

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Magisterský studijní program: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

Optimalizace kritéria opotřebení vyměnitelných břitových destiček při soustružení součástí převodovek ve firmě ŠKODA-Auto, a.s

Determining the optimal size of the wear inserts for turning in ŠKODA-AUTO, a.s

KOM - 1142

Daniel Isach

Vedoucí práce: Prof. Ing. Alexey Popov DrCs, TU v Liberci.

Konzultant: Ing. Lucie Vrkoslavová, TU v Liberci.

Počet stran:.....57

Počet příloh a tabulek:..... 5

Počet obrázků:.....34

22.5.2010

Optimalizace kritéria opotřebení vyměnitelných břitových destiček při soustružení součástí převodovek ve firmě ŠKODA-Auto, a.s

ANOTACE:

Katedra obrábění a montáže dostala za úkol optimalizovat velikost opotřebení vyměnitelných břitových destiček při obrábění převodového hřídele. Testovaly se břitové destičky z cermetu a slinutého karbidu od společnosti Sandvik Coromant na oceli 16 220. Úkolem bylo experimentálně zjistit optimální velikost opotřebení a doporučit řešení pro technickou praxi.

Determining the optimal size of the wear inserts for turning in ŠKODA-AUTO, a.s

ANNOTATION:

The Department of machining and assembly of the Technical University of Liberec has been carried out research work for determining the optimal size of the wear of cutting inserts for turning structural steel. Were tested cermet inserts and cemented carbide inserts suppliers Sandvik Coromant for turning steel 16 220. The result of research work has been determining the optimal size of the wear of cutting inserts.

Klíčová slova: SOUSTRUŽENÍ, OPOTŘEBENÍ, CERMET, SLINUTÝ KARBID

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2010

Archivní znač. zprávy:

Počet stran: 57

Počet příloh: 4

Počet obrázků: 34

Počet tabulek: 1

Počet diagramů: 5

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

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

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

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

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

Datum

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce Prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrCs. za spoustu cenných rad a připomínek v průběhu vypracování diplomové práce, dále svým spolupracovníkům Janu Votavovi a Romanu Lickovi.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině za vytvoření studijního prostředí a podporu v celém průběhu studia.

OBSAH

1. ÚVOD.....	11
2. HISTORICKÝ VÝVOJ OBRÁBĚNÍ.....	12
3. ŘEZNÉ MATERIÁLY.....	17
3.1. Rychlořezná ocel	17
3.2. Slinutý karbid	18
3.3. Cermet	21
3.4. Řezná keramika	23
3.5. Kubický nitrid bóru (CBN).....	25
3.6. Syntetický polykrystalický diamant (PKD).....	26
4. KÓDOVÉ OZNAČENÍ VBD.....	26
5. OPOTŘEBENÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ.....	28
5.1. Fyzikální podstata opotřebení.....	29
5.2. Formy opotřebení SK, řezné keramiky a rychlořezné oceli.....	30
5.3. Kritéria opotřebení.....	32
5.4. Způsoby měření opotřebení.....	34
6. PŘÍPRAVNÁ ČÁST EXPERIMENTU.....	36
6.1. Převodový hřídel obráběný ve Škoda-auto a.s.....	36
6.2. Volba stroje	37
6.3. Volba polotovaru.....	38
6.4. Příprava polotovaru v laboratořích	39

6.5.	Příprava CNC programu pro soustruh „Chevalier“	40
6.6.	Používané vyměnitelné břitové destičky	42
6.7.	Upínací systém	43
6.8.	Kontrola koncentrace chladicí kapaliny	44
6.9.	Kontrola velikosti opotřebení VB	44
6.10.	Shrnutí laboratorních podmínek	45
7.	VYHODNOCENÍ LABORATORNÍCH ZKOUŠEK.....	45
8.	VYHODNOCENÍ OPOTŘEBENÍ DOSAŽENÝCH VE ŠKODA- AUTO A.S	49
9.	ZÁVĚR.....	53

SEZNAM ZKRATEK

a	hloubka třísky [mm]
Al_2O_3	oxid hlinitý
CBN	kubický nitrid bóru
CNC	automatizované číslicové řízení
Co	kobalt
Cr	chrom
ČSN	česká technická norma
EN	evropská norma
HB	tvrdost podle Brinella
HIP	vysokoteplotní izostatické lisování
HRB	tvrdost podle Rockwella (při zatížení 1000N)
HRC	tvrdost podle Rockwella (při zatížení 1500N)
HSS	anglické označení pro rychlořeznou ocel (high speed steel)
ISO	mezinárodní organizace pro normalizaci
K	koeficient využitelnosti VBD
KOM	katedra obrábění a montáže
KT	hloubka výmolu na čele [mm]
Kvy	radiální opotřebení špičky [mm]
Mo	molybden
Mo_2C	karbid molybdenu
NbC	karbid niobu
Ni	nikl
PKD	polykrystalický diamant
Ra	jednotka drsnosti povrchu
RO	rychlořezná ocel
ŘK	řezná keramika
s	posuv v milimetrech na otáčku
Si_3N_4	nitrid křemíku
SiC	karbid křemíku
SK	slinutý karbid
t	čas [min]
Ta	tantal

TaC	karbid tantalu
Ti	titan
TiC	karbid titanu
TiN	nitrid titanu
v	řezná rychlost [m/min]
VB	šířka opotřebené fazetky na hřbetě
VC	vyměnitelná břitová destička
VC	karbid vanadu
W	wolfram
WC	karbid wolframu
μm	mikrometr

1. ÚVOD

Zjištění optimální velikosti opotřebení je jen jedním z úkolů, který byl zadán společností Škoda-auto a.s. katedře obrábění a montáže (dále KOM) TU v Liberci. Součástí grantu bylo dále zjištění a doporučení ideálních řezných kapalin, optimalizace břitových destiček a řezných podmínek pro obrábění hřídelů převodové soustavy. Takto definované úkoly byly rozděleny na tři části, a tedy na tři diplomové práce. Experimenty byly prováděny v laboratořích KOM TU v Liberci a na jejich celkovou realizaci bylo spotřebováno 840 kg oceli.

V dřívějších dobách existoval pouze jeden parametr opotřebení a tento parametr určoval hranici porušení nástroje, při které už nebyl schopen obrábět. V této souvislosti se nelze bavit o žádném druhu optimalizace velikosti opotřebení. Nástroj byl užitečný dokud obráběl, a poté musel být přebroušen nebo vyhozen. Další okolnosti obráběcího procesu se příliš nezkoumali, až další vývoj ukázal potřebu obráběcích center zpřesnit kritérium opotřebení, při kterém se stává nástroj neprovozoschopný pro typ dané operace. Mezi tyto faktory patří stav povrchu obrobku, přesnost rozměrů, způsob opotřebení břitu nástroje, utváření třísky, řezná síla (ve speciálních případech), bezpečnost. Doba trvání řezného procesu, ve které se stane nástroj takto neprovozoschopný, se označuje jako trvanlivost. Samozřejmě, že důležitost jednotlivých faktorů se liší v závislosti na druhu a náročnosti technologických operací obrábění. V našem případě se jedná jak o obrábění načisto, tak i o hrubování.

Co se týče samotných testů na zjištění kritéria opotřebení vyměnitelných břitových destiček, byly rozděleny na dvě části, a to na část experimentální v laboratořích KOM a na část měření již opotřebovaných destiček v Škoda-auto a.s. Experimentální část byla naměřena jako první a až pro potvrzení výsledků byly změřeny destičky již opotřebované ve Škodě-auto a.s. Kontrola vyměnitelných břitových destiček se prováděla jak pro slinutý karbid, tak i pro cermet. Byly dodány destičky pro operace hrubovací i pro operace načisto, proto také technologické parametry a velikost opotřebení se vzájemně dost lišily. Bylo důležité se zorientovat v tom, co je pro každou z těchto odlišných operací prioritní a co lze zanedbat.

2. Historický vývoj obrábění

Prudký rozvoj obrábění kovů a různých druhů konstrukčních materiálů se datuje do doby průmyslové revoluce, tedy do 18. a především druhé poloviny 19. století, kdy došlo v Americe a Evropě k velkému rozvoji strojového parku především pro výrobu zbraní. Ostatně, jak je tomu (bohužel) v technické historii zvykem, hnacím motorem pokroku byly bojové konflikty. Vývoj řezných nástrojů se po obou světových válkách nezastavil, ba naopak, byl jimi rozprouděn a ve druhé polovině 20. století došlo dokonce k jeho výraznému zrychlení. Než mohlo k tak náhlému rozvoji dojít, musela být zdolána ještě dlouhá cesta.

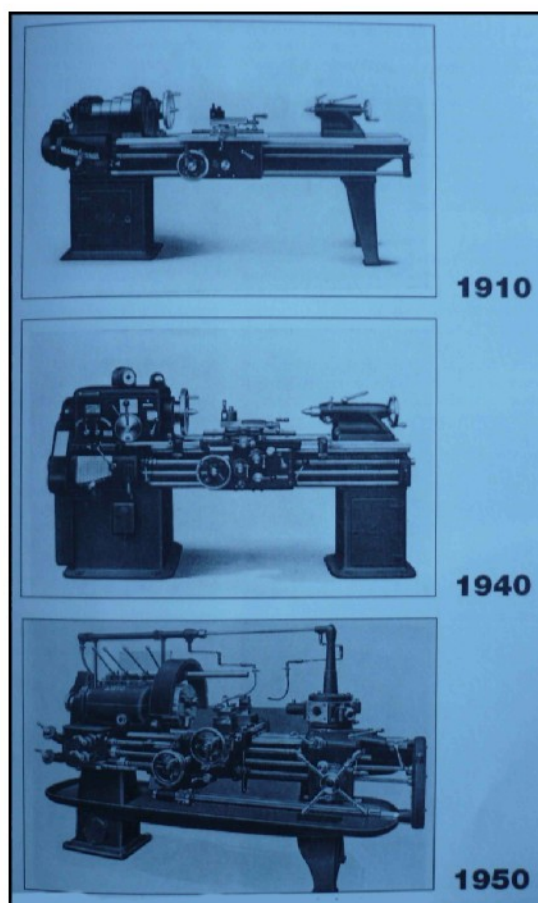
Pokud půjdeme do dávné minulosti, byly prvními nástroji řezání kamenné a kostěné zbraně na opracování kůží, porcování zvířat a porážení stromů. Tyto nástroje se používaly (asi 600 000 až 10 000 let před n.l.) a je samozřejmé, že účinnost těchto nástrojů byla velice nízká. Mezi vývojově následující vylepšení řezných procesů a jejich mechanizaci lze zařadit pohyb nástroje pomocí tětiny luku (střídavě jedním a druhým směrem), klikou nebo také vodní pohon. Dalším výrazným krokem kupředu se zdají být objevy geniálního Leonarda da Vinci (1452 – 1519), který jako převratný vizionář a vynálezce nakreslil návrhy šlapacího soustruhu s nepřerušovaným jednosměrným otáčením, závitníku a závitnice, vodní turbíny, tiskařského lisu, tkacího stroje a mnoha dalších strojů a nástrojů, které byly v pozdější době realizovány téměř ve stejném technickém provedení, jak si je sám Leonardo da Vinci představoval.

Až do 18. století bylo hlavním materiálem dřevo a obrábění kovů bylo z hlediska dnešní techniky ještě v plenkách. V 19. století přichází na scénu James Watt (1736 – 1819), který významně vylepšil parní stroj T.Newkomena a jeho parní stroj byl konečně adekvátním mechanickým pohonem pro obrábění kovů, které se do té doby omezovalo pouze na kovářské práce. Později byl samozřejmě pohon parním strojem nahrazen elektromotorem.

Začátkem 19. století bylo obrábění velice zdoluhavým a náročným technickým procesem. Například ohoblování (později nahrazeno hospodárnějším frézováním) kovové plochy 1,5 m² trvalo osm hodin. Nejen stroje a technologie obrábění čekal budoucí velký rozvoj, ale i metalurgie se nadechovala k velkému skoku kupředu. Nejlepším řezným

materiálem té doby byla legovaná ocel a nelegovaná uhlíková ocel, ale i přes tehdejší nízké rychlosti několik m/min materiál rychle měkl a byl nestabilní a nespolehlivý. Dalším stupněm ve vývoji řezných materiálů se stal náhodný experiment, ze kterého vznikla „Muschetova ocel“. Tento experiment napomohl odhalit vliv wolframu v oceli a pokusy s manganem objasnily kalení oceli na vzduchu. Tyto objevy vedly k větší pozornosti na vývoj legovaných ocelí. Vzhledem k legovaným a uhlíkovým ocelím byla schopna „Muschetova ocel“ dosahovat až dvojnásobné řezné rychlosti, a to až 10m/min. Odolnost vůči vyšším teplotám se také zvýšila [5].

Důležitou událostí, která ovlivnila obrábění na přelomu 19. století se stala výstava v Paříži roku 1900, kde Frederick Taylor (1856 – 1915) předváděl obrábění takovými řeznými rychlostmi a posuvy, že se kovové třísky barvily domodra. Speciální soustruh obráběl nelegovanou ocel rychlostí 40 m/min při posuvu 1,6 mm/ot a hloubce řezu 4,8 mm. Řezný nástroj červeně žhnul, ale přitom zůstával stále ostrý. Taylor při svých pokusech ještě se svým pomocníkem Mauselem Whitem provedl nespočetně pokusů ke zvýšení řezného výkonu. Jeho práce se opírala o zpracování cca 400 000 kg ocelových výkovek. Z takového množství pokusů vyplývalo neustálé zlepšování konstrukce obráběcích strojů (hlavní vývojová stadia soustruhů z poloviny 20. století obr. 2.1). Ty musely vyhovovat nárokům, které stanovily nové nástrojové materiály. Novým materiálem se z pohledu tehdejší doby stala rychlořezná ocel (RO), které položili základ Taylor s Whitem svými pokusy se zvyšováním obsahu legujících prvků, a to zejména wolframu a chrómu [5],[7].



Obr. 2.1.: Hlavní vývojová stádia soustruhů z poloviny 20. století [4].

V souvislosti s touto dobou, tedy okolo roku 1900, nelze opomenout velice významný skok ve vývoji tvrdých řezných materiálů, a tím bylo zkonstruování elektrické obloukové pece Henri Moissonem v Paříži roku 1897, která zvýšila pracovní teploty procesu jejich výroby. K počátku minulého století se také váže zjištění, že výborné řezné vlastnosti rychlořezných ocelí (RO) jsou dány přítomností velmi tvrdých karbidických částic (zejména WC) v kovové matici. Logickým vývojovým krokem se proto jevila varianta zvládnutí řezných nástrojů z čistého wolframu. Po velkém úsilí a s velkými obtížemi byl takový materiál připraven, ale pro užití v průmyslové praxi se ukázal příliš křehký. Až roku 1910 se W.D.Coolidgovi podařilo vyrobít žhavící vlákno z wolframového prášku, který měl mikrometrickou zrnitost ($1-2\text{ }\mu\text{m}$). Tím byl dán základ práškové metalurgii, jakožto vědnímu a zpracovatelskému oboru. K předním průkopníkům v tomto odvětví se řadí zejména Karl Shöter. Byl to Ir, který pracoval pro Německou firmu Osram, kde byla vytvořena speciální studijní a vědecká skupina. V roce

1923 se mu podařilo smíchat práškový wolfram s uhlíkem a získat tak práškový karbid wolframu. Takto zpracovaný materiál byl zprvu určený pro vývoj průvleků k tažení drátů. Při vývoji tohoto materiálu zjistil, že pokud se WC smíchá s malým množstvím kovu z podskupiny železo-kobalt-nikl s obsahem do 10% (rovněž ve formě prášku) a jako vylišovaný celek bude ohříván na vysokou teplotu (nad 1300 °C, ve vodíkové atmosféře), lze získat výrobek s nízkou pórovitostí, velmi vysokou tvrdostí a značnou pevností. Tento materiál je pak ve výsledku velice homogenní a skládá se z tvrdých rozptýlených zrn WC a je spojen do jednoho celku houževnatým kovem. Jak se později ukázalo, nejvhodnějším pojivem pro tyto účely se stal kobalt. Přestože první pokusy v oblasti práškové metalurgie byly zaměřeny na drátové průvlekky, unikátní soubor vlastností slinutých karbidů je předurčil především pro aplikaci v oblasti řezných nástrojů. Řezná rychlost byla opět posunuta, a to až na trojnásobek rychlostí tehdy využívaných. Proto lze nazvat 30. léta érou slinutých karbidů, jakožto řezných materiálů. Tato skutečnost byla dalším opravdovým milníkem v dějinách nástrojů pro obrábění [4].

Samozřejmě, že vývoj materiálů nešel jen v jedné linii. Řezná keramika je dalším materiálem, který byl podrobován důkladnému zkoumání. První úvahy o využití keramiky Al_2O_3 jakožto řezného nástroje, byly diskutovány v Německu v roce 1905. Avšak první dostupný keramický materiál použitelný pro tento účel byl vyvinut v Německu v období 2. světové války firmou Degussa s označením „Degussit“ na podobné bázi byl vyvinut nástroj v roce 1942 v USA a v roce 1945 pod názvem „Mikrolite“ v Sovětském svazu. Aplikační možnosti keramických materiálů (v období 50. let 20. století) byly velmi omezené, většinou vzhledem ke svojí křehkosti se hodily pouze na nepřerušované řezání. Jejich nespolehlivost, co se týče výroby a opakovatelnosti požadovaných vlastností nástroje spolu s nedostatkem vhodných strojů, je odsoudila k počátečním dílčím neúspěchům. Až intenzivní výzkum, který částečně eliminoval největší nedostatky (hrubozrnná struktura, nízká odolnost proti teplotním šokům, nízká ohybová pevnost), dovolil prosazení keramických řezných nástrojů do průmyslové výroby, a to v první polovině 60. let 20. století. Mezi další pokrok lze považovat také vývoj kompozitu na bázi Al_2O_3 , který byl vyztužený vlákny SiC tzv. whiskery. Tento nástroj byl vyvinut v druhé polovině 80. let v USA. Vše co bylo zatím zmíněno o keramice, tak se zabývalo keramikou na bázi Al_2O_3 . Vlastnosti jiného keramického materiálu na bázi Si_3N_4 byly známy již delší dobu, ale až na počátku 80. let minulého

století byly dostupné technologie k jejich zpracování. Technologiemi se rozumí zařízení, která by byla schopna dosáhnout vysokých teplot a tlaků nutných pro výrobu nitridu křemíku využitelného v průmyslu. Současně v této době doznal vývoj změny ve tvaru břitu, které umožnily zvětšit pole působnosti z původního odsouzení k nepřerušovanému řezání směrem k těžším obráběcím operacím, a to především díky zaoblení špičky nástroje, fazetce na čele nebo jejich kombinacím [4], [5].

