

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Obrábění keramiky

Machining of Ceramic

Student:

Ondřej Pavlů

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Vladimír VRBA, CSc.

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užití své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Pavlu Ondřej

Anotace bakalářské práce

PAVLŮ, O. Obrábění keramiky. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, Bakalářská práce, vedoucí Doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Bakalářská práce se zabývá vlivem parametrů obrábění na vznik trhlin v keramickém materiálu pro firmu CeramTec Czech Republic s.r.o. V úvodu je obecně zmíněna charakteristika daného problému. V další části jsou pak popsány vlastnosti materiálů. Dále pak obrábění, které je hlavní náplní bakalářské práce. V praktické části jsou popsány měření a výsledný vliv nastavení na vznik trhlin. Závěr patří zhodnocení této práce.

Annotation of thesis

PAVLŮ, O. Machining of Ceramic. Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University Ostrava, 2009, Bachelor Thesis, head: Doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

The bachelor theses deals with an influence of shaping parameters on crazing in ceramics for CeramTec Czech Republic s.r.o. The introduction of this bachelor theses includes the common characterization the query. In the other part are given an account of material properties. The next is tooling which is the main subject of this bachelor theses. In the practically part are described measurements and resulting influence of petting on crazing. The conclusion includes evaluation of this bachelor theses.

OBSAH

| | |
|---|----|
| Úvod..... | 6 |
| 1 Firma CeramTec..... | 8 |
| 1.1 Představení firmy..... | 8 |
| 1.2 Výrobky..... | 9 |
| 1.3 Materiál..... | 9 |
| 1.3.1 Slinovaný karbid křemíku SSiC..... | 10 |
| 1.3.2 Infiltrovaný karbid křemíku SiSiC..... | 13 |
| 2 Obrábění..... | 15 |
| 2.1 Základní pojmy procesu obrábění..... | 15 |
| 2.2 Pohyby a rychlosti při obrábění..... | 17 |
| 2.3 Základní části a konstrukční prvky obráběcích nástrojů..... | 18 |
| 2.4 Břit nástroje..... | 19 |
| 3 Soustružení..... | 21 |
| 3.1 Pracovní pohyby nástroje a obrobku..... | 21 |
| 3.2 Druhy soustružných nástrojů..... | 22 |
| 3.3 Rozdělení soustruhů..... | 23 |
| 3.4 Výkon při soustružení, přesnost a drsnost povrchu..... | 23 |
| 4 Řezný materiál..... | 25 |
| 4.1 Polykrystalický materiál..... | 25 |
| 5 Návrh technologie..... | 28 |
| 5.1 Obrobek..... | 28 |
| 5.2 Soustruh..... | 29 |
| 5.3 Vyměnitelná břitová destička a nůž..... | 29 |
| 6 Diskuze provedených zkoušek..... | 32 |
| 6.1 Zkouška závislosti posuvu na kvalitě povrchu..... | 33 |

| | |
|---|----|
| 6.1.1 Ekonomická vyhodnocení závislosti posuvu na kvalitě povrchu..... | 35 |
| 6.2 Zkouška řezné rychlosti na kvalitu povrchu..... | 36 |
| 6.2.1 Ekonomické vyhodnocení zkoušky řezné rychlosti na kvalitu povrchu..... | 39 |
| 7 Závěr..... | 40 |
| Seznam příloh..... | 41 |
| Seznam použité literatury..... | 42 |

ÚVOD

Keramika je prvním uměle vyrobeným materiálem a byla používána dlouho před kovy. Vzhledem ke kontinuálnímu pokroku, ke kterému dochází ve vývoji materiálu, stoupá důležitost této materiálové skupiny nikoliv pouze s ohledem na náhradu materiálu, které jsou již používány, ale také proto, že tyto materiály umožňují vývoj nových výrobků, které lze obtížně vyrobit použitím jiných materiálů.

Náklady na obrábění mohou činit až 80 % výrobních nákladů, proto je důležité vyvinout nové postupy a materiály pro nářadí pro obrábění s geometricky definovaným ostřím.

Tato bakalářská práce byla zadána firmou CeramTec Czech Republic s.r.o. Hlavním úkolem je vliv obrábění na vznik trhlin ve zkoksovaném keramickém materiálu.

Obrábění keramického materiálu je specifická tím, že se jedná o velice tvrdý materiál. Používají se tedy velice tvrdé řezné materiály v našem případě tedy polykrystalický diamant (PKD).

Vzhledem k velikosti mého úkolu se budu zabývat nastavením parametrů při obrábění tak, abych porovnal a zjistil při kterých hodnotách dochází k porušení materiálu a tvorbě trhlin.

1. FIRMA CERAMTEC [1]

1.1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY

Výroba ve společnosti CeramTec Czech Republic s.r.o. byla zahájena v roce 1994, když CeramTec přesunul výrobu technických výrobků na bázi karbidu křemíku (SiC). Od té doby byly SiC materiály neustále dále vyvíjeny. V současné době se vyrábí tři verze materiálu 6– infiltrovaný karbid křemíku, hrubozrnný a jemnozrnný (SiSiC – ROCAR SiG and ROCAR SiF) a slinovaný karbid křemíku (SSiC – ROCAR S1). Další materiály se nacházejí ve fázi vývoje.

