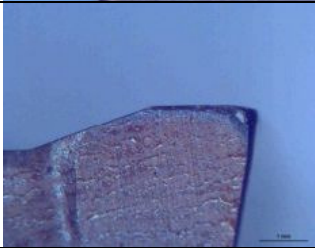
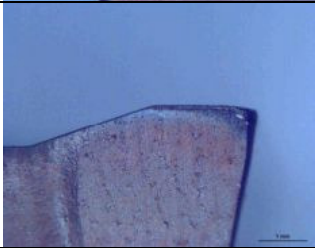
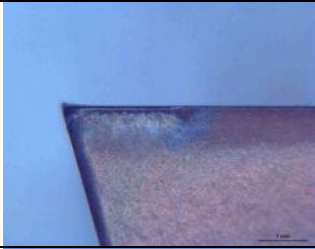
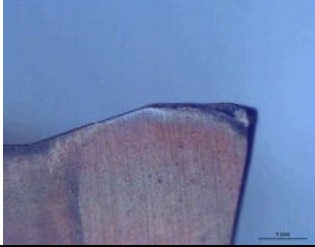


Graf 5.14 Porovnání řezivosti pro zkoušku na litině 42 2425 bez chlazení



Graf 5.15 Průběh opotřebení na čase na litině 42 2425 bez chlazení

Tab. 5.15 Zobrazení opotřebení destiček na litině 42 2425 bez chlazení

Čas [min]	Velikost zaoblení ostří		
	30 μm	40 μm	55 μm
15			
			
24			
			
30			
			

6 ZHODNOCENÍ

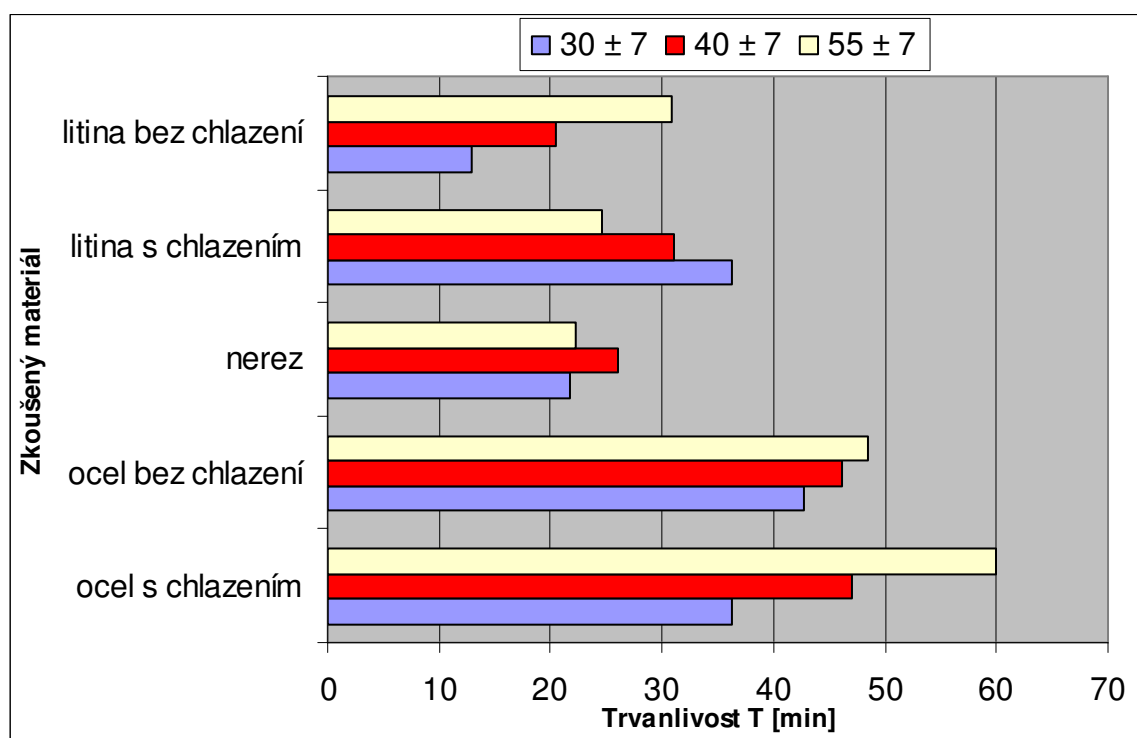
Změnou velikosti zaoblení ostří značně ovlivníme trvanlivost nástroje jako v případě obrábění litiny 42 2425 bez použití procesní kapaliny až o 140 %.

Při obrábění uhlíkové oceli 12 050.1 se značně zvýší rozdíly v trvanlivosti mezi jednotlivými zaobleními ostří při použití procesní kapaliny. Při zkouškách je jednoznačně nejvhodnější použít zaoblení ostří 55 μm .

Při zkouškách na litině 42 2425 se projeví velké rozdíly mezi jednotlivými zaobleními nebyla-li použita procesní kapalina. Při použití procesní kapaliny je nejvhodnější použít zaoblení ostří 30 μm a bez použití se ukázalo nejvhodnější zaoblení ostří 55 μm .