Dalším materiálem paralelně vyvíjeným ve světě byl cermet, převážně v Japonsku. Původní první generace v průmyslu využitelných cermetů byla vyrobena v USA v polovině 50. let minulého století. Japonsko na tento vývoj navázalo a již v 80. letech byla jedna čtvrtina všech vyrobených destiček zastoupena cermetovými, což představovalo stejný podíl jako u destiček ze slinutého karbidu. To lze připsat především nedostatku wolframu na Japonském trhu. Už rozložení názvu (na CERamics a METal) napovídá, že by tento materiál měl spojovat výhodné vlastnosti řezné keramiky, především její tvrdost a houževnatost. Skutečnost je samozřejmě trochu jiná a název spíše připomíná nadšení prvního z objevitelů. Ve skutečnosti se jedná o fáze tvořené zejména TiC, TiN, Ti(C,N), Mo₂C. Cermety nabízejí výhody vyšších rychlostí ve srovnání s konvenčními slinutými karbidy, protože TiC je termochemicky stabilnější než WC. Na hlavní nedostatky, jako je nízká pevnost a vydrolování, se upřela pozornost při dalším vývoji. Přidáním TaC a WC v 70. letech byly tyto vlastnosti vylepšeny a rozšířila se použitelnost nástrojů na středně těžké soustružení a lehké frézování. Dá se říci, že dalším vývojovým stupněm jsou cermety typu TiC - TiN, a jsou to právě tyto cermety a jejich variace, jež umožnily současné široké užití těchto materiálů v průmyslových aplikacích pro řezné nástroje. Při obrábění má cermet velmi nízkou drsnost povrchu, která je velice výhodná pro dokončovací operace. Spolu s nízkou náchylností k reakci s obráběným ocelovým materiálem a výbornou odolností proti adhezi (adhezní otěr je způsoben vytrháváním částic břitu v důsledku spojení mezi nástrojem a obrobkem) se řadí mezi společnost řezných nástrojů 21. století [4].

Do této kategorie lze také bez obav zařadit supertvrdé řezné materiály, jakými jsou bezesporu diamant a kubický nitrid bóru. Vývoj těchto materiálů se datuje od roku 1957, kdy byl poprvé vyroben umělý diamant a přeměněn hexagonální nitrid bóru pomocí transformace na jeho tvrdou kubickou formu. Ačkoli jsou tyto materiály

spojovány spíše s technologií s nedefinovaným tvarem břitu, tedy s broušením, našly uplatnění v řezných nástrojích, a to především pro speciální aplikace.

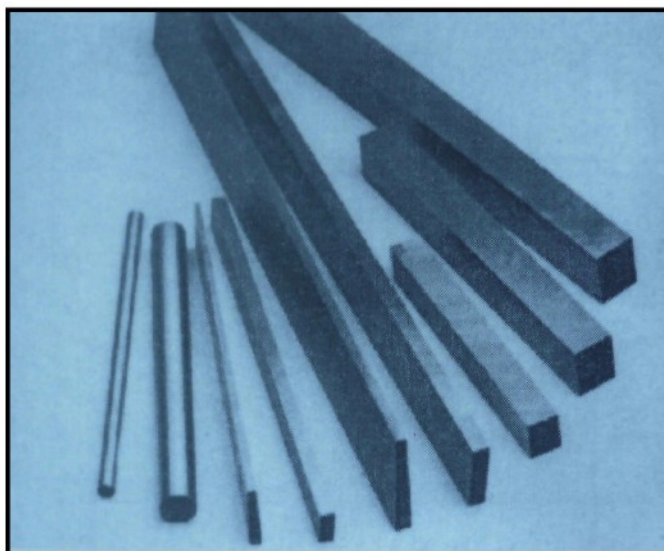
3. Řezné materiály

Jak už bylo zmíněno v předešlé kapitole, mezi moderní materiály s velkým potenciálem patří cermet, umělý diamant, kubický nitrid bóru, dále slinuté karbidy a nelze úplně zavrhnout použití rychlořezných ocelí, pro které je možné stále najít hojně využití. Všechny tyto materiály jsou podrobovány zkoumání a především jejich povlakování je velkým příslibem do budoucna co se týče zvyšování řezných výkonů a hospodárnosti obrábění.

V následujících kapitolách bude každému řeznému materiálu věnován patřičný prostor a budou dále popsány všechny jejich charakteristiky, vlastnosti a použití. Dnešní převážně číslicová výroba, kde je každá vteřina pracovního cyklu velice drahá, klade na řezné nástroje mnohem větší nároky než tomu bylo v minulosti. Trvanlivost, výrobní spolehlivost, správné utváření třísky, rozměrová stálost, to je jen pár příkladů požadavků, kterým musí nástroj čelit v průmyslové výrobě, aby mohl být úspěšný. Trend, jež je nastaven, směřuje k úzké specializaci nástrojového materiálu, povlakování i geometrie břitu. Jedině tak mohou vyniknout nejlepší vlastnosti nástroje a naopak být potlačeny ty špatné.

3.1. Rychlořezná ocel

Rychlořezná ocel nachází využití ve spoustě malých dílniček kusové výroby, jako pilové listy, pilové pásy, soustružnické nebo hoblovací nože, frézy atd. Hodí se pro výrobu monolitních nástrojů, jak lze z předchozího výčtu rozpoznat, proto najde také využití u protahovacích a protlačovacích trnů. Díky své ceně a snadnému ostření je rychlořezná ocel stále žádaným obchodním zbožím a v malých dílnách u ručních soustruhů a fréz odvádí nedocenitelnou práci. Na obrázku 3.1. jsou vidět polotovary vhodné pro výrobu řezných nástrojů z rychlořezné oceli.



Obr. 3.1.: Polotovary vhodné pro výrobu řezných nástrojů z rychlořezné oceli [4].

V anglické literatuře je rychlořezná ocel označována zkratkou HSS (high speed steel), tedy v překladu ocel určená pro rychlé obrábění. Oproti ostatním druhům ocelí se vyznačuje tvrdostí a žárupevností. Vyradí teploty až 600 °C v místě řezu (obr 3.1.), ale po jejím překročení dochází ke změnám struktury kovu, drolí se a břit se rychle otupí. Její výhodou je vysoká houževnatost a schopnost dosahovat vysokých posunových rychlostí, ale ve srovnání se současnou konkurencí nástrojů rozličných materiálů výrazně ztrácí hlavně v oblasti tvrdosti a velikosti maximálních řezných rychlostí.

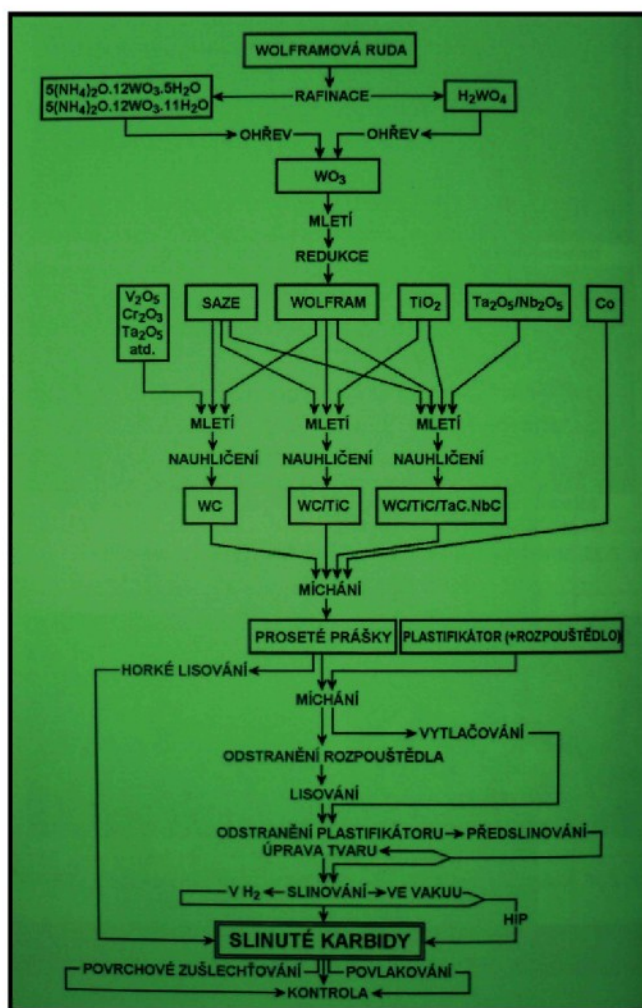
3.2. Slinutý karbid

Slinutý karbid je produktem práškové metalurgie, který se vyrábí z různých druhů karbidů a kovového pojiva. Toto složení mu dodává výhodnou kombinaci vlastností, která ho předurčuje k vedoucí roli při obrábění kovů při vysokých řezných rychlostech. Start vývoje slinutých karbidů se datuje do období 30. let 20. století, kde započalo objevování možností spojování tvrdých mikročástic pomocí pojiva. Prudký rozvoj těchto materiálů probíhal v 60. letech velmi bouřlivě, takže se produktivita obrábění podstatně zvýšila. V dnešní době se vývoj slinutých karbidů ubírá cestou zkvalitňování jejich povlaků. Povlakování je samostatným vědním oborem a velice přispívá k možnostem použitelnosti slinutého karbidu a samozřejmě i jeho trvanlivosti.

Práce s destičkami ze slinutých karbidů je shrnuta v ISO normě, která je rozděluje podle oblasti použití a pracovních podmínek do tří skupin. První skupina se nazývá P (WC+TiC+Co) pro ocel a materiály tvořící dlouhou třísku. Druhá skupina je M (WC+Ti+TaC+Co) pro korozivzdornou, austenitickou a vysocelegovanou ocel a poslední skupinou je K (WC+Co) pro litinu a materiály s krátkou třískou. Každá skupina má svoji specifickou barvu, pro P je to modrá, pro M žlutá a pro K červená. Dále se za tímto označením udává skupina vypovídající o náročnosti operace, počínaje číslem 01, které je určeno pro dokončovací operace s velkými řeznými rychlostmi, malým posuvem a malou hloubkou řezu, přes hlavní oblast použití 25 až po operace těžkého hrubování 50 při nízkých rychlostech, velkém průřezu třísky a střídavém mechanickém zatížení. Tyto údaje jsou základem pro praktické použití v průmyslu a měly by jimi být označeny všechny popisky řezných nástrojů ze SK. Popiska nástrojů by měla dále udávat rozsah použitelných řezných a posunových rychlostí a popřípadě další upřesňující údaje.

Co se týče složení, tak mezi nejdůležitější karbidy patří karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a karbid niobu (NbC). Jako pojivo se ve většině případů používá kobalt (Co). Uvedené karbidy mohou i bez kovového pojiva tvořit slinutý karbid, protože jsou navzájem rozpustné. Velikost tvrdých karbidových částic se pohybuje v rozmezí 1 až 10 μm a jejich množství tvoří až 95% celkového objemu řezného materiálu.

Podstatou výroby slinutých karbidů je lisování směsi prášků tvrdých karbidických částic s práškem pojivního kovu, nejčastěji kobaltu (viz kapitola 2.) a následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Tím vzniká kompaktní materiál, jehož tvrdost se blíží tvrdosti výchozích karbidů. Obecný postup výroby slinutých karbidů lze rozdělit do následujících základních operací: výroba práškového wolframu, výroba práškových karbidů (WC, TiC, TaC, NbC, VC, Cr_3C_2 , atd.) a kobaltu, příprava směsí uvedených prášků (míchání, homogenizace, mletí a granulace), formování směsi (lisování, vytlačování), předslinování formovacích směsí (700 – 850 °C), úprava tvaru předslinutého tělesa, slinování (1 350 – 1 650 °C), vysokoteplotní izostatické lisování (HIP – Hot Isostatic Presing). Na přiloženém obrázku 3.2. je podrobně rozebrán postup výroby výchozích prášků a slinutých karbidů [4].



Obr. 3.2.: postup výroby výchozích prášků a slinutých karbidů [4].

Vlastnosti typu (WC-Co) SK velmi závisí na jeho konečném složení a struktuře. Malé odchylky od ideálního obsahu uhlíku způsobují tvorbu grafitu nebo ternární sloučeniny. Obě tyto fáze jsou nežádoucí a způsobují degradaci mechanických vlastností, a tím i řezného výkonu. U tohoto typu SK roste pevnost v ohybu a lomová houževnatost s rostoucím obsahem kobaltu. Tvrdost je závislá na množství pojícího kobaltu a na velikosti zrna karbidické fáze. Nejvyšší tvrdost mají materiály s jemnozrnnou strukturou a nízkým obsahem Co.

Další typ (WC-TiC.Co) vykazuje poněkud větší tvrdost než typ SK (WC-Co), pokud jsou srovnávány materiály s přibližně stejným hmotnostním obsahem kobaltu. Při konstantním obsahu TiC roste pevnost v ohybu s rostoucím obsahem Co (výrazněji u materiálů s nižším obsahem TiC). Pevnost v tlaku roste s klesajícím obsahem kobaltu

a karbidu titanu, rozsah hodnot $3\,500 \div 5\,600$ je srovnatelný s hodnotami pevnosti v tlaku u slinutých karbidů typu (WC-Co).

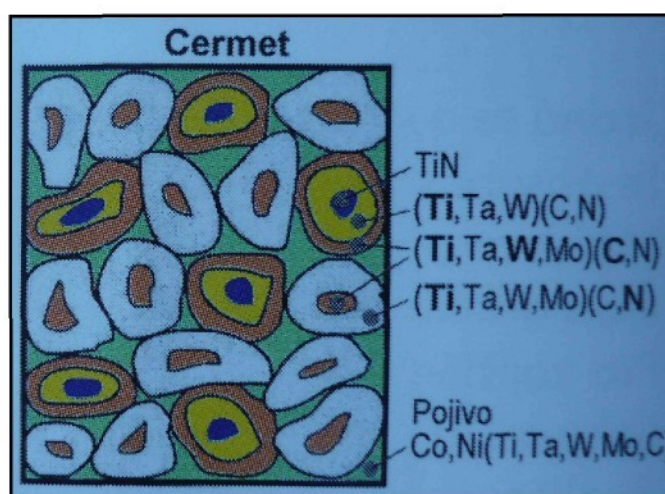
Vlastnosti typu SK (WC+Ti+TaC.NbC+Co) jsou v literatuře popsány velmi sporně, a proto nelze systematizovat zákonitosti, které by vyjadřovaly konkrétní změny vlastností, zejména v souvislosti s obsahem TaC.NbC nebo jiných strukturních složek [1], [4].

3.3. Cermet

Tento materiál dosáhl v poslední době velkých pokroků díky Japonsku, které ho (jak už bylo zmíněno v historickém přehledu) využívá ve velké míře. Pečlivým řízením výroby se podařilo eliminovat jeho hlavní nevýhodu, jakou je jeho zbytková pórovitost, která způsobovala předčasnou a nečekanou destrukci nástroje. Cermety jsou kvůli nízké drsnosti povrchu, kterou vytváří jeho tvrdá fáze, velice rozšířeným materiálem hlavně pro dokončovací operace. Abychom si vůbec mohli udělat představu o možnostech použití cermetu, je nutno říci, že u konstrukčních uhlíkových ocelí s tvrdostí do cca 350 HB, dále u konstrukčních nízkolegovaných ocelí při extrémních podmínkách obrábění načisto a při středním obrábění, jsou tyto operace, které jsou považovány za prioritní, často optimalizovány nasazením řezného materiálu cermet. Při porovnání se slinutými karbidy jsou cermety určeny pro lehčí podmínky obrábění a stabilnější tepelné podmínky. Vlivem dalšího rozvoje, lze realizovat optimalizaci většího množství operací, u kterých budou dodrženy odpovídající podmínky a požadavky.