Výroba byla rozšířena o druhou výrobní linku pro dokončování těsnících destiček pro sanitární techniku, která představuje jednu z největších evropských výrobních kapacit ve svém oboru. Těžiště výroby spočívá v broušení, leštění a výstupní kontrole těsnících destiček vyráběných z kysličníku hlinitého.

Implementovaný systém řízení jakosti dle norem ISO 9001 vycházející z celofiremní politiky jakosti je certifikován německou společností TÜV Management service GmbH. V současné době probíhají přípravy na zavedení a certifikaci systému norem ČSN EN ISO 9001:2001.

CeramTec Group

CeramTec Czech Republic se sídlem v Šumperku je dceřinnou společností německé společnosti CeramTec AG a kořeny společnosti jsou integrální součástí globální historie technické keramiky. Tato historie zahrnuje více než 115 roků výroby. Jen několik málo společností v oblasti keramiky má tak silné základy. V průběhu své úspěšné historie docházelo k různým fúzím a převzetím firem, které zahrnovaly různé segmenty společnosti. Ve stručném shrnutí, mezi jiným American Lava, 3M, General Electric, Rosenthal, Hoechst, Cerasiv, SPK, Ceramaseal, AlSiMag, a Dynamit Nobel byly důležité milníky v různých odvětvích této úspěšné společnosti.

Řešení pro materiály budoucnosti jsou založená na pilířích zkušeností, výzkumu a vývoje: obsáhlé zkušenosti ohledně možností a oblastí aplikace na jedné straně a neustálý výzkum a vývoj orientovaný na využití na druhé straně tvoří

základnu. Společnosti koncernu CeramTec Group určují standardy v oblasti vysoce výkonných keramických materiálů. Dnes ještě více než dříve, je CeramTec průkopníkem koncepcí nových řešení pro stále širší a důmyslnější oblasti používání keramických materiálů. Každý den pracujeme na rozšíření fascinujícího světa vysoce výkonných keramických materiálů, aby zahrnoval nové aspekty.

Recept pro úspěch, který nás přivedl na špičku vývoje: Neustálý vývoj nových materiálů, vysoká kvalita, soustředění na systémová řešení specifická pro zákazníky a poradenství ohledně aplikací založené na dialogu o celé provozní životnosti výrobků

Společnost CeramTec AG, náležející ke koncernu Rockwood Holdings Inc. se sídlem v Princetonu, USA. Rockwood Holdings, se zaměřuje na specializované chemické a vysoce výkonné materiály.

1.2 VÝROBKY

CeramTec se v České republice zabývá výrobky, řešení a službami:

- Těsnicí kroužky
- Trysky energetických zdrojů.
- Hořáky
- Kluzná ložiska
- Třídící a mlecí kola
- Armatury
- Kulové ventily a vložky
- Díly čerpadel, lopatková kola a vřetena
- Speciální aplikace

1.3 MATERIÁL

Firma CeramTec, se sídlem v Šumperku, se zabývá materiálem z modifikace karbidu křemíku SiC. Jsou jimi:

- SSiC – slinovaný karbid křemíku
- SiSiC – infiltrovaný karbid křemíku

Oba materiály vynikají vysokou teplotní odolností, velmi nízkým koeficientem teplotní roztažnosti, velmi vysokou tvrdostí, ošetruvzdorností, vysokou korozní odolností, nízkou měrnou hustotou, nepropustností pro plyny a kapaliny, výbornou tepelnou vodivostí, výbornými kluznými vlastnostmi a mezi keramickými materiály vysokou odolností vůči teplotním šokům.

1.3.1. SLINOVANÝ KARBID KŘEMÍKU SSIC [2]

Slinovaný SiC se vyznačuje vysokou pevností, tvrdostí, odolností proti teplotním změnám a vyznačuje se univerzální chemickou stálostí. Tento materiál vykazuje velmi dobré tribologické chování a při kluzném namáhání má převahu nad ostatními materiály. Konsekvntně je slinovaný SiC téměř ideální materiál pro ošetrem namáhaná kluzná ložiska a kluzné těsnící kroužky.

Výroba

Slinovaný SiC je čistý materiál SiC, a tím se liší obzvlášť od křemitého infiltrovaného a reakčně slinovaného karbidu křemíku (SiSiC), od látky, která obsahuje vysoký podíl (10 – 30 obj. %) volného křemíku. Při výrobě slinovaného SiC se prášek SiC o vysoké čistotě a s extrémní zrnitostí (velikost zrn < 1 μm) dotuje nepatrnými množstvími slinovaných prostředků (< 1 váh. %) a slinuje v ochranné atmosféře při teplotách kolem 2100 °C. Pro tváření zelených těles lze použít všechny tvářecí postupy, které jsou obvyklé pro keramiku.