Pro obrábění korozivzdorné oceli 17 349.4 bylo nejvhodnější zaoblení ostří 40 μm .

Porovnání jednotlivých zkoušek je uvedeno v grafu 6.1.



Graf 6.1 Porovnání zkoušek trvanlivosti

ZÁVĚR

Na výběr správného nástroje pro danou aplikaci má velký vliv jeho trvanlivost. Je snahou dosáhnout nejvyšší trvanlivosti nástroje při zachování jakosti povrchu a geometrických tolerancí. V této studii bylo provedenými experimenty zjištěno, že je možné ovlivnit trvanlivost nástroje správnou volbou zaoblení ostří a vyplývají z ní tyto závěry:

- Pro výrobu destiček **APKX1505PDER-M** zvolit velikost zaoblení ostří **55 μm** . Toto zaoblení vykazuje **nárůst trvanlivosti o 11 % až 66 %** při obrábění uhlíkové oceli 12 050.1 oproti ostatním porovnávaným velikostem zaoblení ostří.
- Destička APKX1505PDER-M materiálu 2230 je primárně určena pro obrábění materiálů skupiny P, proto mají zkoušky provedené na oceli 12 050.1 největší váhu pro volbu velikosti zaoblení ostří.
- Pro obrábění litiny 42 2425 těmito destičkami doporučit nepoužívat procesní kapalinu. Destičky se zaoblením ostří 55 μm vykazovali o 24 % větší trvanlivost bez použití procesní kapaliny.
- Provést doplnění zkoušek na oceli 17 349.4 s chlazením, jelikož jde o stále častější způsob obrábění korozivzdorných ocelí. Zkouška nebyla provedena z časových důvodů.
- Destičky vykazovali jen malé opotřebení hřbetu. Limitního opotřebení VB = 0,2 mm bylo dosaženo jen při zkouškách na korozivzdorné oceli a na litině bez použití chlazení. Při ostatních zkouškách bylo limitním opotřebením, které ukončilo zkoušku vydrolení části vedlejšího břitu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. ČSN-ISO 8688-1: *Rezné nástroje. Testovanie trvanlivosti pri frézování. Časť 1: Rovinné frézovanie*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
3. ČSN-ISO 513: *Klasifikace a použití tvrdých rezných materiálů k obrábění kovů určeným ostrím – Označování skupin a podskupin použití*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1995.
4. ENDRES, W. J., KOUNTANYA, R. K.: *The effects of Conner radius and edge radius on tool flank wear*. [online]. [cit. 28. 4. 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3963/is_200201/ai_n9027579/pg_1>.
5. FOREJT, M., PÍŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
6. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. *Technologie frézování. MM Průmyslové spektrum – Speciální vydání*. Září 2004., s. 84-96. ISBN 1212-2572.
7. KOČMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
8. KOVOSVIT MAS. *MCV 1270 Power*. [online]. [cit. 28. 4. 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.kovosvit.cz/2005/czech/cmcv1270p.php#1>>.
9. MAHR. *XC 20 - MAHR METROLOGY*. [online]. [cit. 28. 4. 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mahr.com/index.php?NodeID=2736>>.
10. MRKVICA, I., MORAVEC, V.: *Úpravy břitů a povrchů rezných nástrojů*. [online]. [cit. 28. 4. 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/upravy-britu-a-povrchu-reznych-nastroju>>.
11. *Nový materiál pro frézování oceli, 2230*. PRAMET TOOLS, s. r. o., Šumperk, Česká republika. Květen 2008. 880378.
12. PRAMET. *Frézování: katalog 2006*. PRAMET TOOLS, s. r. o., 2006. 256 s.
13. SEHNAL Martin. *Povlakované slinuté karbidy a jejich efektivní využití*. Diplomová práce v oboru „Strojírenská technologie - obrábění“. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2006. 89 s.
14. TESCOAN. *Výrobky – VEGA/LMH*. [online]. [cit. 28. 4. 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.tescan.com/cz/an_ts5130lm.html>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CVD	[-]	Chemicky nanášený povlak
HB	[-]	Brinellova tvrdost
HV	[-]	Vickersova tvrdost
K	[%]	Řezivost
MTCVD	[-]	Středně teplotní chemicky nanášený povlak
PVD	[-]	Fyzikálně nanášený povlak
R_n	[μm]	Zaoblení ostří
T	[min]	Trvanlivost
VB	[mm]	Opotřeбенí hřbetu
VBD	[-]	Vyměnitelná břitová destička
V_m	[m^3]	Objem odebraného materiálu
V_s	[m^3]	Objem volně sypaných třísek
W	[-]	Objemový součinitel třísek
a_e	[mm]	Šířka záběru
a_p	[mm]	Hloubka třísky
f	[$\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1}$]	Posuv na zub
h_{Dmin}	[min]	Minimální hloubka třísky
n	[-]	Počet zkoušek
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	Řezná rychlost
x	[min]	Hodnota trvanlivosti
$\bar{x}$	[min]	Aritmetický průměr hodnoty x
α_0	[°]	Úhel čela
ϕ	[°]	Úhel střižné roviny
ϕT	[min]	Průměrná trvanlivost
γ_0	[°]	Úhel hřbetu
δ_{oB}	[°]	Nástrojový ortogonální úhel řezu v bodě B
δ_o	[°]	Nástrojový ortogonální úhel řezu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Naměřené hodnoty