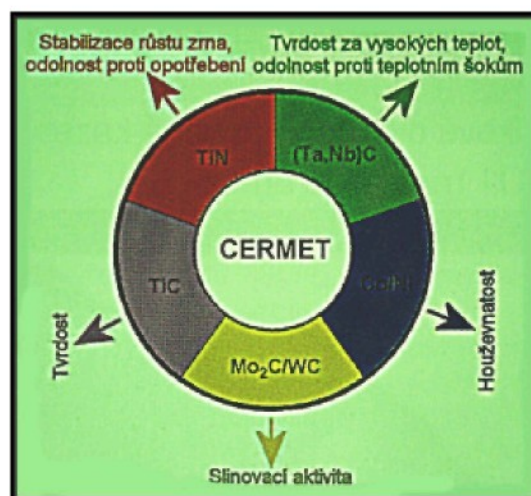
Prakticky všechny výchozí materiály pro výrobu slinutých karbidů jsou používány i pro výrobu cermetů: wolfram, titan, tantal, niob, chrom, vanad, kobalt. Taktéž jeho výroba je velmi podobná technologii výroby slinutých karbidů. Jako výchozí materiály jsou obvykle používány binární tvrdé sloučeniny TiC, TiN, Mo₂C, WC a (Ta,Nb)C, důkladně promíchané s prášky Co, a nebo Ni, které tvoří pojivovou fázi. Stejně vhodné jsou tuhé roztoky tvrdých složek jako Ti(C,N), (Ti,Mo)C, (W,Ti)C, (Ti,Ta,Nb,W)C nebo dokonce komplexní karbonitridové tuhé roztoky, které obsahují jednofázové nitridové a karbidové složky. Mikrostruktura cermetů, které byly slinovány v tekuté fázi Ni, a nebo Co, obsahuje uspořádaná zrna jedné tvrdé fáze, rozmístěné v matici pojivové fáze. Zrna tvrdé fáze mají typický vzhled s mikrostrukturou typu jádro – plášť, jak je vidět na obrázku 3.3. Při použití nelegovaných výchozích materiálů jako jádra obvykle

neobsahují cermety žádný z těžších prvků, jako jsou Mo, W, Ta, Nb. atd., které se vyskytují pouze v pláštích. Vždy, když jsou použity legované výchozí materiály jako (Ti, Mo)C, (W, Ti)C nebo (Ti, Ta, Nb, W)C, mohou jádra tvrdých částic obsahovat značné množství těžších prvků a současně jsou v mikrostruktuře přítomna jiná zrna, jejichž jádra obsahují pouze lehčí prvky. Dá se říci, že ve většině případů lze rozeznat cermetovou destičku od slinutého karbidu pouhým otězkáním. Cermet je většinou výrazně lehčí než SK.



Obr. 3.3.: Typický vzhled s mikrostrukturou typu jádro – plášť [4].

Cermet se vyznačuje vysokou odolností proti opotřebení hřbetu, oxidačnímu opotřebení a opotřebení ve žlábků na čele, má vysokou chemickou stabilitu a tvrdost za tepla a jen slabý sklon k tvorbě nárůstku. Vyměnitelné destičky z cermetu jsou schopny udržet ostří po celou dobu trvanlivosti břitu. Hlavními výhodami, které plynou z vlastností cermetu pro použití v praxi jsou: schopnost pracovat při vysokých řezných rychlostech, schopnost udržovat vysokou přesnost rozměrů po celou dobu trvanlivosti břitu, schopnost vytvářet plochy s vynikající jakostí povrchu. Na přiloženém obrázku 3.4. je dobře patrný vliv jednotlivých složek na cermet a jejich vhodným poměrem lze dosáhnout řízení jednotlivých vlastností cermetů.



Obr. 3.4.: Vliv jednotlivých složek na cermet [4].

3.4. Řezná keramika

Použití řezné keramiky jako materiálu pro vyměnitelné destičky je v mnoha směrech velmi výhodné. Na druhé straně je jejich použití velmi omezeno a vázáno na určitá bezpečnostní pravidla. Jejich vývoj směřuje ke zlepšování jejich bezpečnosti. V moderní definici je keramika obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Moderní keramika se vyrábí ve velmi čisté formě, je pojena kovalentní a iontovou vazbou a většinou se vyskytují oba typy vazeb současně. Hlavní skupinou materiálů, které přicházejí v úvahu pro obrábění keramikou jsou šedá litina, ocel, žárovevné slitiny a kalená ocel.

Pro řezné nástroje se v zásadě používají dva druhy keramických řezných materiálů: oxid hlinitý a nitrid křemíku. Vyměnitelné břitové destičky z oxidické keramiky jsou vhodné pro hrubování a pro střední obrábění šedé litiny a oceli. Směsná keramika na bázi oxidu hlinitého obsahuje karbid titanu pro zlepšení tepelných vlastností. V tomto případě se jedná o univerzální řezný materiál vhodný pro soustružení tvrdých ocelí a šedé litiny a dále obrábění žárovevných slitin a ocelí načisto. Keramika vyztužená vlákny je vyrobena rovněž na bázi oxidu hliníku a obsahuje vlákna krystalu karbidu křemíku, který značně zlepšuje houževnatost. Tento houževnatý a spolehlivý druh keramiky je používán pro obrábění žárovevných slitin a je vhodný pro soustružení přerušovaným řezem. Neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku má v porovnání

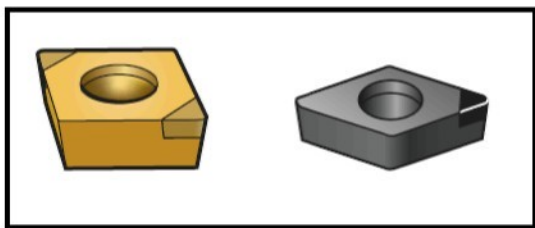
s druhy keramiky na bázi oxidu hlinitého lepší tepelné vlastnosti a houževnatost. Je to osvědčený druh rezného materiálu vhodného pro obrábění šedé litiny.

Proces výroby kompaktních keramických součástí, a tedy vyměnitelných břitových destiček pro rezné nástroje, je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetu (např. příprava práškové směsi, mletí, míchání, tvarování, sušení, předslinování, slinování a úprava povrchu). Podstatný rozdíl je ale v tom, že keramické výrobky neobsahují žádný materiál, jehož funkcí by bylo spojení zrn tvrdé fáze do jednolitého tělesa (jako je tomu například u slinutých karbidů, kde pojící fázi tvoří kobalt, nebo u cermetů, kde je pojivem převážně nikl). Tato skutečnost celou výrobu keramických materiálů výrazně znesnadňuje a klade velmi vysoké nároky jak na výrobní zařízení, tak zejména na dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby. Zásadní vliv na mikrostrukturu výrobku a jeho chování v průběhu slinování mají morfologické charakteristiky výchozího prášku. Prášky, které mají zrna s úzkým rozdělením jejich rozměrů, umožňují při formování snadněji dosáhnout rovnoměrné velikosti a prostorového rozložení pórů, což je požadováno s ohledem na rovnoměrnou rychlost zhutňování v celém objemu tělesa při slinování.

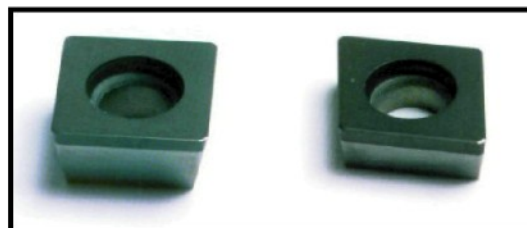
Keramické břitové destičky mají většinou „negativní“ provedení, které zajišťuje nejvyšší možnou stabilitu a spolehlivost při obrábění. Fasetky různých provedení umožňují provádět hrubovací a dokončovací operace. Větší poloměry špičky zajišťují dostatečnou stabilitu. Zpravidla by měla být pro obrábění zvolena pokud možno vždy vyměnitelná břitová destička s největším poloměrem špičky. Tloušťka břitových destiček zajišťuje bezpečnost při práci. Pokud se jedná o tvar destičky, jsou vyměnitelné destičky kruhového tvaru nejstabilnější, zatímco destičky čtvercového tvaru jsou na druhém místě. Při používání keramických břitových destiček se doporučuje pracovat s menším úhlem nastavení hlavního ostří a větším poloměrem špičky, aby byl usnadněn první záběr s obrobkem. Složky rezné síly jsou směřovány tak, aby byly břitem lépe pohlcovány, a tím se zabránilo nepříznivému působení rázového zatížení na relativně křehký keramický břit při záběru do materiálu. Pro každou operaci by měli být stanoveny maximální a minimální doporučené hodnoty [1], [5].

3.5. Kubický nitrid bóru (CBN)

Kubický nitrid bóru patří společně s diamantem mezi tzv. supertvrdé materiály. V porovnání se směsnou keramikou vykazuje ještě vyšší tvrdosti a houževnatosti. Podobně jako u řezné keramiky existují i různé druhy CBN, jejichž vlastnosti se odvíjejí od jeho složení, tedy na podílu CBN, druhu pojiva a na struktuře. Na základě rozdílných vlastností se liší také oblasti použití jednotlivých typů. Pro tvrdé obrábění připadají v úvahu druhy s obsahem CBN 50 - 65 %. Jsou používány především pro obrábění kalených ocelí až do tvrdosti 65 HRC, např. kalených a zušlechtěných ocelí, ložiskových tělísek, mrazuvzdorných a žáruvzdorných ocelí a nástrojových ocelí. CBN s nízkým obsahem jsou k dispozici ve dvou variantách: standardně jako plné destičky, a nebo s napájenou řeznou hranou (obr. 3.5.). Další možností je CBN napájený na celé ploše vyměnitelné břitové destičky (obr. 3.6). Druhy s vysokým obsahem CBN (80 - 95 %) mají velkou houževnatost a otěruvzdornost. V oblasti obrábění velmi tvrdých materiálů jsou upřednostňovány při obrábění tvrdých litin nebo kalených ocelí s velkým přídavkem na obrábění nebo při obrábění tvrdých slitin. V jednotlivých případech použití je důležité posoudit, je-li možné obrábět keramikou nebo dosáhneme-li optimálních výsledků použitím kubického nitridu bóru, protože v oblasti použití se do značné míry překrývají.



Obr. 3.5.: CBN s napájeným hrotem



Obr. 3.6.: CBN napájený na celé ploše VBD

Základními prvky tvořícími CBN jsou bór a dusík, které sousedí v periodické tabulce s uhlíkem, bór zleva a dusík zprava. CBN se vyrábí při vysokých teplotách a tlacích, jejichž působením se dosáhne spojení kubických krystalů bóru s keramickým nebo kovovým pojivem. Neuspořádané částice tvoří velmi hustou polykrystalickou strukturu. Krystal CBN je velmi podobný krystalu syntetického diamantu.

Jak už bylo zmíněno CBN je zvláště tvrdý řezný materiál, jehož tvrdost překonává pouze diamant. CBN má vynikající výkonnost, vysokou tvrdost za tepla, a to až při

teplotě (2000 °C), velkou odolnost proti abrazivnímu opotřebení a při obrábění má vždy výbornou chemickou stabilitu. Je relativně křehký, ale houževnatější a tvrdší než keramika, avšak nedosahuje tak dobré tepelné stability. Přes svoji vysokou výrobní cenu si CBN našel místo při soustružení kalených součástí, které se doposud brousily.

3.6. Syntetický polykrystalický diamant (PKD)

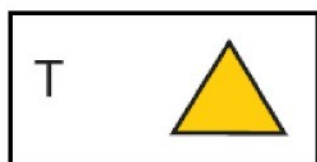
Nejtvrdším známým materiálem na světě je přírodní monokrystalický diamant, jehož tvrdosti téměř dosahuje polykrystalický diamant (PKD). Preferovanými oblastmi použití PKD jsou v současné době soustružení a frézování abrazivních slitin hliníku a křemíku, zvláště jedná-li se o dosažení vysoké jakosti obrobeného povrchu a přesnost rozměrů. Jednou z možných alternativ pro tyto obráběné materiály je nepovlakovaný slinutý karbid s jemnozrnnou strukturou. Ostré břity a pozitivní úhly zde hrají důležitou roli. PKD se také používá pro obrábění jiných abrazivních nekovových materiálů, jako jsou například kompozitní materiály, umělé pryskyřice, pryž, plasty, uhlík, slinutý karbid, předslinovaná keramika, předslinovaný slinutý karbid, ale také pro obrábění kovů, jako jsou měď, kluzné ložiskové materiály, bronzy, mosaz, slitiny magnézia, slitiny zinku a olovo.

4. Kódové označení VBD

Kód ISO se skládá z 9 symbolů, přičemž symboly 8 a 9 se používají pouze tehdy, jsou-li potřeba. Výrobce má navíc možnost použít až dva další symboly pro svoje interní označení.

(např. označení VBD od společnosti Sandvik Coromant - TNMG 160408-LK 4225)

1.symbol - Tvar vyměnitelné břitové destičky (příklad tvaru T, V)

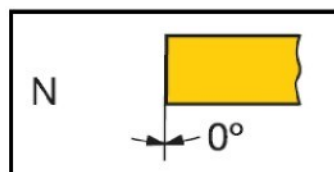
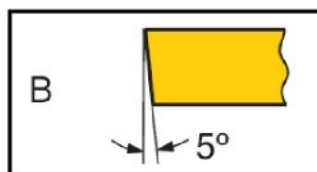


Obr.4.1.: Tvar VBD označení T [8].



Obr.4.2.: Tvar VBD označení V [8].

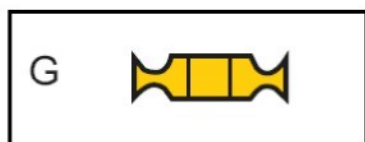
2.symbol - Úhel hřbetu břitové destičky (příklad tvaru B,N)



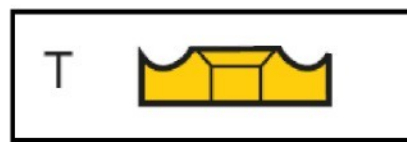
Obr. 4.3.: Úhel hřbetu VBD označení B [8]. Obr. 4.4.: Úhel hřbetu VBD označení N [8].

3. symbol - Tolerance rozměrů označena v $\pm$ hodnotách. (např. M)

4. symbol - Typ VBD (příklad typu – G,T)



Obr. 4.5.: Typ VBD – G [8].



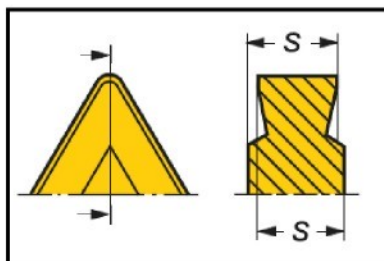
Obr. 4.6.: Typ VBD - T [8].

5. symbol - Velikost destičky = velikost řezné hrany l[mm] (příklad měření hrany destičky – T,V)



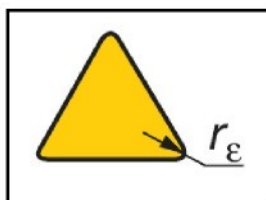
Obr. 4.7.:Velikost řezné hrany VBD–T [8]. Obr. 4.8.:Velikost řezné hrany VBD–V [8].

6. symbol - Tloušťka břitové destičky s[mm] (např. 04 – s = 4,76mm)



Obr. 4.9.: Tloušťka břitové destičky s [mm] [8].

7. symbol - Poloměr špičky r_ϵ [mm]

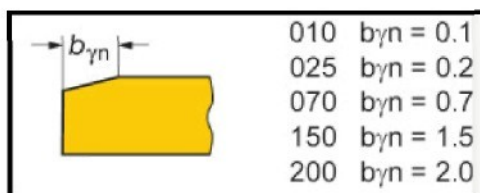


Obr. 4.10.: Poloměr špičky VBD [8].

8. symbol - Tvar řezné hrany (používá se pouze v případě je-li potřeba, v tomto případě nebyl použit)

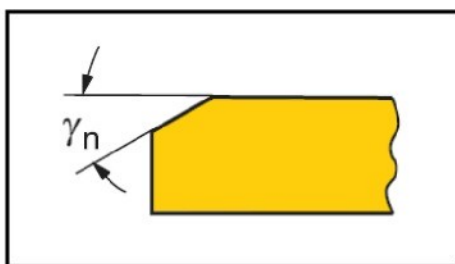
9. symbol - Provedení nástroje (používá se pouze v případě je-li potřeba, v tomto případě nebyl použit)

10. symbol - Šířka fazetky



Obr. 4.11.: Šířka fazetky VBD [8].

11. symbol - Úhel zkosení



Obr. 4.12.: Úhel zkosení VBD [8].

5. Opotřebení řezných nástrojů

Opotřebení řezných nástrojů lze definovat jako důsledek kontaktu nástroje s obrobkem, při kterém vzniká kombinace zatěžujících faktorů působících na břit.

5.1. Fyzikální podstata opotřebení

Při obrábění dochází v důsledku řezného procesu k relativnímu pohybu nástroj-obrobek a nástroj-tříska, i ke kontaktu nástroje s obrobkem (na vedlejším a hlavním hřbetu a špičce nástroje) a odcházející třískou (na čele nástroje), což musí nutně vést k opotřebení nástroje. Všechny břity řezných nástrojů tedy podléhají při obrábění určitému opotřebení. O jaké opotřebení se bude jednat, záleží jak na druhu technologické operace, tak na náročnosti obrábění (hrubování, načisto) i na vzájemné interakci různých druhů obráběných a obráběcích materiálů. Na nástroj při jeho řezném pohybu působí fyzikální, chemické a mechanické faktory, které tvoří základní druhy mechanismů opotřebení:

ABRAZE – lze ji definovat jako brusný ořez vzniklý vlivem tvrdých částic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje. Schopnost materiálu odolávat abrazivnímu opotřebení je z větší části závislá na jeho tvrdosti. Řezný nástrojový materiál, který obsahuje hustou strukturu tvrdých částic bude tomuto abrazivnímu opotřebení odolávat dobře, nemusí však při procesu obrábění odolávat bezpodmínečně i jiným druhům zatížení.

ADHEZE – dochází ke vzniku a okamžitému porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se nerovnostech čela a třísky, v důsledku teplot a tlaků, chemické přibuznosti materiálů a kovově čistých styčných ploch. Tento jev se vyskytuje hlavně při nízkých teplotách obrábění na čele břitu nástroje. Může vzniknout u ocelí tvořících dlouhou třísku i u materiálů s krátkou třískou – tj. u oceli, hliníku a šedé litiny.

DIFUZE – pobíhá jako migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývají nežádoucí sloučeniny vznikající ve struktuře nástroje. Některé řezné materiály nereagují s materiálem obrobku vůbec, zatímco jiné mají ve vztahu k materiálu obrobku vysoký stupeň afinity. Například afinita mezi slinutým karbidem a ocelí vede ke vzniku žlábků na čele břitové destičky, a protože difúzní opotřebení souvisí s teplotou, vytvoří se při vysokých řezných rychlostech největší žlábek. K výměně atomů dochází ve dvou různých směrech: jeden transfer probíhá z feritu oceli do nástroje, při druhé výměně putují difúzí atomy uhlíku do železa (do třísky).