Vlastnosti

Čistý slinovaný SiC je jediný známý materiál, který vykazuje univerzální chemickou odolnost ve všech kapalných a plynných médiích, až do teploty několika

set °C. K jeho dobré pevnosti, vysoké tepelné vodivosti a odolnosti proti abrazi a vynikající tribologické chování při namáhání kluzem. Tento vlastností profil dělá ze slinovaného SiC ideální materiál kluzné a ložiskové elementy, které jsou vystaveny vysokému namáhání opotřebením. Vynikající pevnost a mez tečení za vysokých teplot.

| Vlastnost | Jednotka | Teplota ve °C | Hodnota |
|--|----------------------------------|---------------|---------|
| Hustota | g/cm ³ | 20 | 3,1 |
| Porezita | obj. % | | 3,5 |
| Tvrдост | | 20 | 2700 |
| Pevnost v tlaku | MNm ⁻² | 20 | 2200 |
| Pevnost v ohybu ve čtyřech bodech | MNm ⁻² | 20 | 410 |
| | | 1000 | 410 |
| | | 1400 | 410 |
| Weibullův modul | | 20 | 10 |
| Lomová houževnatost (ostrá trhлина) | MNm ^{-3/2} | 20 | 3,2 |
| Modul E | GNm ⁻² | 20 | 410 |
| Poissonova konstanta | | 20 | 0,17 |
| Specifický elektrický odpor | cm | 20 | 10-100 |
| Tepelná vodivost | Wm ⁻¹ K ⁻¹ | 20 | 110 |
| | | 1000 | 45 |
| Koeficient tepelné roztažnosti | 10 ⁻⁶ K ⁻¹ | 20-500 | 4,0 |
| | | 500-100 | 5,8 |
| | | 100 - 1500 | 6,0 |

Tab. č. 1 Mechanické a fyzikální vlastnosti slinovaného karbidu křemíku

Jedna z jeho podstatných vlastností, která zabraňuje opotřebením, je zdůvodněna jeho vynikající chemickou stálostí. Na základě svého jednofázového, homogenního charakteru je imunní vůči selektivní korozi také na hranici zrn. Velice dobře se hodí pro zvládnutí problémů kluzného opotřebením. Tedy hodí pro díly, které jsou namáhány radiálně, např. pro kluzná ložiska ochranných pouzder hřídelí.

Obzvláště při aplikaci jako kluzná ložiska se otevřeli nové technické perspektivy. Mechanická a chemická odolnost slinovaného SiC umožňuje jeho umístění do kapaliny (médiu), která se má čerpat, tzn. k mazání ložiska dochází přímo čerpaným médiem. Tato skutečnost vedla kromě jiného k mimořádnému úspěchu kluzných ložisek, které byly mazány médiem, v hermeticky uzavřených čerpadlech. Teprve používání čistého slinovaného SiC vedlo k univerzální použitelnosti magnetických čerpadel v chemii. Čerpadla, která jsou opatřena kluznými ložisky ze slinovaného karbidu křemíku, se dnes úspěšně používají jako procesní čerpadla v chemických procesech, tedy v oblastech, kde se kladou vysoké nároky na korozivní a abrazivní odolnost vůči opotřebení. Největší část součástek ze slinovaného SiC je dnes jistě do oblasti těsnění kluzných kroužků a kluzných ložisek se silnými nároky na otěruvzdornost. Neměly by se opomenout ty oblasti použití, kde se obecně klade důraz na odolnost proti opotřebení. Např. korozivně a abrazivně namáhaná tělesa trysek a odtokových pouzder nebo precizní součástky pro armatury a dávkovací zařízení.

Vedle mnoha pozitivních vlastností slinovaného SiC však může výroba slinovací technikou s keramické vlastnosti tvrdého materiálu vést k problémům při výrobě součástek jejich integraci povětšinou kovových struktur. Při slinování dílů dochází v závislosti na způsobu ke smrštění, takže objem slinovaného tělesa činí asi 60% objemu zeleného tělesa před slinováním. Tento velký slinovací úbytek znamená, že se úzké rozměrové tolerance dají jen velmi těžko ovládat slinovací technikou. Toleranční rozmezí 1% jmenovité míry je typická hodnota, přesná zalícování se musí obvykle brousit. Následkem vysoké tvrdosti SiC je opracování broušením možné pouze diamantovými nástroji.

Zpracování

Tvrdość a křehkość materiálů způsobují jeho citlivost na úderý a tvorbu trhlin. Zásadně se musí při vytváření součástek zvolit návrh vhodný pro keramiku, který zamezuje obzvláště zvýšení napětí pomocí zářezů. Z nákladových důvodů by se mělo dalekosáhle obejít opracování ve slinovaném stavu. Platí zde základní pravidlo: funkční design s pokud možno nepatrným opracováním ve slinutém stavu. Tuto nutnost vyžaduje konstruktér. Musí se např. při mechanických spojích mezi kovovými a keramickými díly z SiC, které podléhají kolísání, respektovat velké rozdíly v koeficientech tepelné roztažnosti karbidu křemíku ($4 \cdot 10^{-6} / \text{K}$) a např.

oceli ($12 - 15 \cdot 10^{-6} / \text{K}$). Aby se úspěšně vyřešily konstrukční a aplikační otázky, rovněž s ohledem na hospodárnost, doporučuje se úzká spolupráce s výrobcí materiálu.