Příloha 1

Zkouška trvanlivosti na oceli 12 050.1 s chlazením

číslo vzorku	Zaoblení ostří	Čas měření [min]										Trvanlivost [min]
		12,0	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,0			
		Hodnoty opotřebení VB [mm]										
A22	27	0,024	0,031	0,033								36
A23	30	0,020	0,025	0,027	0,030							37
A29	32	0,020	0,022	0,024	0,031							36
B11	41	0,020	0,022	0,024	0,035	0,048						42
B13	39	0,019	0,023	0,026	0,040	0,042						45
B16	41	0,020	0,022	0,023	0,024	0,025	0,045	0,051				54
C18	54	0,020	0,022	0,023	0,024	0,026	0,030	0,032	0,050			66
C19	50	0,021	0,022	0,025	0,026	0,032	0,040	0,050	0,060			60
C25	48	0,020	0,021	0,022	0,023	0,025	0,042	0,055				54

Zkouška trvanlivosti na oceli 12 050.1 bez chlazení

číslo vzorku	Zaoblení ostří	Čas měření [min]										Trvanlivost [min]
		8,4	16,8	21,0	25,2	29,4	33,6	37,8	42,0	44,1	50,4	
		Hodnoty opotřebení VB [mm]										
A17	25	0,056	0,060	0,061	0,064	0,065	0,066	0,066	0,066			39,9
A26	25	0,057	0,059	0,059	0,059	0,062	0,064	0,065	0,069	0,070		46,2
A27	27	0,055	0,058	0,060	0,062	0,063	0,066	0,067	0,070			42,0
B7	43	0,055	0,058	0,060	0,064	0,066	0,068	0,069	0,070	0,070		44,1
B10	45	0,050	0,055	0,058	0,062	0,064	0,067	0,069	0,072			44,0
B23	43	0,045	0,052	0,055	0,055	0,062	0,070	0,073	0,074	0,075		50,2
C4	52	0,051	0,060	0,061	0,063	0,064	0,065	0,066	0,068	0,069	0,070	50,1
C8	53	0,052	0,055	0,058	0,060	0,061	0,063	0,067	0,068	0,072		49,0
C14	49	0,050	0,052	0,053	0,053	0,057	0,059	0,060	0,062	0,062		46,1

Zkouška trvanlivosti na oceli 17 349.4 bez chlazení

číslo vzorku	Zaoblení ostří	Čas měření [min]										Trvanlivost [min]
		6,5	13,0	19,5	26,0							
		Hodnoty opotřebení VB [mm]										
A2	31	0,112	0,117	0,198							19,5	
A10	30	0,118	0,130	0,189							20,0	
A11	29	0,107	0,116	0,141	0,199						26,0	
B20	38	0,124	0,126	0,132	0,180						26,0	
B29	42	0,119	0,124	0,166	0,163						26,0	
B32	44	0,100	0,118	0,135	0,178						26,3	
C13	53	0,120	0,147	0,165	0,185						26,0	
C17	54	0,130	0,145	0,175							21,0	
C24	55	0,135	0,140	0,174							19,5	

Zkouška trvanlivosti na litině 42 2425 s chlazením

číslo vzorku	Zaoblení ostří	Čas měření [min]										Trvanlivost [min]
		5,2	10,4	15,6	20,8	26,0	31,2	36,4	41,6			
		Hodnoty opotřebení VB [mm]										
A32	30	0,035	0,036	0,037	0,043	0,045	0,065					33,8
A33	30	0,020	0,026	0,041	0,042	0,045	0,046	0,092				39,0
A34	31	0,025	0,027	0,035	0,040	0,046	0,050	0,080				36,0
B5	40	0,021	0,022	0,038	0,041	0,058	0,070	0,080				33,8
B6	39	0,025	0,030	0,037	0,048	0,065						30,5
B27	40	0,028	0,031	0,053	0,055	0,065						28,6
C1	51	0,030	0,032	0,035	0,059	0,075						23,4
C2	48	0,022	0,025	0,030	0,033	0,062						24,3
C5	52	0,026	0,032	0,040	0,051	0,082						26,1

Zkouška trvanlivosti na litině 42 2425 bez chlazení

číslo vzorku	Zaoblení ostří	Čas měření [min]										Trvanlivost [min]
		9,6	12,0	19,0	24,0	28,8						
		Hodnoty opotřebení VB [mm]										
A16	30	0,176	0,184								12,5	
A18	32	0,180	0,195								14,0	
A25	33	0,178	0,196								12,1	
B1	38	0,173		0,180	0,190						25,6	
B2	40	0,170		0,175							19,0	
B12	39	0,163		0,168							16,8	
C3	50	0,170		0,178	0,182	0,183					32,2	
C7	53	0,160		0,175	0,183	0,195					32,0	
C11	50	0,156		0,183	0,186	0,190					28,6	