OXIDACE – je vznik nežádoucích sloučenin vznikajících na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí. Vysoké teploty a okolní vzduch mají za následek oxidaci většiny kovů, i když takové oxidy působí velmi rozdílně. Wolfram a kobalt tvoří porézní filmy oxidu, které jsou snadno odnášeny třískou. Jiné oxidy, jako například oxid hlinitý, jsou naproti tomu podstatně pevnější a tvrdší. Některé nástrojové materiály jsou proto náchylnější k oxidačnímu opotřebení než jiné. Speciálně v místě kontaktu břitu, kde končí šířka třísky má vzduch přístup do řezného procesu. V tomto případě vznikají působením oxidace typické žlábký, které však jsou v dnešní době relativně vzácným fenoménem.

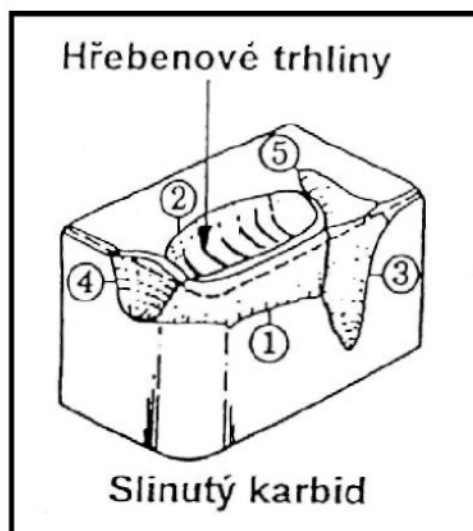
PLASTICKÁ DEFORMACE – je důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení a může vést k vysoce nepříznivému scénáři tzv. lavinovému opotřebení.

KŘEHKÝ LOM – je důsledek náhlého vysokého mechanického zatížení, které může zapříčinit např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu atd. Lom má často termomechanické příčiny, kombinace kolísání teploty a zatížení řeznými silami mohou vést k vydrolování a následnému lomu řezného nástroje.

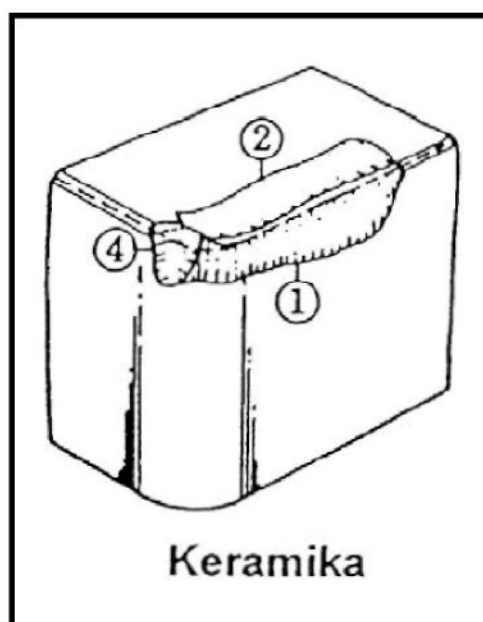
Abraze a adheze jsou většinou označovány jako fyzikální mechanismy opotřebení, kdežto difúze a oxidace se považují za chemické děje. Všechny tyto faktory působí v průběhu času plynule s tím, že okamžik působení nemusí být stejný. Plastická deformace a křehký lom jsou oproti tomu mechanismy, které působí náhle a většinou ukončí funkci nástroje (ulomení špičky, lavinový efekt).

5.2. Formy opotřebení SK, řezné keramiky a rychlořezné oceli

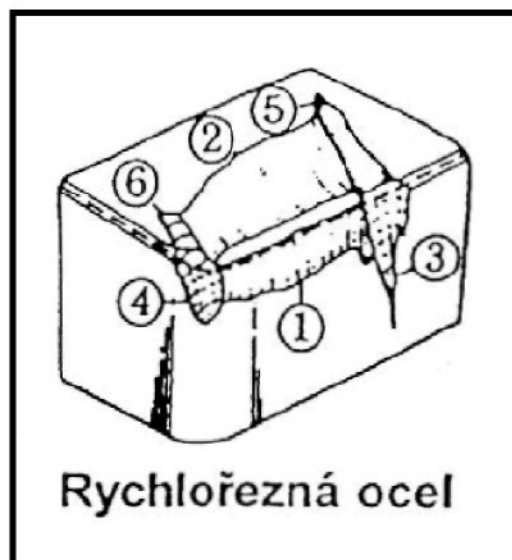
V závislosti na faktorech řezného procesu, které byly zmíněny v předchozí kapitole, nabývá opotřebení břitu různých forem, a je jich celá řada. Na přiloženém obrázku 5.1. jsou všechny formy opotřebení typické pro slinutý karbid. Na obrázku 5.2. můžeme vidět typický vzhled opotřebení řezné keramiky a na posledním obrázku 5.3. je vidět opotřebení charakteristické pro rychlořeznou ocel. Jednotlivé druhy opotřebení jsou na obrázcích značeny následovně (viz. další strana):



Obr. 5.1.: Forma opotřebení typická pro slinutý karbid; 1 - fazetka opotřebení na hřbetě, 2 - výmol na čele, 3 - primární hřbetní rýha, 4 - sekundární (oxidační) hřbetní rýha, 5 - vnější rýha na čele, 6 - vnitřní rýha na čele [6].



Obr. 5.2.: Forma opotřebení typická pro řeznou keramiku; 1 - fazetka opotřebení na hřbetě, 2 - výmol na čele, 4 - sekundární (oxidační) hřbetní rýha [6].

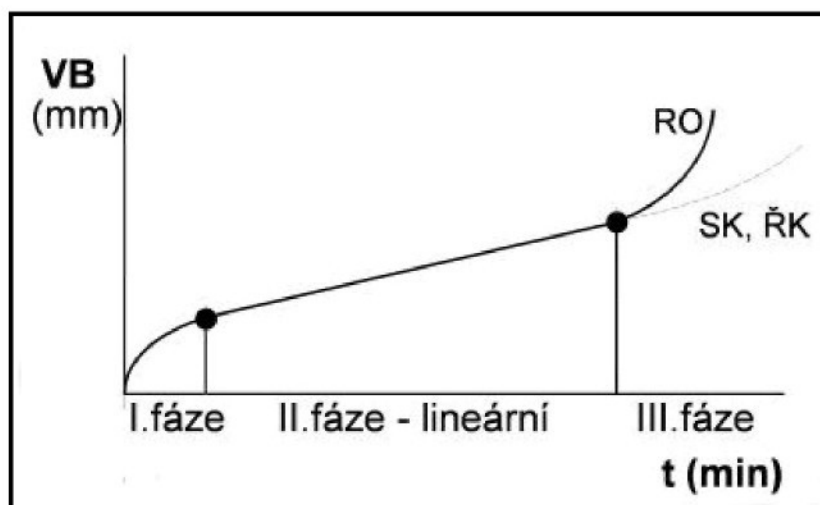


Obr. 5.3.: Forma opotřebení typická pro rychlořeznou ocel; 1 - fazetka opotřebení na hřbetě, 2 - výmol na čele, 3 - primární hřbetní rýha, 4 - sekundární (oxidační) hřbetní rýha, 5 - vnější rýha na čele, 6 - vnitřní rýha na čele [6].

5.3. Kritéria opotřebení

V dřívějších dobách existoval pouze jeden parametr opotřebení a tento parametr určoval hranici porušení nástroje, při kterém už nebyl schopen obrábět. V této souvislosti se nelze bavit o žádném druhu optimalizace velikosti opotřebení, nástroj byl užitečný dokud obráběl, a poté musel být přebroušen nebo vyhozen a další okolnosti obráběcího procesu se příliš nezkoumali. Až další vývoj ukázal potřebu obráběcích center zpřesnit kritérium opotřebení, při kterém se stává nástroj neprovozuschopný pro typ dané operace.

Mezi tyto faktory patří: stav povrchu obrobku, přesnost rozměrů, způsob opotřebení břitu nástroje, utváření třísky, řezná síla (ve speciálních případech), bezpečnost. Doba trvání řezného procesu, ve kterém se stane nástroj takto neprovozuschopný, se označuje jako trvanlivost. Samozřejmě, že důležitost jednotlivých faktorů se liší v závislosti na druhu a náročnosti technologických operací obrábění. Například při obrábění načisto je břit vyměnitelné břitové destičky považován za opotřeбенý tehdy, není-li již schopen dosahovat požadované jakosti opracování povrchu. Už relativně malé plošky na hřbetu nástroje mohou vyvolat dojem, že je nutné nástroj vyměnit. U hrubovacích operací se naproti tomu vyvíjí opotřebení v podstatně větších dimenzích, přičemž se nebere příliš velký ohled na stav povrchu obrobku



Obr. 5.5.: Graf závislosti $VB = f(\text{čas})$

V tomto grafu lze identifikovat tři fáze: První fáze zrychleného záběhového opotřebení obecně souvisí se „záběhem“ nástroje a je způsobena vysokým měrným tlakem na vrcholcích mikronerovností povrchu hřbetu a určitou defektností povrchové vrstvy vyvolanou podmínkami ostření (mikrotrhliny), resp. v důsledku výrobních procesů při výrobě nástrojů (např. při slinování SK). Ve druhé fázi lineárního opotřebení dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení, tzn. intenzita opotřebení je konstantní. Třetí fáze se nazývá oblast zrychleného nadměrného opotřebení a je obvykle spojena s limitní teplotou řezání a s výrazným poklesem tvrdosti řezného materiálu.

5.4. Způsoby měření opotřebení

Měření opotřebení je v největší míře zastoupeno přímým měřením (viz. kapitola 4.3.), kdy je pomocí dělnického mikroskopu zkoumán parametr VB a pomocí profiloměru KT nebo délkovým měřidlem KVy. Jedná se o metodu diskontinuální, měření se provádí až po skončení činnosti nástroje. Tato metoda se v praxi velmi osvědčila pro svoji jednoduchost, praktičnost a nízko-nákladovost použití. Avšak to není zdaleka jediná metoda, kterou se dá opotřebení měřit, proto je důležité si následující možné metody vyjmenovat.

Přímé metody:

- měření vybraného kritéria opotřebení (VB, KT, KVy), (diskontinuální metoda)
- vážení břitové destičky (diskontinuální metoda)
- optické sledování funkční plochy (diskontinuální metoda)
- elektrické metoda odporová (vyhodnocování změn odporu v místě kontaktu nástroje s obrobkem; sledování chování tenké vrstvy odporového materiálu, naneseného na hřbetě nástroje; odporový snímač, který se opotřebovává zároveň s nástrojem); (kontinuální metoda)
- elektrická indukční metoda (sledování vzájemné polohy nástroje a obrobku)
- ultrazvukové metody (kontinuální)
- pneumatické metody (kontinuální)
- radioaktivní metody (ozářený nástroj, mikroizotopový snímač), (kontinuální)
- měření rozměrů obrobku (kontinuální)

Nepřímé metody (kontinuální):

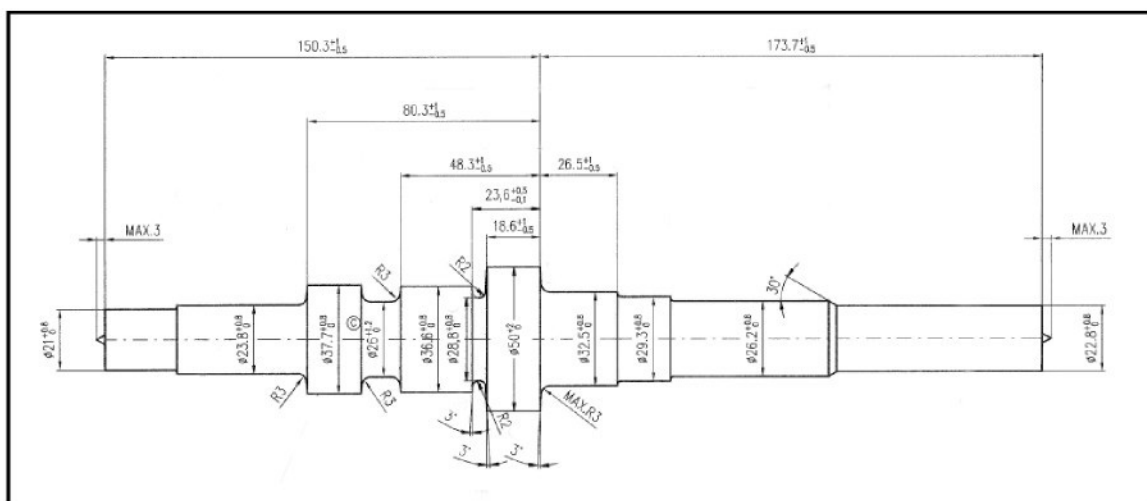
- měření a vyhodnocování jednotlivých složek řezné síly
- měření a vyhodnocování elektrického příkonu stroje
- měření kmitání (amplituda kmitů, zrychlení, parametry akustické emise)
- měření teploty řezání
- měření struktury povrchu obrobené plochy (parametry Ra, Ry apod.)
- sledování druhotných projevů opotřebení (lesklé proužky na obrobené ploše, charakteristický zvuk, změna tvaru a barvy třísky) [6].

6. Přípravná část experimentu

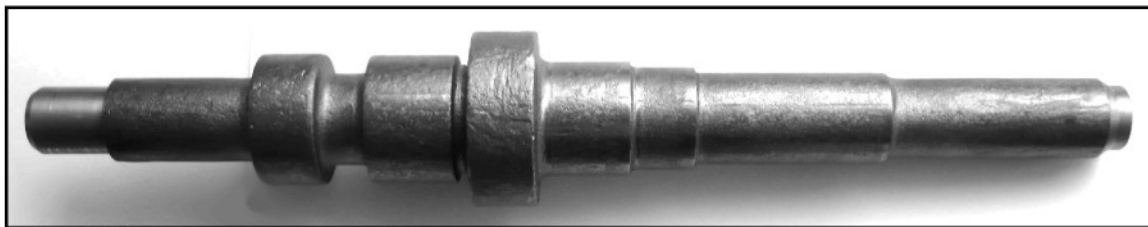
Přípravná část podá ucelenou informaci o celém průběhu příprav experimentu až po zahájení samotných zkoušek.

6.1. Převodový hřídel obráběný ve Škoda-auto a.s.

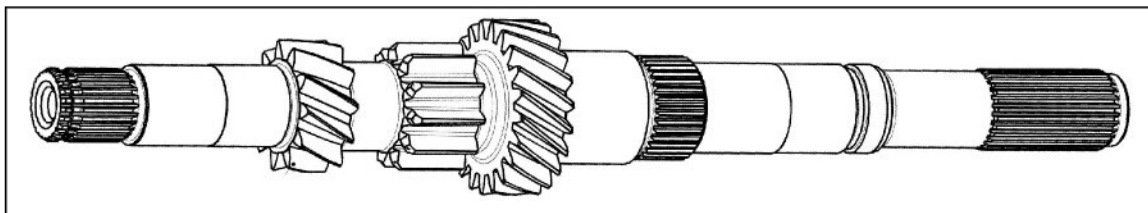
Pro simulaci řezného procesu bylo velice důležité zjistit základní informace o převodovém hřídeli obráběném ve Škoda-auto a.s. Na přiloženém obrázku 6.1. je vidět výkres hřídele a na obrázku 6.2. je výkovek připravený k obrábění. Takto připravený polotovár má tvrdost 156 HRB. Jedná se o materiál TL 4521. tj. firemní označení podle Škoda-auto a.s., které odpovídá dle ČSN EN 10084 (42 0925) oceli 17CrNi6-6 1.5918. Je to ocel Cr-Ni legovaná, ušlechtilá, vhodná k cementování. Na předvýrobky válcované za tepla, válcované tyče a dráty, válcovaná široká ocel, plechy a pásy válcované za tepla, volné a zápuskové výkovky, cementované převody. Je obrobitelná ve stavu žíhaném naměkko a podle tabulky ji nejlépe odpovídá ocel 16 220.



Obr. 6.1.: Výkres obrobku hřídele převodové soustavy



Obr. 6.2.: Výkovek převodového hřídele



Obr. 6.3.: Konečná podoba převodového hřídele před montáží

6.2. Volba stroje

V prvopočátcích přípravy experimentu bylo důležité rozhodnout, který stroj bude nejvhodnější. Požadavky byly předem dané, soustruh musí mít dostatečný výkon, musí dosahovat alespoň takové řezné rychlosti jako je tomu při obrábění převodového hřídele ve Škoda-auto a.s. a výhodou by byla možnost CNC řízení. Takovýmto požadavkům vyhovuje CNC soustruh Chevalier FCL 2140 (obr. 6.1.) v laboratořích katedry obrábění a montáže (dále jen KOM). Tento stroj je schopen dosahovat až 2250 ot/min, což je pro účely těchto zkoušek naprosto vyhovující. Před zahájením testů bylo nutné vyměnit řeznou kapalinu, doplnit mazné kapaliny, vyměnit nožovou hlavu, připravit pinolu a celkově připravit stroj na náročné zatížení, protože zadaný úkol byl součástí většího celku (optimalizace kritéria opotřebení, optimalizace řezných kapalin, optimalizace vyměnitelných řezných destiček, optimalizace řezných podmínek) a plánovalo se obrobení velkého množství materiálu.