Obr. č.1 Slinovaný karbid křemíku SSiC Rocar S1

1.3.2. INFILTROVANÝ KARBID KŘEMÍKU SISiC [3]

Křemíkem infiltrovaný karbid křemíku (SiSiC) hraje důležitou roli ve vyspělé keramice. Vzhledem ke svému vysokému stupni tvrdosti a dobré tepelné vodivosti je vhodný pro celou řadu aplikací a kromě toho je jeho výroba lacinější než většina jiných neoxidických keramik. Pro získání dobrého materiálu je podstatný výběr optimální kombinace rozložení velikostí zrn, organických pojiv a parametrů vypalovacího procesu.

Vlastnosti

Materiál SiSiC je jednou z materiálových variant karbidu křemíku, které se používají pro vyspělou keramiku a aplikace pro vybavení pecí. SiSiC se neliší od slinovaného karbidu křemíku pouze svými vlastnostmi, je zde taky významný rozdíl ve výrobním procesu. Příznivé vlastnosti keramických komponent je činí speciálně vhodnými pro takové aplikace, kde je materiál vystaven izolovaným nebo

kombinovaným teplotním, korozivním, opotřebením způsobujícím a mechanickým zatížením, tj. kde kovové materiály jsou již za hranicemi své výkonnosti.

Výroba

Sloučenina se skládá hlavně ze zrn karbidu křemíku, uhlíku a organického pojivového systému. Po intenzivním míchání složek lze použít všech konvenčních metod pro tváření keramiky např. lití licí břečkou, injekční vstřikování. Míchání se provádí s organickými rozpouštědly jako je aceton nebo metanol. Žíháním zelených těles v neoxidační atmosféře při teplotách 1000 °C až 1200 °C se transformuje syntetická pryskyřice na velice jemný a homogenně dispergovaný grafit, který vytváří relativně silné pletivo/řetězec mezi částicemi karbidu křemíku. Žíhaná zelená tělesa jsou dosti pevná, aby snesla zelené obrábění.

Zpracování

Po vypalovacím cyklu musí být reakčně vázané a křemíkem infiltrované komponenty očištěny, obvykle pískováním, jelikož kapénky propuštěného křemíku ulpí na povrchu. V závislosti na zamýšlené aplikaci lze komponenty použít přímo bez dalšího opracování povrchu, jako v případě hořákových trysek, nebo se mohou podrobit konečné úpravě povrchu broušením/leštěním diamantovými nástroji, což je případ těsnících kroužků nebo kluzných ložisek.



Obr. č.2 SiSiC – jemnozrný Rocar SiF
SiG



Obr. č.3 SiSiC – hrubozrný Rocar SiG

2. OBRÁBĚNÍ [4]

2.1. ZÁKLADNÍ POJMY PROCESU OBRÁBĚNÍ

Obrábění – je technologický proces, kterým vytváříme povrchy určitých tvarů, rozměrů a jakosti oddělováním částic nebo částí materiálu pochody mechanickými, elektrickými, chemickými, popř. jejich kombinací. Oddělování částic nebo částí materiálu ve tvaru třísky mechanickými pochody břitem obráběcího nástroje označujeme někdy jako řezání.

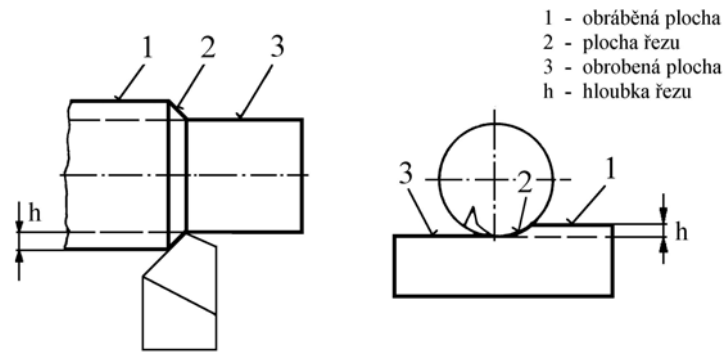
Obrábění je realizováno v soustavě obrábění SPID, kterou tvoří obráběcí nástroj (S), přípravek (P), nástroj (I) a obrobek (D).

Obráběcí nástroj – je aktivním prvkem soustavy obrábění, který svými vlastnostmi bezprostředně umožňuje proces obrábění. Pokud toto obrábění zúžíme na řezání, pak někdy hovoříme o řezném nástroji.

Břit nástroje – je klínovitá část nástroje vznikající po obrobku.

Obrobek – je obráběný nebo již obrobený předmět, součást nebo dílec. Část povrchu obrobku odstraňovaná obráběním se nazývá obráběná plocha. Obrobená plocha je pak plocha obrobku vzniklá obráběním. Povrch obrobku vznikající těsně za břitem nástroje a tvořící přechod mezi obráběnou a obrobenou plochou nazýváme plochou řezu, nebo přechodovou plochou.

Normální povrch – je tvar obrobeného povrchu obrobku bez mikronerovností a jiných úchylek.



Obr. č.4 Plochy na obrobku 1 – obráběná plocha
 2 – plocha řezu, přechodová plocha
 3 – obrobená plocha
 h – hloubka řezu

Hloubka řezu – je vzdálenost mezi obráběnou a obrobenou plochou měřenou kolmo na obrobenou plochu

Přídavek – je vrstva materiálu mezi obráběnou a obrobenou plochou obrobku. Část přídavku přikloněná k ploše řezu a odebíraná jedním břitem je nazývána odřezanou vrstvou, popř. řezem.

Tloušťka odřezávané vrstvy (řezu) **a** – je tloušťka vrstvy měřená kolmo k ploše řezu v rovině kolmé na vektor rychlosti řezného pohybu. Šířka odřezané vrstvy (řezu) **b** je šířka vrstvy měřená kolmo k tloušce řezu. Je závislá na technologické operaci a geometrických operaci a geometrických parametrech řezné části nástroje a společně s tloušťkou odřezané vrstvy určuje její průměr v rovině kolmé na vektor rychlosti řezného pohybu.

Třísky – je přetvořený materiál odřezané vrstvy, kterou břit nástroje odebírá z obrobku. I u třísky můžeme popsat tloušťku třísky **a1** a šířku třísky **b1**, které se však od tloušťky řezu **a** a šířky řezu **b** díky pěchování liší.

2.2. POHYBY A RYCHLOSTI PŘI OBRÁBĚNÍ

Řezný pohyb – je relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem uskutečňující řezání. Může být přímočarý, šroubový, cykloidní apod.

Hlavní pohyb – je složka řezného pohybu, která se shoduje s pohybem obráběcího stroje, který je odvozen od motoru s největším instalovaným příkonem. Je zpravidla rotační nebo přímočarý a koná jej buď nástroj nebo obrobek.

Posuvový pohyb – je pohyb nástroje nebo obrobku, který spolu s hlavním pohybem umožňuje postupné oddělování třísek. Zpravidla se koná ve směru kolmém na směr hlavního pohybu (soustružení, hoblování, vrtání), případně ve směru hlavního pohybu (frézování obvodem) a to buď plynule, nebo přerušovaně.

Pomocný pohyb – je pohyb kinematicky svázaný s hlavním pohybem umožňující vytvoření požadovaného obrobeného povrchu obrobku (na rozdíl od posuvového pohybu, jehož kinematická vazba vzhledem k hlavnímu pohybu může být volná a neovlivní nominální povrch obrobku). Je to např. rotační pohyb obrobku kinematicky svázaný s rotačním hlavním pohybem odvalovací frézy na výrobu čelních evolventních ozubených kol apod.

Vedlejší pohyby – jsou všechny ostatní relativní pohyby nástroje a obrobku kromě hlavního, posuvného a pomocného pohybu. Jedná se např. o přísuv, krokování nástroje, dělení obrobku o rozteč apod.

Řezná rychlost (v_c) – je dána rychlostí řezného pohybu. U většiny metod obrábění ji lze se zanedbatelnou chybou uvažovat jako rychlost hlavního pohybu (v_c, v). Udává se v $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ nebo $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a při rotačních pohybech se určuje ze vztahu $v = \pi \cdot D \cdot n$ [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$], kde D je průměr obrobku nebo nástroje v metrech a n otáčky obrobku nebo nástroje za minutu.

Rychlost posuvu (v_f) – je rychlost posuvového pohybu. Udává se různými způsoby:

- s_{\min} [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$] je relativní posuv nástroje vůči obrobku za jednu minute (frézování, NC stroje),
- s_{ot} [$\text{mm}\cdot\text{ot}^{-1}$] je relativní posuv nástroje vzhledem k obrobku za jednu otáčku nástroje (vrtání), nebo obrobku (soustružení, broušení mezi hroty),
- s_L [$\text{mm}/\text{pracovní zdvih}$] je relativní posuv nástroje vůči obrobku za jeden pracovní zdvih, resp. dvojzdvih (hoblování),
- s_z [mm/zub] je posuv, který relativně vykonává vícebřítý nástroj vzhledem k obrobku při úhlovém pootočení o jeden zub.

Úhel řezného pohybu (úhel výslednice řezné rychlosti) (η) je úhel mezi vektory rychlostí řezného a hlavního pohybu. Úhel posuvu (úhel posuvového pohybu) (φ) je úhel mezi vektorem posuvu a vektorem hlavního pohybu.

2.3. ZÁKLADNÍ ČÁSTI A KONSTRUKČNÍ PRVKY OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ

Řezná část nástroje – je část nebo části nástroje, které bezprostředně umožňují proces řezání. Zub je část řezné části nástroje, na které je umístěn jeden břit nebo množina několika vedle sebe bezprostředně navazujících břitů. Utvařečem (lamačem) třísky nazýváme konstrukční úpravu na řezné části nástroje umožňující požadované utváření (stáčení, lámání, drobení) odebírané třísky. Dělič třísky je konstrukční tvarová úprava na břitu nástroje umožňující požadované rozdělení šířky odřezané vrstvy.