Obr. 6.4.: Soustruh Chevalier FCL-2140 v laboratořích KOM

6.3. Volba polotovaru

Dalším náročným rozhodováním prošla volba polotovaru. Bylo jasné, že materiál, který se používá ve Škoda-auto a.s. do převodové soustavy nebude snadné sehnat, proto bylo důležité maximálně se vlastnostem tohoto materiálu přiblížit. Překvapujícím zjištěním bylo, že těmto charakteristikám, co se týče složení a mechanických vlastností, nejlépe vyhovuje velmi používaná konstrukční ocel 16 220. Tato ocel se dodává v různých standardizovaných velikostech a bylo důležité se rozhodnout o jaké rozměry se bude jednat. Volba rozměrů obrobku se řídila hlavně s ohledem na maximální otáčky stroje, protože CNC soustruh „Chevalier“ měl relativně nízké maximální otáčky 2250 ot/min, musel být volen větší průměr obrobku kvůli dosažení dostatečně vysoké řezné rychlosti na obvodu. Pro menší rozměry obrobku nahrávala manipulovatelnost, naproti tomu při rozsahu zkoušek které byli připravované, by se materiál musel často měnit a docházelo by k prodlevám. Po delších úvahách a možnosti využít jeřáb laboratoří KOM bylo rozhodnuto o polotovaru průměru 255x300 mm a o hmotnosti 120 kg , znázorněný na obrázku 6.5 . Těchto kusů bylo objednáno na všechny zkoušky celkem sedm o celkové hmotnosti 840 kg.



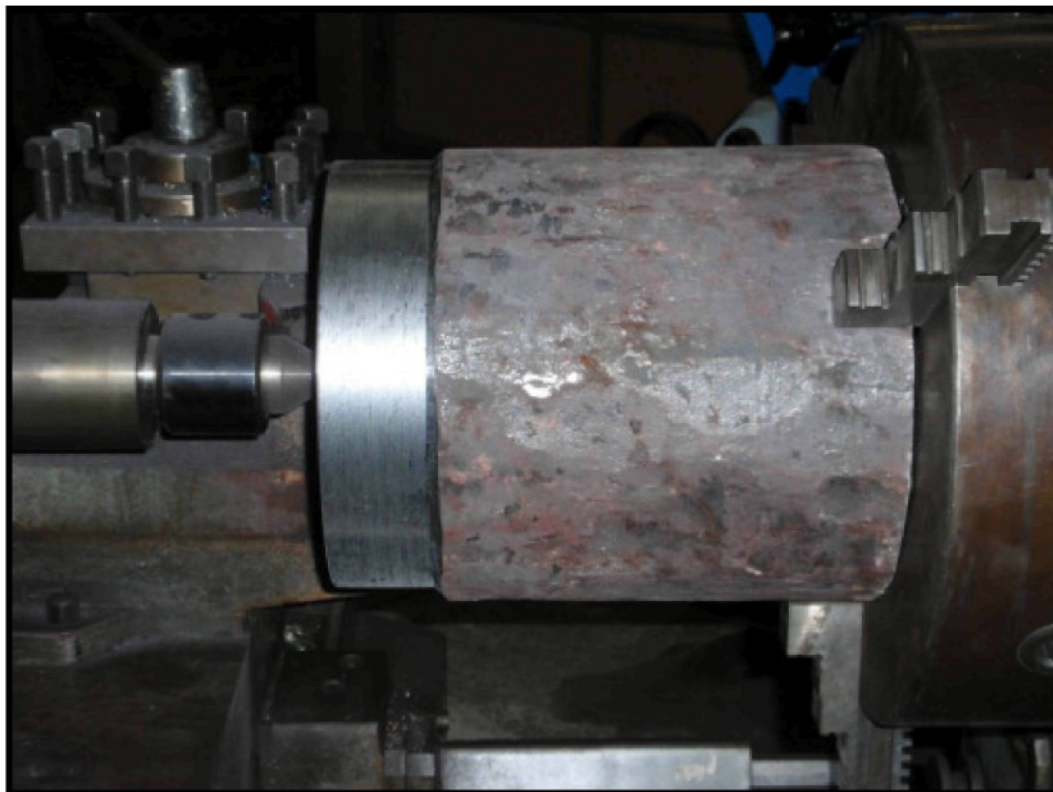
Obr. 6.5.: Polotovaru výkovku - ocel 16 220

6.4. Příprava polotovaru v laboratořích

Materiál polotovaru o rozměrech $\varnothing 255 \times 300$ mm oceli 16 220, který dorazil do laboratoří, měl povrch s klasickými vadami a otřepy po válcování, a tudíž byl nevhodný pro okamžité zahájení zkoušek. Bylo důležité nejprve kůru částečně odstranit a navrtat polotovaru z obou stran pro upnutí do koníku (obr.6.6.). K tomuto účelu posloužil postarší manuální soustruh SU50 maďarské výroby. Technologický postup je následující:

1. Upnout za $\varnothing 255$, vrtat středící důlek, stabilizovat v koníku.
2. Soustružit na průměru, do hloubky homogenního povrchu v délce 70 mm.
3. Otočit a upnout za již obrobenou plochu a navrtat středící důlek.
4. Stabilizovat pomocí koníku, soustružit na průměru do hloubky homogenního povrchu v délce 70 mm.

Vysvětlení : Hloubka homogenního povrchu – je taková hloubka, ve které již nejsou žádné otřepy ani praskliny, protože tato hloubka byla u každého výkovku jiná, nelze napsat přesně průměr na jaký se jednotlivé polotovary soustružily, bylo to vždy podle potřeby.



Obr.6.6.: Příprava polotovaru k samotným zkouškám

6.5. Příprava CNC programu pro soustruh „Chevalier“

Pro zjednodušení a zrychlení práce byl připraven CNC program, který musel projet cyklus najetí k obrobku, soustružení za stabilních řezných podmínek, vyjetí ze záběru a najetí zpět do výchozího bodu. Jednalo se o jednoduchou smyčku, která projela jeden cyklus a zastavila se. Pokud bylo nutné kontrolovat opotřebení, měření se provedlo, nebo se snadnou korekcí proměnné, která určovala počet průchodů, dal cyklus opět do pohybu. Takto vytvořený program naprosto vyhovoval tomuto typu zkoušky a ušetřil množství času oproti konvenčním zkouškám na ručním soustruhu. Displej CNC soustruhu Chevalier FCL 2140 je na níže uvedeném obr. 6.7.



Obr. 6.7.: Displej CNC soustruhu Chevalier FCL 2140.

Popis programu je následující:

Pracovní název programu P0000011 (uložený a dohledatelný v editačním menu stroje „Chevalier“)

- (P1=1) , počet průchodů, (P1=1 – znamená první průchod)
- (P2=245.-P1*0,8) , výchozí průměr byl 245 (průměr se mohl lišit podle tloušťky kůry polotovaru) s každým průchodem se zmenšil průměr o 0,8 mm (hloubka třísky tedy 0,4 mm)
- (P3=-272.+P1*0,1) , výchozí délka byla -272 mm, s každým průchodem se projetá délka zmenšila o 0,1, záměrně , aby nedocházelo k narážení nástroje a v důsledku toho k nepředvídatelným defektům VBD.
- (P4=P2+6,0) , výpočet bezpečného průměru pro odjetí
- G71 G18 G90 , G71 ...programování v [mm]; G18...hlavní rovina Z-X; G90...programování absolutní míry

Vysvětlení: Programování absolutní míry.

Při absolutním programování jsou souřadnice programovaného bodu vztaženy k počátkusouřadného systému tj. obvykle k nulovému bodu obrobku. Výhodou toho způsobu programování je možnost okamžité kontroly souřadnic z programu, kdežto při přírůstkovém (relativním, funkce G91) programování musíme projít celý program až k místu, kde chceme souřadnice zkontrolovat.

G59	, aditivní posunutí nulového bodu 2.
T5 D5	, nástroj a korekce
G96 S 480	, řezná rychlost m/min, nastaveno na 480 m/min
G92 S 2200	, max. počet otáček, omezeno na 2200 ot/min
M3 M8	, pomocné M funkce (M3- roztočení vřetene, M8- zapnutí chlazení)
G0 X255. Z3.	, bezpečný bod najetí k obrobku rychloposuvem, průměr nastaven na 255 mm a bezpečná vzdálenost čelem 3mm
G1 XP2 F0,8	, najetí na požadovaný průměr P2 (viz. výše), pouze osa X, posuvem 0,8 mm/ot
G1 ZP3 F0,4	, vlastní obrábění v ose Z, posuvem 0,4 mm/ot a rychlostí 480 m/min
G1 XP4	, vyjetí na bezpečný průměr
G0 X255. Z3.	, přesun rychloposuvem do bodu najetí
M5 M9	, pomocné M funkce (M5- zastavení vřetene; M9- vypnutí chlazení)
M30	, vypnutí programu s návratem kurzoru na začátek programu (funkce také zajistí vypnutí vřetena, chlazení apod.)

6.6. Používané vyměnitelné břitové destičky

Ze souboru sedmi destiček používaných na obrábění hřídele převodové soustavy ve Škoda-auto a.s. byl vybrán vzorek vyměnitelných břitových destiček, které se liší technologickým použitím (hrubování, načisto) i materiálem (cermet, slinutý karbid). Aby mohla být objektivně zhodnocena optimální velikost opotřebení VBD, byly získány nové destičky pro experimenty v laboratořích a již opotřeбенé destičky ve Škoda-auto a.s. pro přeměření (viz níže uvedené).

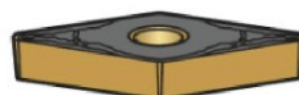
HRUBOVACÍ - TNMG 160408-LK 4225



HRUBOVACÍ - VBMT 160408-UR 4225



NAČISTO - VBNT 160404-PM 1525



NAČISTO - VBMT 160404N-SU AC 700 G – SK



6.7. Upínací systém

Pro upínání břitových destiček bylo zapůjčeno více upínacích držáků pro vnější obrábění, ale nejvíce se osvědčily držáky od společnosti Sandvik, především kvůli spolehlivosti a rychlosti upnutí. Do některých držáků se dostávaly otřepy a způsobovaly problémy, proto po celý průběh testů byly používány tyto držáky: Coro Turn RC- s pevnou upínkou (obrázek 6.8. vpravo), Coro Turn 107 – pro upínání šroubem (obrázek 6.8. vlevo).



Obr. 6.8.: Upínací systém od společnosti Sandvik Coromant

6.8. Kontrola koncentrace chladicí kapaliny

Kontrola koncentrace chladicí kapaliny byla prováděna průběžně, aby bylo zamezeno ovlivnění zkoušek její změnou. K tomuto účelu byl použit refraktometr z laboratoří KOM - Brix 0-18% ATC (obr. 6.9.), s přesností $\pm 0,15\%$. Jeho obsluha byla velice jednoduchá a proměření probíhalo velice rychle. Stačí nanést kapku čisté vody a měřené kapaliny na sklíčko a odečíst na stupnicích koncentraci. Takto odečtená koncentrace je ještě regulována koeficientem, který je uvedený na popisce chladicí kapaliny. Refraktometr funguje na principu rozdílného lomu světla. Látka, se kterou se lom porovnává je čistá voda. Jako chladicí kapalina byl použit 4% roztok Quaker 3753 Bio, stejná řezná kapalina, která se používá ve Škoda-Auto a.s.



Obr. 6.9.: Refraktometr Brix 0-18% ATC

6.9. Kontrola velikosti opotřebení VB

Kontrola velikosti opotřebení (VB) na hřbetu nástroje byla prováděna současně ruční lupou Brynel a laboratorním mikroskopem. Lupa Brynel se díky duálnímu proměřování osvědčila jako dostatečně přesná a při dalších měřeních se pracovalo pouze s touto lupou s 24 násobným zvětšením a se stupnicí 0,05mm. Lupa Brynel je znázorněná na obrázku 6.10.



Obr. 6.10.: Lupa Brynel (24x)

6.10. Shrnutí laboratorních podmínek

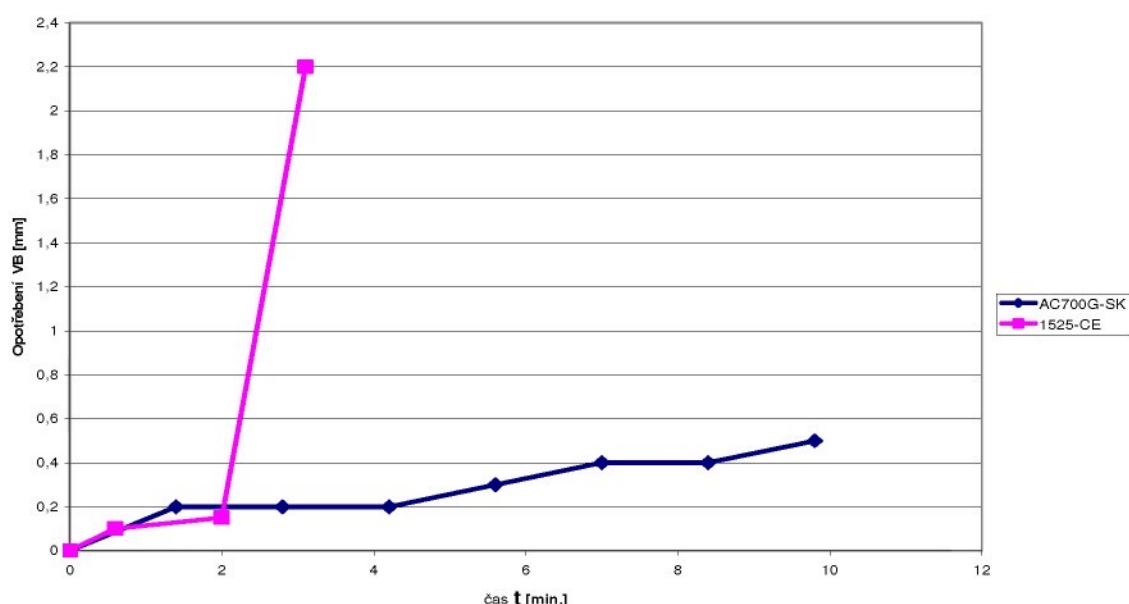
- testy byly prováděny na Technické univerzitě v lab. KOM
- na CNC soustruhu Chevalier FCL 2140 (s max. otáčkami 2250ot/min)
- polotovar - válec o průměru 255x300 mm
- materiál zkoušeného polotovaru – velmi používaná konstrukční ocel 16220
- destičky od společnosti Sandvic Coromant a Sumitomo : TNMG 160408-LK 4225, VBMT 160408-UR 4225, VBNT 160404-PM 1525, VBMT 160404N-SU
- opotřebení bylo měřeno nástrojovou lupou Brynele (24x zoom, stupnice 0,05mm)
- řezná kapalina Quaker 3753 Bio 4%
- kontrola koncentrace kapaliny - refraktometrem Brix 0-18% ATC, s přesností $\pm 0,15\%$

7. Vyhodnocení laboratorních zkoušek

V laboratořích KOM bylo prováděno velké množství zkoušek na určení optimálního opotřebení. Grafy na obrázcích 7.1. a 7.2. představují typický průběh naměřených opotřebení charakteristických pro VBD ze slinutých karbidů a cermetu. Při zkouškách bylo zjištěno, že při překročení velikosti opotřebení u VBD VBMT 160404-PM z cermetu 1525 od SANDVIK Coromant nad hranici 0,3 mm rychlost opotřebení velmi prudce vzrůstá (obr.7.1.). Tento fakt může být příčinou destrukce destičky, a proto

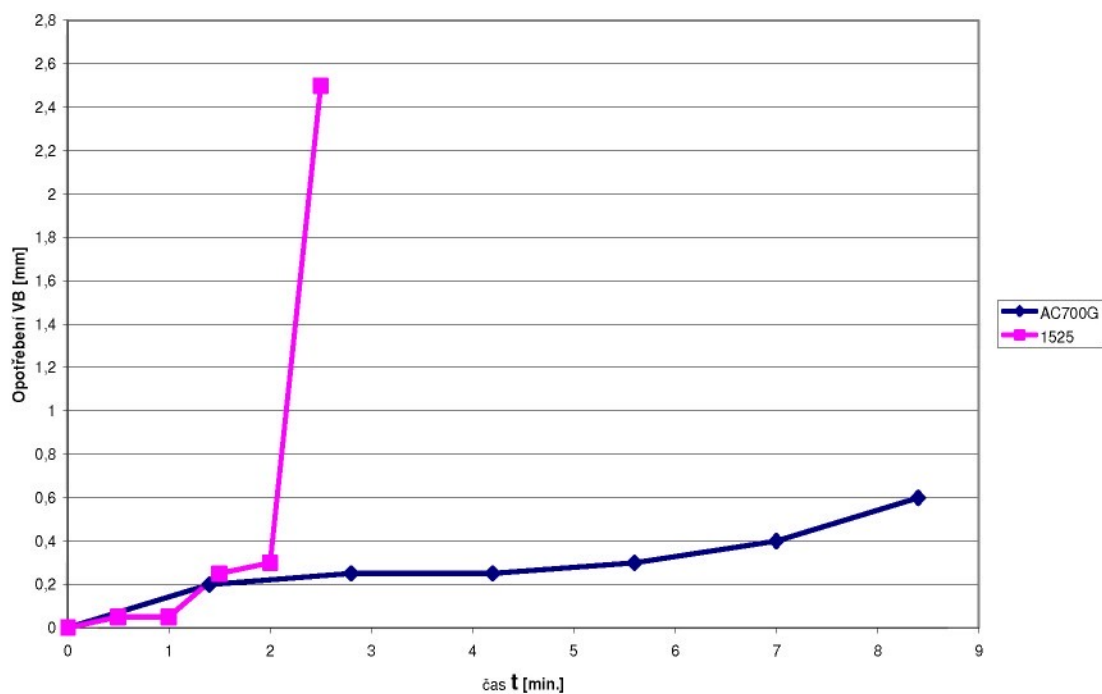
musí být opotřebení cermetu důsledně kontrolováno. Vyměnitelná břitová destička VBMT 160404N-SU ze slinutého karbidu AC700G od SUMITOMO ELECTRIK pracuje v klidu i při větších velikostech opotřebení (například i při 0,5 mm) než VBD z cermetu (obr.7.1., 7.2.). Je to spojeno s tím, že cermet je výrazně křehčí než slinutý karbid.

Z laboratorních výsledků vyplývá, že optimální velikost opotřebení pro VBD ze slinutého karbidu je minimálně 0,5 mm a VBD z cermetu má optimální velikost opotřebení 0,3 mm. Důvod, proč je u slinutého karbidu uvedeno opotřebení minimálně 0,5 mm, je ten, že slinutý karbid funguje i s větším opotřebením, ale při překročení této hranice (tedy 0,5mm) se zvyšují řezné síly a mohlo by dojít k protočení obrobku v hrotech, a tedy k jeho znehodnocení.

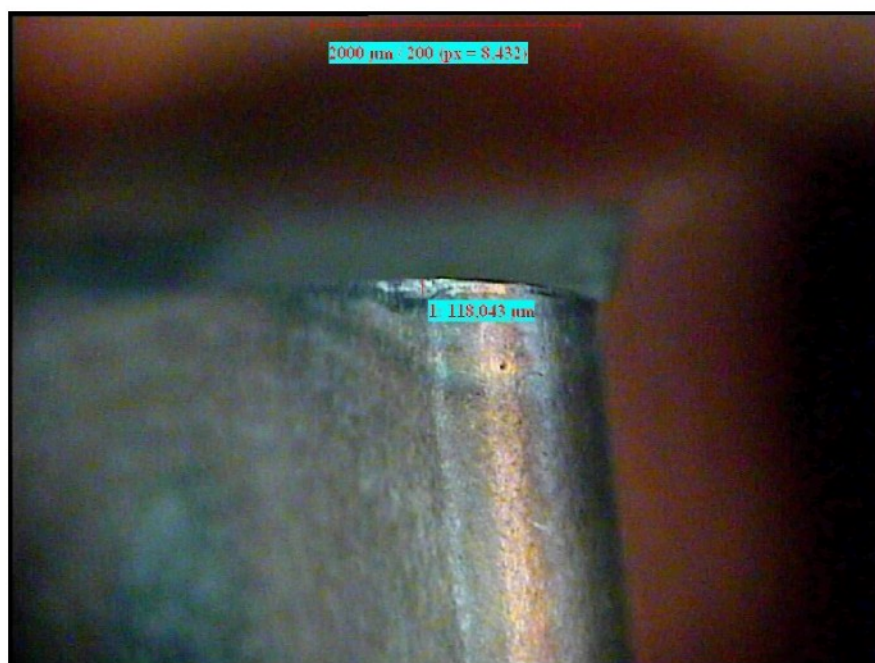


Obr. 7.1.: Graf závislosti velikosti opotřebení (VB) na čase (t) při řezné rychlosti $v = 355\text{m/min}$, posuv na otáčku $S=0,4\text{ mm/ot}$, hloubka třísky $a=0,4\text{ mm}$, koncentrace kapaliny Quaker 3753 Bio 4%.

Na výše uvedených grafech (obrázek 7.1. a 7.2.) jsou názorně vidět typická opotřebení na hřbetu nástroje s vyznačenou velikostí tohoto opotřebení, a to pro vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů TNMG 160408-LK 4225 a VBMT 160408-UR 4225. První jmenovaná destička (tedy TNMG 160408-LK 4225) je určená pro velmi těžká hrubování, kdežto druhá jmenovaná (tedy VBMT 160408-UR 4225) je určena pro hrubovací operace spíše středního rázu.



Obr. 7.2.: Graf závislosti velikosti opotřebení (VB) na čase (t) při řezné rychlosti $v = 375 \text{ m/min}$, posuv na otáčku $S=0,4 \text{ mm/ot}$, hloubka třísky $a=0,4 \text{ mm}$, koncentrace kapaliny Quaker 3753 Bio 4%.



Obr. 7.3.: Opatření VB na hřbetu VBD TNMG 160408-LK 4225



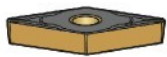
Obr.7.4.: Opotřebení VB na hřbetu VBD VBMT 160408-UR 4225

Na výše uvedených obrázcích 7.3 a 7.4 jsou vidět opotřebení hřbetu nástroje s vyznačeným kritériem VB. Toto hřbetní opotřebení je pro tento druh povlakovaného slinutého karbidu typické. Lze z obrázku vysledovat, že tento nástroj byl z výroby stažen velmi předčasně. Podle našich experimentálně naměřených hodnot by mohl fungovat spolehlivě až do opotřebení 0,5 mm.

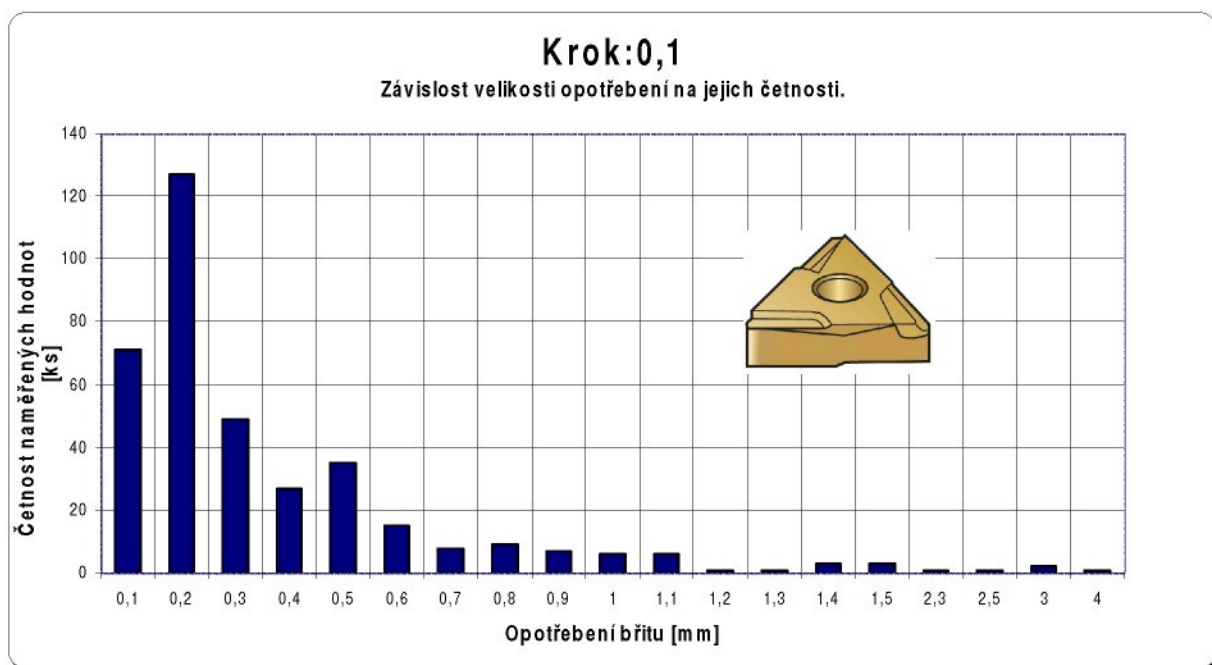
8. Vyhodnocení opotřebení dosažených ve Škoda-auto a.s

Pro srovnání laboratorních zkoušek je nezbytné zkontrolovat velikost opotřebení vyměnitelných břitových destiček opotřebovaných ve Škoda-auto a.s. Aby byly výsledky opravdu průkazné, bylo proměřeno 700 břitů tří různých VBD jak z cermetu, tak ze slinutého karbidu od společnosti Sandvik Coromant. K měření velikosti opotřebení byla použita lupa Brynel (24x) se stupnicí 0,05mm. Závislost velikosti opotřebení na množství příslušných břitů byla vynesena do grafů a dále byl proveden speciální výpočet pro určení využitelnosti VBD.

Ze závislosti velikosti opotřebení VBD (pro dokončování) z cermetu 1525 na počet břitů vyplývá, že VBD z cermetu pracuje v průmyslu v klidu do opotřebení 0,3 mm. Při překročení této hranice opotřebení tedy 0,3 mm existuje velká pravděpodobnost destrukce VBD. Je nutno zdůraznit, že 12 % břitů VBD z cermetu má úplnou destrukci. Proto pro destičky z cermetu je optimální velikost opotřebení 0,3 mm. Pro VBD ze slinutého karbidu je tato hranice, jak vyplývá z měření, minimálně 0,5 mm.

Graf	Počet měřených břitů	Výrobce	Materiál	Označ. destičky	Druh operace	Tvar destičky
(obr.8.1.)	373	SANDVIK	SK	TNMG 160408-LK 4225	HRUB.	
(obr.8.2.)	162	SANDVIK	SK	VBMT 160408-UR 4225	HRUB.	
(obr.8.3.)	163	SANDVIK	cermet	VBNT 160404-PM 1525	NAČIS TO	

Tab. 8.1.: Přehled měřených VBD

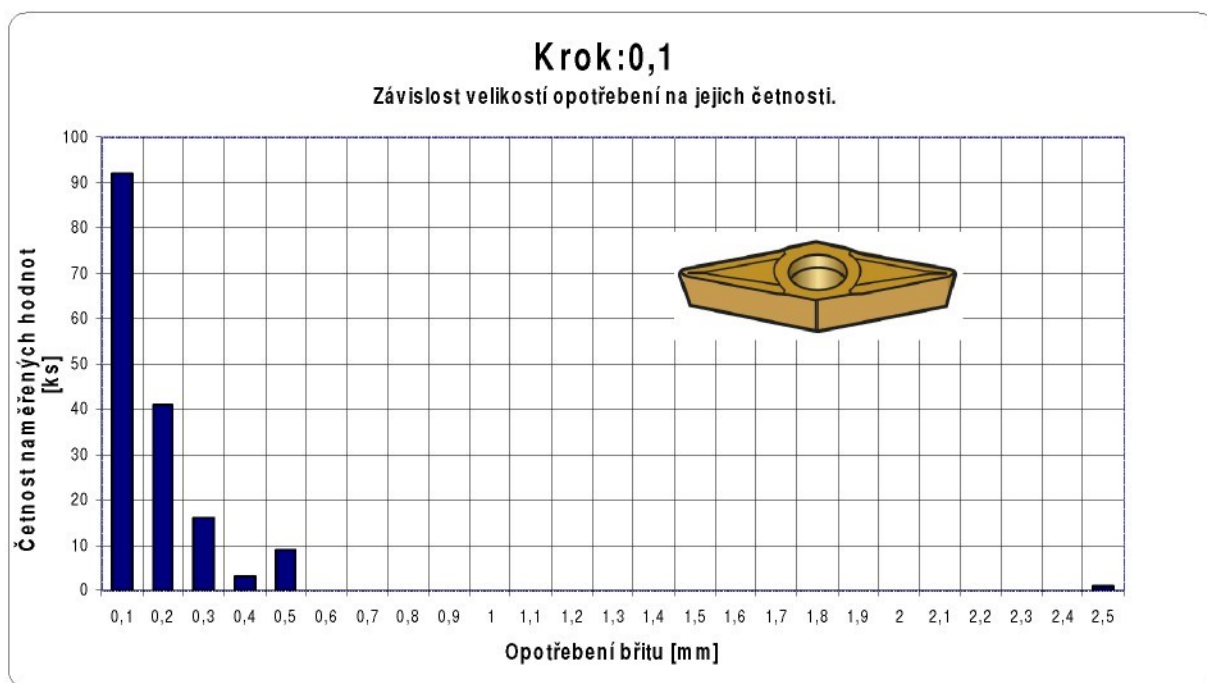


Obr.8.1.: Závislost velikosti opotřebení na počtu příslušných břitů VBD TNMG 160408 LK pro hrubování ze slinutého karbidu 4225 od SANDVIK Coromant.

Pro výpočet koeficientu využití první destičky byly používány následující údaje: celkový počet břitů – 373, počet břitů s velikostí opotřebení 0,5 mm a více – 99 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,4 mm – 27 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,3mm – 49 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,2 mm – 127 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,1 mm – 71 ks. Byl udělán předpoklad, že VBD z slinutého karbidu při opotřebení 0,5 mm a více je používána na 100 %, VBD ze slinutého karbidu při opotřebení 0,4 mm je používána na 80 %, VBD ze slinutého karbidu při opotřebení 0,3 mm je používána na 60 %, VBD ze slinutého karbidu při opotřebení 0,2 mm je používána na 40 % a VBD ze slinutého karbidu při opotřebení 0,1 mm je používána na 20 %.

$$K = (99 \times 1 + 27 \times 0,8 + 49 \times 0,6 + 127 \times 0,4 + 71 \times 0,2) \times 100\% / 373 = 215 \times 100\% / 373 = \underline{58\%}$$

Tento výsledek ukazuje, že koeficient využití VBD TNMG 160408 LK ze slinutého karbidu 4225 od SANDVIK Coromant při soustružení ve průmyslu je 58 %. Při uplatnění kontroly velikosti opotřebení VBD a navýšení termínu výměny VBD do optimální velikosti opotřebení 0,5 mm můžeme očekávat snížení spotřeby VBD na této operaci až o 42 %.



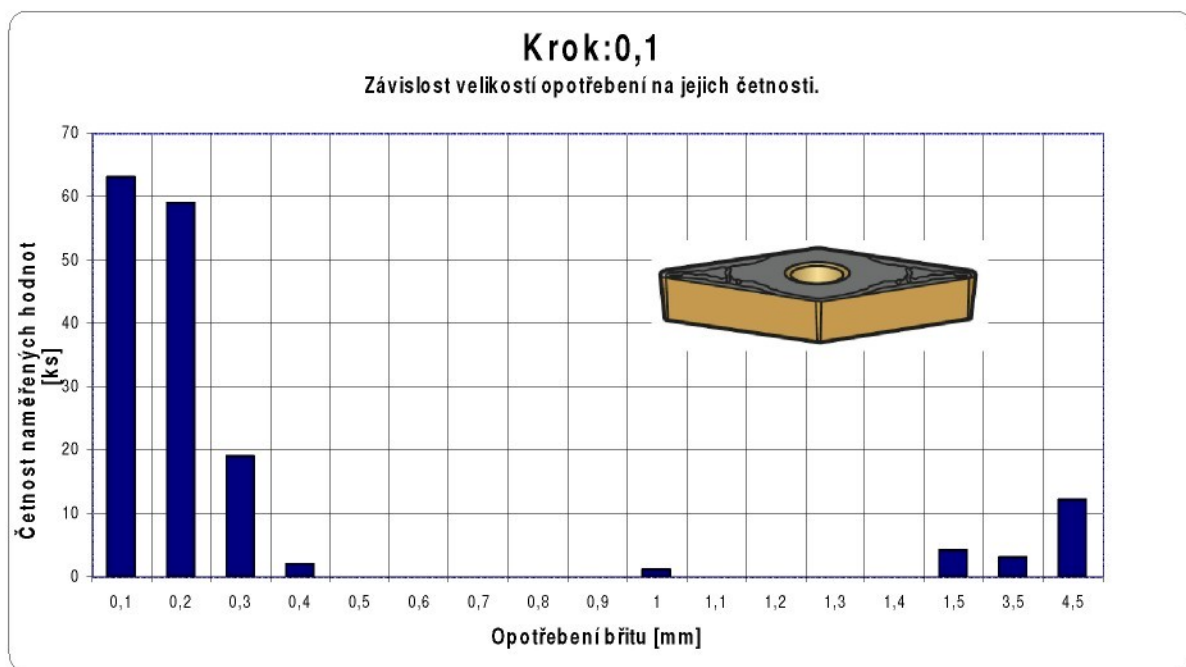
Obr. 8.2.: Závislost velikosti opotřebení na počtu příslušných břitů VBD VBNT 160408 pro hrubování z slinutého karbidu 4225 od SANDVIK Coromant .

Pro výpočet koeficientu využití druhé destičky byly používány následující údaje: celkový počet břitů – 162, počet břitů s velikostí opotřebení 0,5 mm a víc – 10 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,4 mm – 3 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,3 mm – 16 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,2 mm – 41 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,1 mm – 92 ks. Byl udělán předpoklad, že VBD ze slinutého karbidu při opotřebení 0,5 mm a víc je používána na 100 %, VBD ze slinutého karbidu při opotřebení 0,4 mm je používána na 80 %, VBD ze slinutého karbidu při opotřebení 0,3 mm je používána na 60 %, VBD ze slinutého karbidu při opotřebení 0,2 mm je používána na 40 %, VBD ze slinutého karbidu při opotřebení 0,1 mm je používána na 20 %.

$$K = (10 \times 1 + 3 \times 0,8 + 16 \times 0,6 + 41 \times 0,4 + 92 \times 0,2) \times 100\% / 162 = 56,8 \times 100\% / 162 = \underline{35\%}$$

Tento výsledek ukazuje, že koeficient využitelnosti VBD VBNT 160408 ze slinutého karbidu 4225 od SANDVIK Coromant při soustružení hřídelů v průmyslu je 35 %. Při uplatnění kontroly velikosti opotřebení VBD a navýšení termínu výměny VBD

do optimální velikosti opotřebení 0,5 mm můžeme očekávat zmenšení spotřeby VBD na této operaci až o 65 %.



Obr. 8.3.: Závislost velikosti opotřebení na počtu příslušných břitů VBD VBNT 160404 pro dokončování z cermetu 1525 od SANDVIK Coromant.

Pro výpočet koeficientu využití třetí destičky byly používány následující údaje: celkový počet břitů – 163, počet břitů s velikostí opotřebení 0,3 mm a víc – 41 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,2 mm – 59 ks, počet břitů s velikostí opotřebení 0,1 mm – 63 ks. Byl udělán předpoklad, že VBD z cermetu při opotřebení 0,3 mm a víc je používána na 100 %, VBD z cermetu při opotřebení 0,2 mm je používána na 66,7 %, VBD z cermetu při opotřebení 0,1mm je používána na 33,3 %.

$$K = (41 \times 1 + 59 \times 0,667 + 63 \times 0,334) \times 100\% / 163 = 80,353 \times 100\% / 163 = \underline{49\%}$$

Tento výsledek ukazuje, že koeficient využitelnosti VBD VBNT 160404 z cermetu 1525 od SANDVIK Coromant při soustružení ve průmyslu je 49 %. Při uplatnění kontroly velikosti opotřebení VBD a navýšení termínu výměny VBD do optimální velikosti opotřebení 0,3 mm můžeme očekávat zmenšení spotřeby VBD na této operaci až o 51 %.