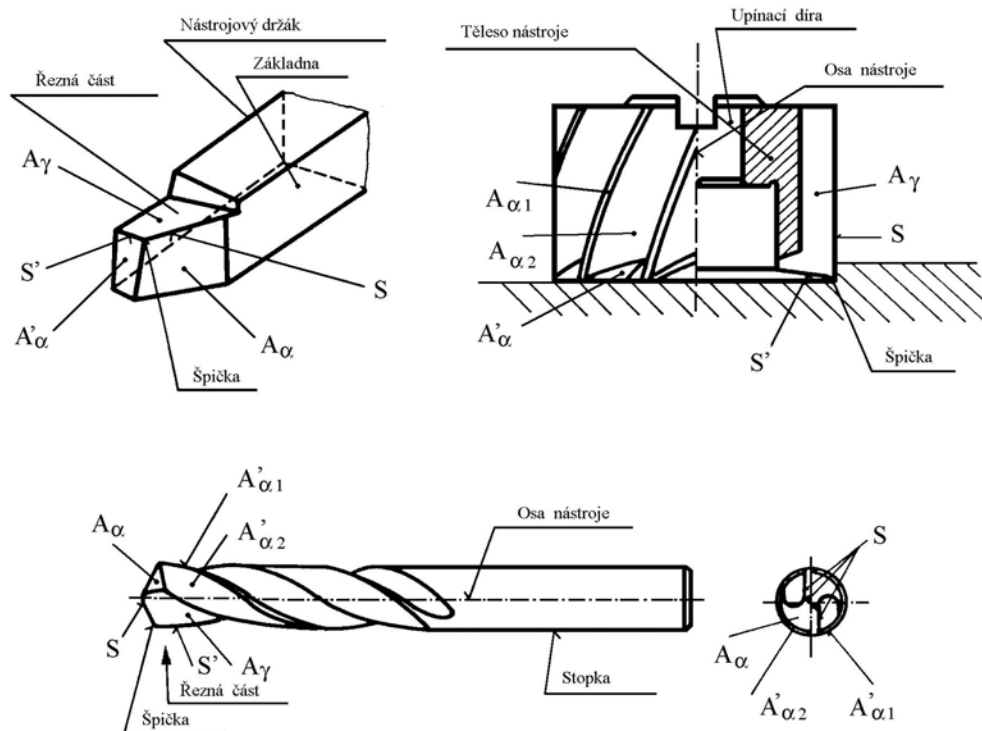
Řezná drážka – je konstrukční úprava řezné části nástroje nebo tělesa nástroje, která umožňuje utváření, skladování a odvod odřezaných třísek. U vícebřítých nástrojů se v odborné terminologii užívá místo termínu řezná drážka významově užšího termínu zubová mezera.

Upínací část nástroje – slouží k jeho upnutí, popřípadě ustředění. Nástrojový držák (stopka) slouží k upevnění, popř. ustředění vnějším povrchem. Upínací díra je upínací částí nástroje k jeho upnutí a ustředění vnitřním povrchem.

Tělo nástroje – je část nástroje tvořící přechod mezi řeznou a upínací částí. Kódovací část je část nástroje sloužící pro dodatečnou automatickou klasifikaci jeho parametrů (např. u NC strojů).

2.4 BŘIT NÁSTROJE

Každá plocha na povrchu břitu nástroje se označuje symbolem z písmene **A** a indexu tvořeného písmenem řecké abecedy, který určuje druh plochy, např. A_γ - čelo. Plochy přiřazené k vedlejšímu ostří se označují tak, že se k symbolu doplní čárka, např. A'_{α} - vedlejší hřbet. Jestliže je povrch břitu složen z několika protínajících se ploch, stanoví se označení postupně. Vychází se přitom od ostří a indexu druhu plochy břitu se doplní požadovaným číslem označujícím plochu, např. první hřbet $A_{\alpha 1}$, druhý hřbet $A_{\alpha 2}$ atd. Tyto plochy se mohou nazývat fazetkami.



Obr. č.5 Základní části nástrojů

Čelo (A_γ) – je plocha nebo více ploch břitu, po kterých odchází tříska.

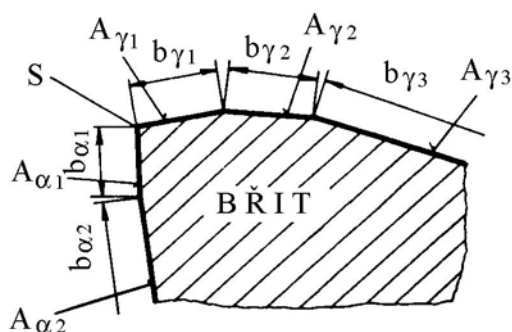
Hřbet – je plocha nebo více ploch, které jsou přikloněny k ploše řezu a k obrobené ploše. Část hřbetu přikloněná k přechodové ploše je hlavní hřbet (A_α), část hřbetu přikloněná k obrobené ploše je vedlejší hřbet ($A_{\alpha'}$).