9. Závěr

Úkolem diplomové práce bylo najít optimální hranici velikosti opotřebení vyměnitelných břitových destiček ze slinutého karbidu a cermetu, tím se pokusit o ušetření břitových destiček a zlepšení ekonomické efektivity celkového obráběcího procesu převodového hřídele ve Škoda-auto a.s.

Z časového hlediska byla nejnáročnější přípravná fáze experimentů a měření, této části se věnovala opravdu velká pozornost a byla pro ni vyhrazena dostatečná časová rezerva. Prvním a nejdůležitějším úkolem bylo zjistit všechny potřebné informace o hřídeli a řezných podmínkách ve Škoda-auto a.s. Tyto informace nám byly poskytnuty a dále byly získány opotřeбенé VBD, řezná kapalina Quaker 3753 Bio dle instrukcí míchaná ve 4 % koncentraci a nové destičky pro samotné laboratorní zkoušky.

Stroj vyhovující experimentům byl CNC soustruh Chevalier FCL 2140 (max. otáčky 2250 ot/min) z laboratoří KOM TU v Liberci. Pro tento stroj byl připraven CNC program, který musel projet cyklus najetí k obrobku, soustružení za stabilních řezných podmínek, vyjetí ze záběru a najetí zpět do výchozího bodu. Jednalo se o jednoducho smyčku, která projela jeden cyklus a zastavila se. Pokud bylo nutné kontrolovat opotřebení, měření se provedlo, nebo se snadnou korekcí proměnné, která určovala počet průchodů, dal cyklus opět do pohybu. Takto vytvořený program naprosto vyhovoval danému typu zkoušky a ušetřil množství času oproti konvenčním zkouškám na ručním soustruhu. Plně vyhovujícím měřicím přístrojem se v průběhu testů osvědčila dílenská lupa Brynel a v dalších měřeních se pracovalo pouze s touto lupou s 24 násobným zvětšením a se stupnicí 0,05 mm.

Dalším náročným rozhodováním prošla volba polotovaru z hlediska jeho složení a mechanických vlastností, kterým nejlépe vyhovovala podle katalogu velmi používaná konstrukční ocel 16 220. Tato ocel se dodává v různých standardizovaných velikostech a bylo důležité se rozhodnout o jaké rozměry se bude jednat. Volba rozměrů obrobku se řídila hlavně s ohledem na maximální otáčky stroje, protože CNC soustruh „Chevalier“ měl relativně nízké maximální otáčky 2250 ot/min, musel být volen větší průměr obrobku kvůli dosažení dostatečně vysoké řezné rychlosti na obvodu. Pro menší rozměry obrobku nahrávala manipulovatelnost, naproti tomu při rozsahu zkoušek které byli připravované, by se materiál musel často měnit a docházelo by k prodlevám. Po delších úvahách

a možnosti využít jeřáb laboratoří KOM bylo rozhodnuto o polotovaru průměru 255x300 mm a o hmotnosti 120 kg. Byly zapůjčeny držáky VBD s označením Coro Turn RC- s pevnou upínkou, Coro Turn 107 – pro upínání šroubem, které se velice osvědčily. Velmi komfortní byla především snadná výměna břitových destiček a spolehlivost upnutí. Pro zkoušky byly používány VBD hrubovací i pro operace načisto: TNMG 160408-LK 4225, VBMT 160408-UR 4225, VBNT 160404-PM 1525, a VBMT 160404N-SU AC 700 G – SK.

Testovací fáze byly rozděleny na dvě části, a to na část experimentální v laboratořích KOM a na část měření již opotřeбенých destiček v Škoda-auto a.s. Experimentální část byla měřena nejdříve a až pro potvrzení výsledků byly změřeny destičky již opotřeбенé ve Škoda-auto a.s.

Při zkouškách v laboratoři bylo zjištěno, že při překročení velikosti opotřebení u VBD VBMT 160404-PM z cermetu 1525 od SANDVIK Coromant nad hranici 0,3 mm rychlost opotřebení velmi prudce vzrůstá. Tento fakt může být příčinou destrukce destičky, a proto musí být opotřebení cermetu důsledně kontrolováno. Vyměnitelná břitová destička VBMT 160404N-SU ze slinutého karbidu AC700G od SUMITOMO ELECTRIK pracuje v klidu i při větších velikostech opotřebení (například i při 0,5 mm), než VBD z cermetu. To je spojeno s tím, že cermet je výrazně křehčí než slinutý karbid. Z takto experimentálně naměřených výsledků vyplývá, že optimální velikost opotřebení pro VBD ze slinutého karbidu je minimálně 0,5 mm a VBD z cermetu má optimální velikost opotřebení 0,3 mm. Důvod, proč je u slinutého karbidu uvedeno opotřebení minimálně 0,5 mm, je ten, že slinutý karbid funguje i s větším opotřeбенím, ale při překročení této hranice (tedy 0,5 mm) se zvyšují řezné síly a mohlo by dojít k protočení obrobku v hrotech, do kterých je obrobek upnut ve Škoda-auto a.s.

Na tuto laboratorní (experimentální) část navazuje měření VBD již opotřeбенých v průmyslu. Ze závislosti velikosti opotřebení VBD (pro dokončování) z cermetu 1525 na počet břitů vyplývá, že VBD z cermetu pracuje v průmyslu v klidu do opotřebení 0,3 mm. Při překročení této hranice opotřebení tedy 0,3 mm existuje velká pravděpodobnost destrukce VBD. Je nutno zdůraznit, že 12 % břitů VBD z cermetu má úplnou destrukci. Proto pro destičky z cermetu je optimální velikost opotřebení 0,3 mm. Pro VBD ze slinutého karbidu je tato hranice, jak vyplývá z měření, minimálně 0,5 mm.

Získané výsledky měření břitů pracujících v reálných podmínkách automobilky Škoda-auto a.s. podporují laboratorní výsledky a svědčí o tom, že měření proběhlo správně a dosažená optimalizace byla úspěšná. Při uplatnění kontroly velikosti opotřebení VBD a navýšení termínu výměny VBD do optimální velikosti opotřebení 0,3 mm pro cermet a 0,5 mm pro SK, můžeme očekávat zmenšení spotřeby VBD na těchto operacích v rozsahu 42 – 65 %.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. CCB s.r.o., 1995. 264 s. ISBN 80-85825-10-4.
- [2] SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění - soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. 2005. 601 s.
- [3] HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Universita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80-7044-616-1.
- [4] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [5] AB SANDVIK Coromant, Sandviken: *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. 1. české vydání 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [6] FOREJT, M., HUMÁR, A., PÍŠKA, M., JANÍČEK, L. aj. *Experimentální metody- sylabus*. http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/experimentalni_metody_cviceni_forejt_piska_humar_janicek.pdf.
- [7] GAZDA, J. *Teorie obrábění – průvodce tvorbou třísky*. 1. vyd. Liberec 2004: ISBN 80-7083-789-6.
- [8] SANDVIK Coromant: *MC 2009 katalog Sandvik*, [http : //www.sandvik .coromant.com/cz](http://www.sandvik.coromant.com/cz).
- [9] HOUDEK, J., KOUŘIL, K. *Opotřebení nástrojů ze slinutých karbidů*, 1. část MM Průmyslové spektrum. Prosinec 2004, č. 12 s. 20-21. ISSN 1212-2572.
- [10] HOUDEK, J., KOUŘIL, K. *Opotřebení nástrojů ze slinutých karbidů*, 2. část MM Průmyslové spektrum. Únor 2005, č. 1, 2 s. 71-73. ISSN 1212-2572.

SEZNAM PŘÍLOH:

PŘÍLOHA Č.1tab. naměřených opotřebení VBD TNMG 160408-LK 4225

PŘÍLOHA Č.2.....tab. naměřených opotřebení VBD VBMT 160408-UR 4225

PŘÍLOHA Č.3.....tab. naměřených opotřebení VBD VBNT 160404-PM 1525

PŘÍLOHA Č.4..... Abstrakt vytvořený pro konferenci v Plzni (ERIN 2010)

PŘÍLOHA Č.1

Naměřené hodnoty opotřebení pro VBD TNMG 160408-LK 4225

0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8
0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8
0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8
0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,35	0,5	0,8
0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8
0,05	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,85
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,5	0,9
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,5	0,9
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,5	0,9
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,5	0,9
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,5	0,9
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,5	0,9
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,5	0,95
0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,35	0,5	1
0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,5	1
0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,5	1
0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,5	1
0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,5	1,1
0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,5	1,1
0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,55	1,1
0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,55	1,1
0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	0,4	0,55	1,1
0,1	0,15	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	1,1
0,1	0,15	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	1,2
0,1	0,15	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	1,3
0,1	0,15	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	1,4
0,1	0,15	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	1,4
0,1	0,15	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	1,4
0,1	0,15	0,15	0,2	0,25	0,4	0,6	1,5

0,1	0,15	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	1,5
0,1	0,15	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	1,5
0,1	0,15	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	2,3
0,1	0,15	0,15	0,2	0,3	0,4	0,6	2,5
0,1	0,15	0,15	0,2	0,3	0,45	0,6	3
0,1	0,15	0,15	0,2	0,3	0,45	0,65	3
0,1	0,15	0,15	0,2	0,3	0,45	0,65	3,5
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,45	0,7	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,45	0,7	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,45	0,7	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8	
0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8	

PŘÍLOHA Č.2

Naměřené hodnoty opotřebení pro VBD TNMG VBMT 160408-UR 4225

0,05	0,1	0,2	1,5
0,05	0,1	0,2	1,5
0,05	0,1	0,2	1,5
0,05	0,1	0,2	1,5
0,05	0,1	0,2	3
0,05	0,1	0,2	3,5
0,05	0,1	0,2	3,5
0,05	0,1	0,2	4,5
0,05	0,1	0,2	4,5
0,05	0,1	0,2	4,5
0,05	0,1	0,2	4,5
0,05	0,1	0,2	4,5
0,05	0,1	0,2	4,5
0,05	0,1	0,2	4,5
0,05	0,15	0,2	4,5
0,05	0,15	0,2	4,5
0,05	0,15	0,2	4,5
0,05	0,15	0,2	4,5
0,05	0,15	0,2	
0,05	0,15	0,2	
0,05	0,15	0,2	
0,05	0,15	0,2	
0,05	0,15	0,2	
0,05	0,15	0,2	
0,05	0,15	0,25	
0,05	0,15	0,25	
0,1	0,15	0,25	
0,1	0,15	0,25	

0,1	0,15	0,25	
0,1	0,15	0,25	
0,1	0,15	0,25	
0,1	0,15	0,25	
0,1	0,15	0,25	
0,1	0,15	0,25	
0,1	0,15	0,25	
0,1	0,15	0,3	
0,1	0,15	0,3	
0,1	0,15	0,3	
0,1	0,15	0,3	
0,1	0,15	0,3	
0,1	0,15	0,3	
0,1	0,15	0,3	
0,1	0,15	0,3	
0,1	0,15	0,35	
0,1	0,2	0,4	
0,1	0,2	1	

PŘÍLOHA Č.3

Naměřené hodnoty opotřebení pro VBD VBNT 160404-PM 1525

0,05	0,1	0,15	0,5
0,05	0,1	0,15	2,5
0,05	0,1	0,15	0,2
0,05	0,1	0,15	0,3
0,05	0,1	0,15	0,3
0,1	0,1	0,15	0,15
0,1	0,1	0,2	0,1
0,1	0,1	0,2	0,3
0,1	0,1	0,2	0,5
0,1	0,1	0,2	0,1
0,1	0,1	0,2	0,1
0,1	0,1	0,2	0,1
0,1	0,1	0,2	0,15
0,1	0,1	0,2	0,15
0,1	0,1	0,2	0,2
0,1	0,1	0,2	0,3
0,1	0,1	0,2	0,15
0,1	0,1	0,2	0,1
0,1	0,1	0,2	0,3
0,1	0,1	0,2	0,35
0,1	0,1	0,2	0,1
0,1	0,1	0,2	
0,1	0,1	0,2	
0,1	0,1	0,2	
0,1	0,1	0,2	
0,1	0,1	0,2	
0,1	0,1	0,2	
0,1	0,1	0,25	
0,1	0,1	0,25	

[illegible]

PŘÍLOHA Č.4

Abstrakt vytvořený pro konferenci v Plzni (ERIN 2010)



Moderní nástrojové materiály pro soustružení konstrukčních ocelí

Modern tool materials for turning structural steel

Popov, A., Keller P., Votava J., Isach D.

Katedra obrábění a montáže, Technická univerzita v Liberci

e-mail: alespopov@yandex.ru

Abstrakt:

Aplikace moderních nástrojových materiálů při soustružení konstrukčních ocelí zvyšuje výkonnost výroby a zlepšuje konkurenceschopnost strojírenství ČR. Na katedře obrábění a montáže TUL byly vyzkoušeny vyměnitelné břitové destičky (dále jen VBD) z cermetu a slinutého karbidu od různých dodavatelů: Sandvik Coromant, Sumitomo, Iscar, Seco, Walter a Widia. Výsledkem výzkumné práce bylo určení optimální velikosti opotřebení VBD a byl zdůvodněn výběr optimálních VBD.

Klíčová slova:

vyměnitelná břitová destička, soustružení, slinutý karbid, cermet, opotřebení nástroje.

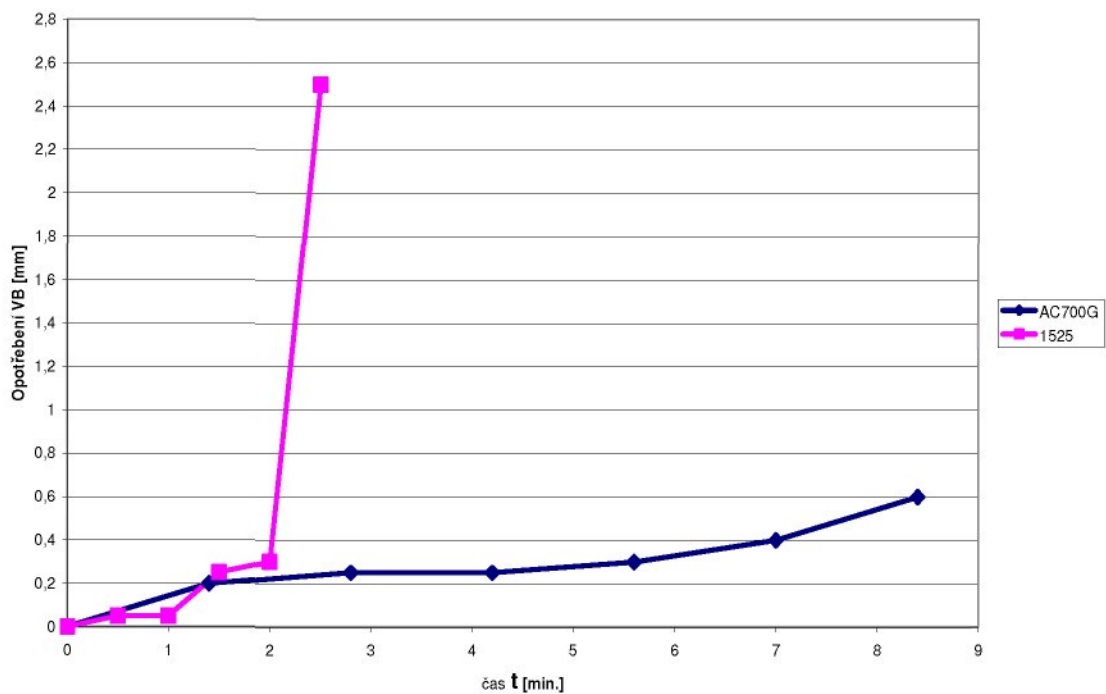
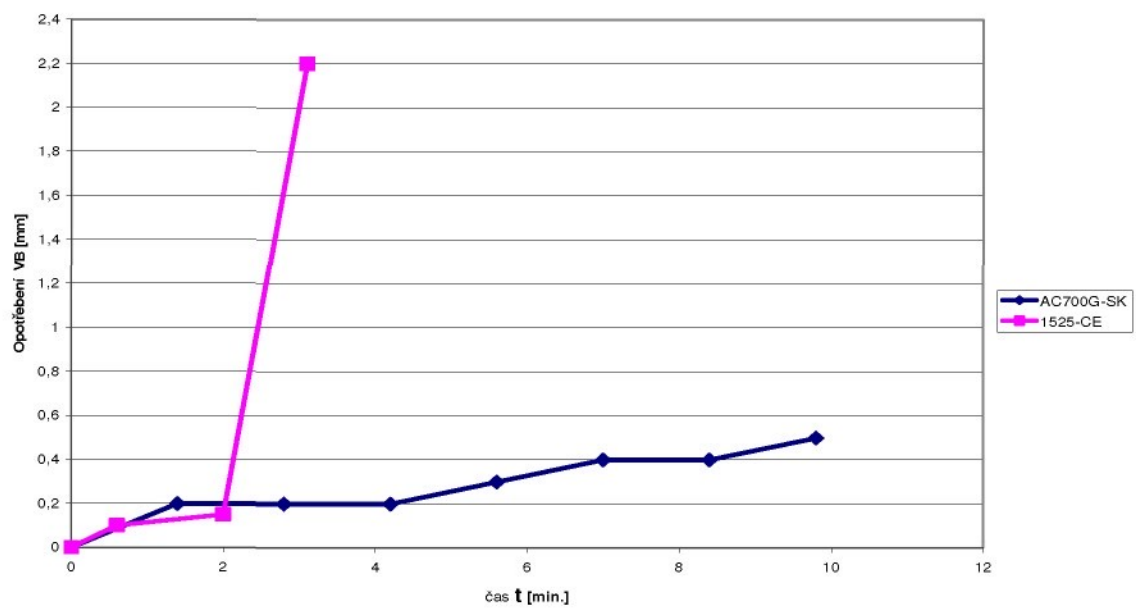
Abstrakt:

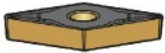
Currently a large number of cutting inserts is producing. Operators may be difficult to navigate in the selection of the best inserts. The situation is so complex that suppliers are still developing new brand inserts. Perform durability tests instruments are in practice very difficult, time consuming and expensive. The Department of machining and assembly of the Technical University of Liberec has been carried out research work for the comparison of durability inserts for turning steel used a 16 220. Were tested cermet inserts and cemented carbide inserts suppliers Sandvik Coromant, Sumitomo, Iscar, Seco, Walter and Widia. The result of research work has been determining the optimal size of the inserts of wear and was justified by the selection of optimal inserts.