Teoretické ostří – je průsečnice čela a hřbetu. Ostří (skutečné) je přechodovou plochou mezi čelem a hřbetem. Hlavní ostří (S) je přechodová plocha mezi čelem A_γ a hlavním hřbetem A_α , resp. průsečnice čela a hlavního hřbetu. Vedlejší ostří (S') je přechodová plocha mezi čelem A_γ a vedlejším hřbetem $A_{\alpha'}$, resp. průsečnice čela a vedlejšího hřbetu.

Špička – je část ostří tvořící přechod mezi hlavním a vedlejším ostřím. Může být zaoblená, sražená apod.

Utvářející ostří – je část ostří nebo ostří stýkající se při obrábění s nominálním povrchem obrobku.

Neutvářející ostří – je pak část ostří nebo ostří, které se při obrábění nestýkají s nominálním povrchem obrobku.



Obr. č.6 Břit nástroje

3. SOUSTRUŽENÍ [5]

3.1 PRACOVNÍ POHYBY NÁSTROJE A OBROBKU

Nástroj se posouvá buď ve směru osy – podélný posuv (dráha pracovního pohybu je šroubovice), nebo ve směru kolmém na osu obrobku – příčný posuv (dráha pracovního pohybu je spirála). Při obrábění obecných tvarových ploch je dráhou pracovního pohybu všeobecná křivka. Podle toho jestli obrábíme na součásti plochy vnější a nebo vnitřní, hovoří se o soustružení vnějším a nebo vnitřním. Jednotlivé druhy vnějšího soustružení jsou následující:

- podélné soustružení pro výrobu válcových ploch,
- čelní soustružení pro výrobu čelních rovinných ploch,
- soustružení kuželových ploch,
- soustružení tvarových ploch,
- soustružení závitových ploch.

Skutečná řezná rychlost je při soustružení rychlost hlavního řezného pohybu. v praxi se označuje jako řezná rychlost obvodová obrobku v místě soustružení a vypočítá se ze vztahu:

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

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

D je průměr obrobku v místě soustružení $[\text{mm}]$,

n je počet otáček pracovního vřetena $[\text{min}^{-1}]$.

Při vnějším soustružení tedy existují tři proměnné, a to řezná rychlost, průměr obrobku a počet otáček.

Velikost optimální hodnoty řezné rychlosti závisí zejména na mechanických vlastnostech materiálu obrobku, tj. na jeho obrobitelnosti, na druhu materiálu nástroje, tj. na jeho řezivosti, na velikosti průřezu třísky, tj. na velikosti posuvu a hloubky odebráme vrstvy materiálu a na zvolené trvanlivosti nástroje.

Velikost posuvu při soustružení udává délka dráhy nástroje v mm za jednu otáčku obrobku (posuv podélný či příčný). Protože se při soustružení nástroj posune

při jedné otáčce o hodnotu posuvu, je možné stanovit rychlost posuvu v závislosti na otáčkách vřetena:

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

kde f je posuv na otáčku $[\text{mm} \cdot \text{ot}^{-1}]$,

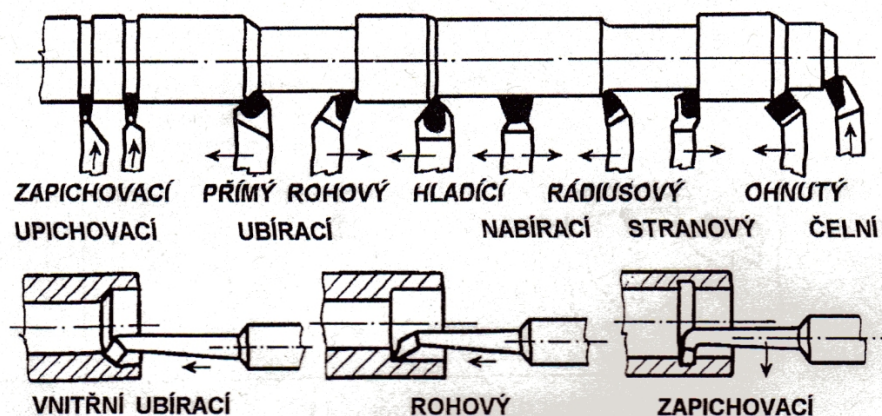
n je počet otáček vřetena $[\text{min}^{-1}]$.

3.2 DRUHY SOUSTRUŽNICKÝCH NÁSTROJŮ

Soustružnické nástroje mají jednoduché tvary, jsou laciné a nevyžadují náročnou údržbu. Charakteristickými prvky soustružnických nástrojů jsou:

- tvar řezného klínu,
- materiál řezné části,
- průřez tělesa nástroje.

Soustružnické nástroje pro běžné práce jsou normalizované.



Obr. č.7 Druhy soustružnických nástrojů.

Podle směru posuvu při soustružení lze rozlišovat nože pravé a levé. Pravé pracují zprava do leva směrem k vřetení a levé obráceně.

Podle tvaru řezného klínu a podle jeho polohy k tělesu nože rozlišujeme nože přímé, vyhnuté a osazené.