Keywords:

turning, cemented carbide, cooling, tool wear, steel

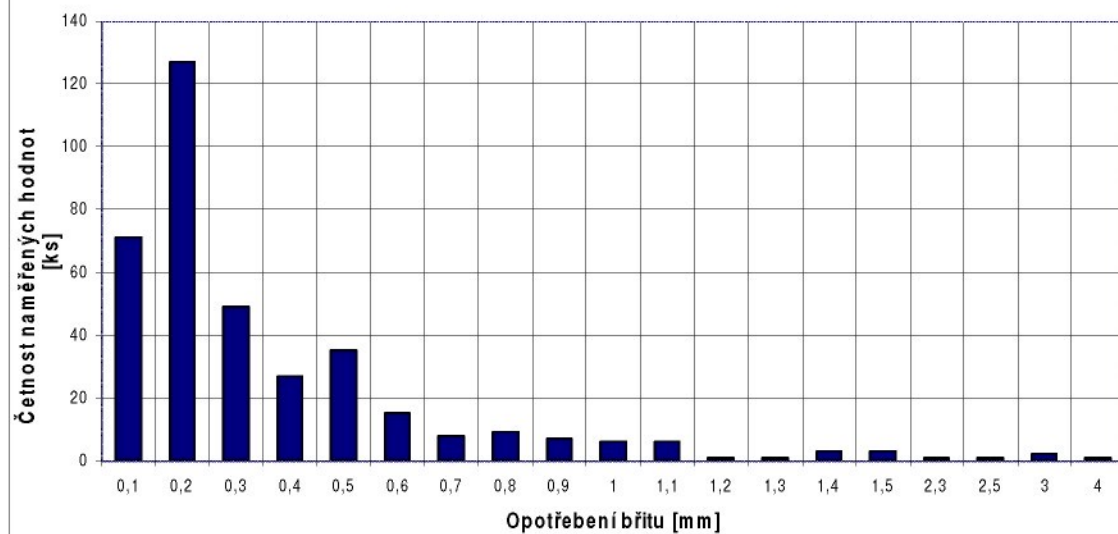
Tento článek souvisí s řešením projektu MSM 4674788501, který je podporován MŠMT ČR.



Graf	Počet měřených břitů	Výrobce	Materiál	Označ. destičky	Druh operace	Tvar destičky
(obr.8.1.)	373	SANDVIK	SK	TNMG 160408-LK 4225	HRUB.	
(obr.8.2.)	162	SANDVIK	SK	VBMT 160408-UR 4225	HRUB.	
(obr.8.3.)	163	SANDVIK	cermet	VBNT 160404-PM 1525	NAČIS TO	

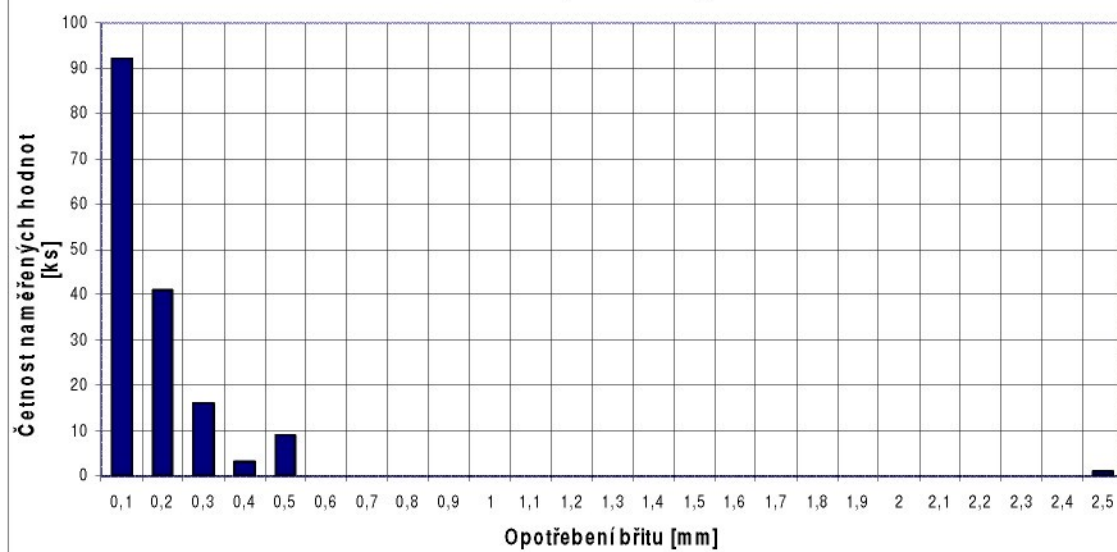
Krok:0,1

Závislost velikosti opotřebení na jejich četnosti.



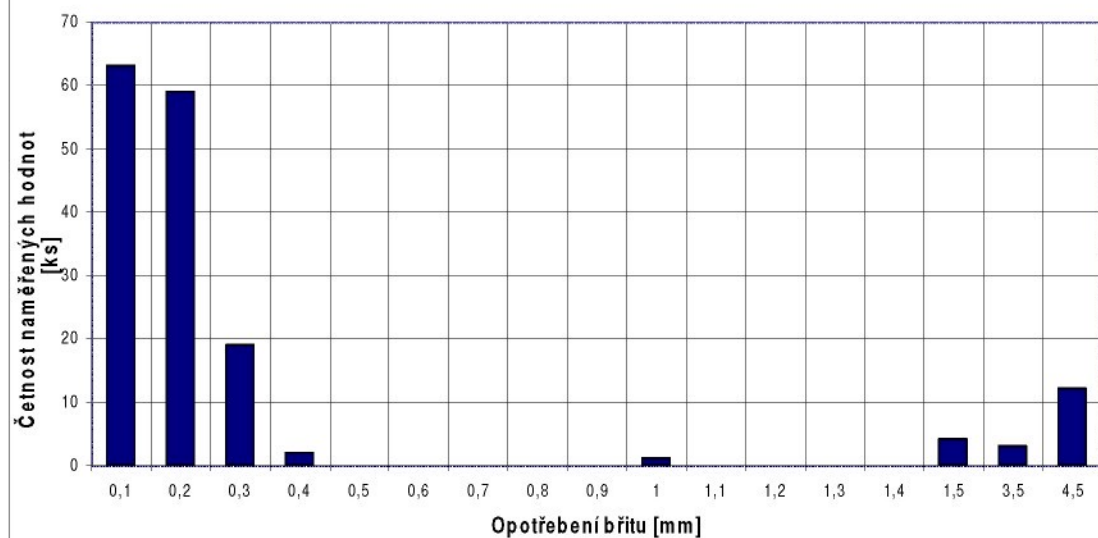
Krok:0,1

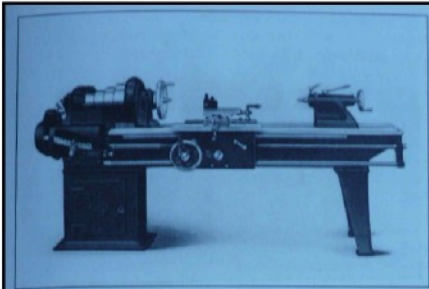
Závislost velikostí opotřebení na jejich četnosti.



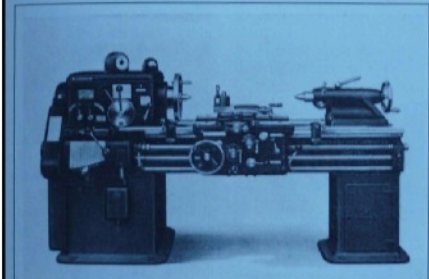
Krok:0,1

Závislost velikostí opotřebení na jejich četnosti.

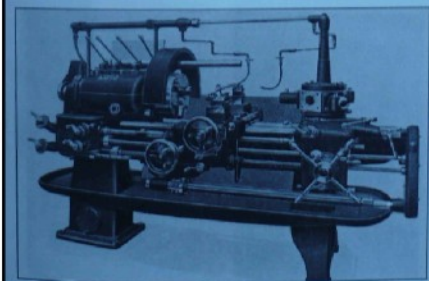




1910

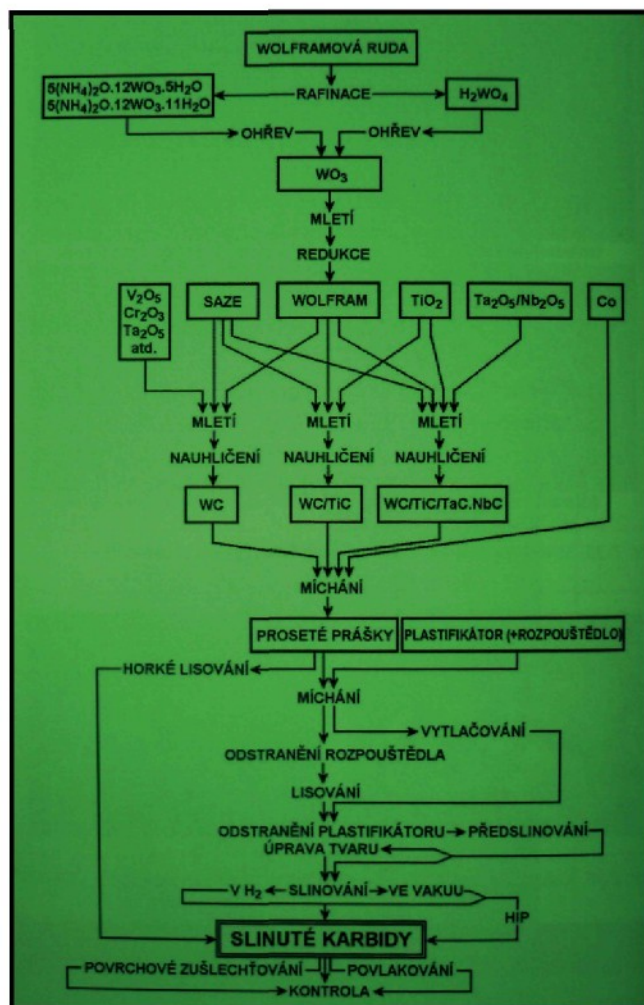


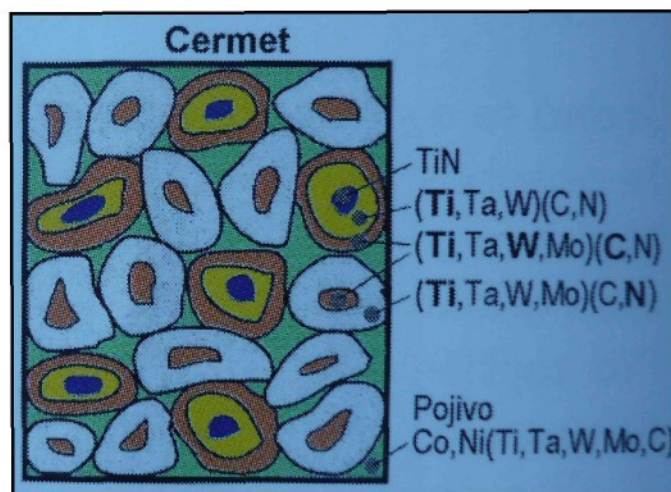
1940

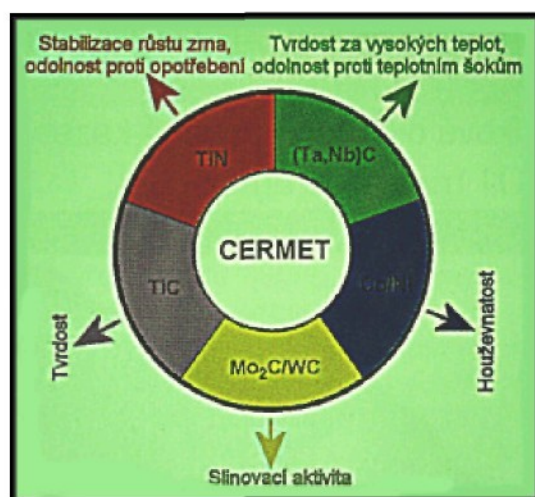


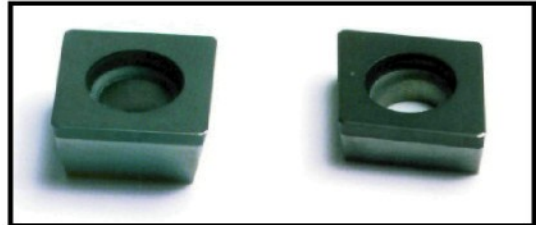
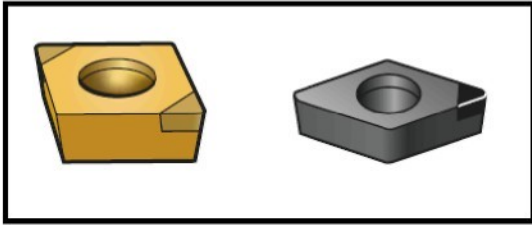
1950

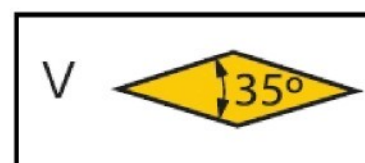
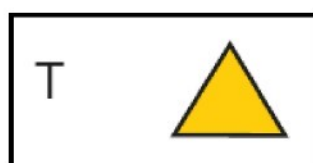
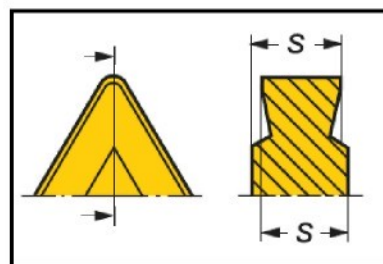
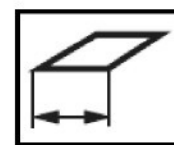
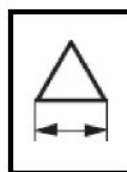
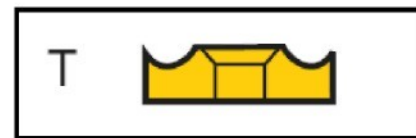
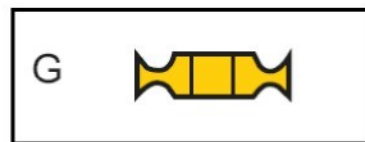
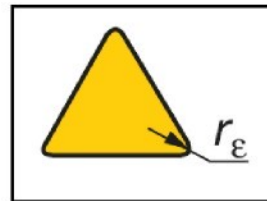
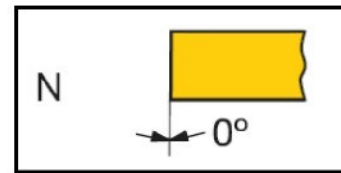
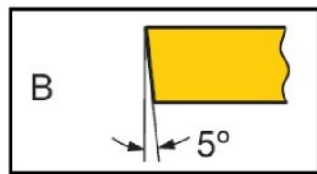


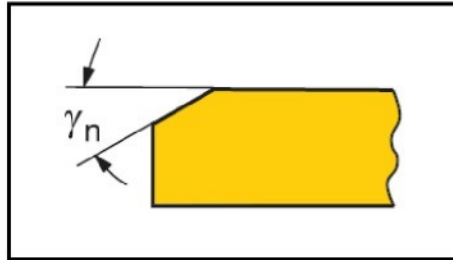






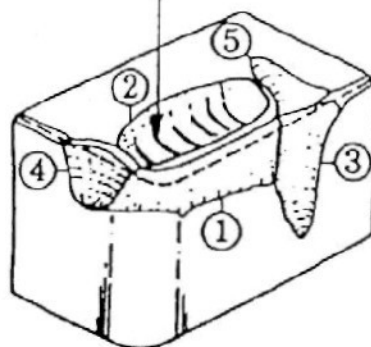




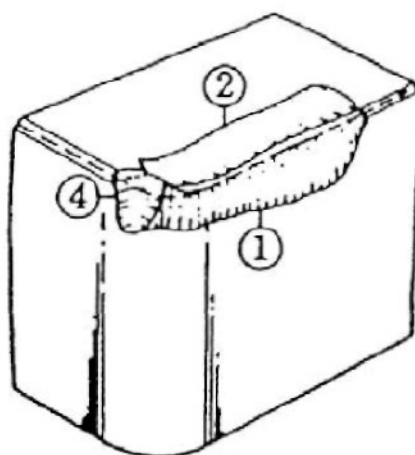


	010	$b_{\gamma n} = 0.1$
	025	$b_{\gamma n} = 0.2$
	070	$b_{\gamma n} = 0.7$
	150	$b_{\gamma n} = 1.5$
	200	$b_{\gamma n} = 2.0$

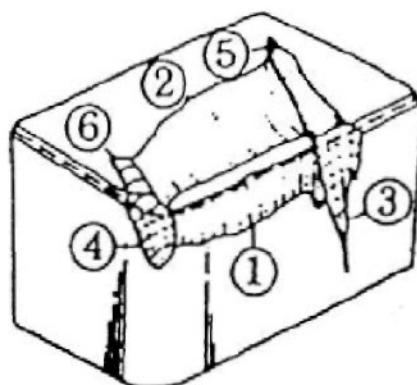
Hřebenové trhliny



Slinutý karbid



Keramika



Rychlořezná ocel