3.3 ROZDĚLENÍ SOUSTRUHŮ

1. Hrotové soustruhy (universální, jednoduché, produkční, zvláštní)
2. Čelní (lící) soustruhy (pro obrábění setrvačnicků, řemenic)
3. Revolverové soustruhy (pro menší a střední série více nástroji)
4. Poloautomatické soustruhy (hrotové (kopírovací a několikanožové) a sklíčidlové)
5. Automatické soustruhy (křivkové, bezkřivkové s narážkami)
6. Svislé soustruhy – jedno nebo dvojstojanové
7. Speciální soustruhy – pro obrábění klik hřídelí, podsoustružení zubů fréz apod.

4.3 VÝKON PŘI SOUSTRUŽENÍ, PŘESNOST A DRSNOST POVRCHU

S volbou řezných podmínek souvisí přesnost a drsnost povrchu obrobené plochy.

| Materiál | v_c [m * min ⁻¹] | a_p [mm] | f [mm * ot ⁻¹] |
|-----------------------|--------------------------------|------------|------------------------------|
| RO | 10 ÷ 60 | 1 ÷ 8 | 0.2 ÷ 1.5 |
| SK | 60 ÷ 400 | 1 ÷ 16 | 0.2 ÷ 1.6 |
| SK povlakovaný | 90 ÷ 500 | 1 ÷ 16 | 0.2 ÷ 1.6 |
| ŘK | 200 ÷ 800 | 1 ÷ 5 | 0.1 ÷ 0.5 |

Tab. č. 2 Řezné podmínky pro hrubování

| Materiál | $v_c [m * min^{-1}]$ | $a_p [mm]$ | $f [mm * ot^{-1}]$ |
|-----------------|----------------------|------------|--------------------|
| RO | 30÷80 | 0.1÷1 | 0.01÷0.1 |
| SK | 200÷500 | 0.1÷2 | 0.01÷0.2 |
| ŘK | 300÷800 | 0.1÷1 | 0.01÷0.2 |

Tab. č. 3 Řezné podmínky pro dokončování

| | IT | $R_a [\mu m]$ |
|----------------------|-----------|---------------|
| Nástroj s diamantem | 5 až 6 | 0.2 až 0.8 |
| Nástroj s SK | 7 až 8 | 0.4 až 1.6 |
| Při práci na čisto | 9 až 11 | 1.6 až 12.5 |
| Při hrubování | 11 až 14 | 1.6 až 12.5 |
| Revolvery a automaty | 7 až 9 | 1.6 až 6.3 |

Tab. č.4 Přesnost a drsnost povrchu při soustružení

Kromě zvolených řezných podmínek závisí přesnost i drsnost povrchu obrobené plochy na:

- tuhosti technologického systému – nástroj – obrobek,
- geometrii břítu,
- jakosti ostří,
- řezném prostředí.

Hospodárný výkon soustružení je objem odebraného materiálu za jednotku času, při dodržení optimální trvanlivosti, závisí na stupni řezivosti použitého nástroje, na mechanických vlastnostech materiálu obrobku a na parametrech použitého soustruhu.

$$U_h = v_{Tn} * f * a_p \quad [cm^3 * min^{-1}]$$

kde v_{Tn} je řezná rychlost odpovídající určité trvanlivosti $[m * min^{-1}]$,

f je posuv $[\text{mm} * \text{ot}^{-1}]$,

a_p je hloubka řezu $[\text{mm}]$.

Řezná kapalina může obecně zvětšit hospodárný úběr o 30 až 100%. Při soustružení se používá 5 až 8% emulze olejů. Na automatech se používají z konstrukčních důvodů řezné oleje. Při řezání závitů se rovněž používají řezné oleje, poněvadž se pracuje při menších řezných rychlostech a je požadována kvalitní obrobená plocha.

4. ŘEZNÝ MATERIÁL [6]

Firma CeramTec jak již bylo uvedeno výše, se zabývá obráběním keramického materiálu. Na tento tvrdý materiál je potřeba zvolit vhodný řezný materiál, kterým je právě polykrystalický diamant.

4.1 POLYKRYSALICKÝ DIAMANT

Nejtvrdším známým materiálem je přírodní monokrystalický diamant, jehož tvrdosti téměř dosahuje syntetický polykrystalický diamant (PKD). Jeho mimořádná tvrdost umožňuje odolávat vysokému abrazivnímu opotřebení, například při orovnávaní brousicích kotoučů. Jemné krystaly diamantu jsou spojovány slinováním za vysokých teplot a tlaků. Poloha krystalů je nahodilá a v žádném směru nevytváří místa, která by mohla být zdrojem lomu. Z tohoto důvodu můžeme tvrdost a odolnost proti opotřebení působit stejnou měrou ve všech směrech.

Malé břity z PKD jsou pevně uchyceny na vyměnitelné břitové destičce ze slinutého karbidu, která jim zaručuje pevnost a odolnost proti tepelným a rázovým šokům. Trvanlivost je mnohonásobně vyšší – až stonásobná – než u slinutých karbidů.

Omezení pro použití zdánlivě dokonalého řezného materiálu lze shrnout do těchto bodů:

- Teploty v oblasti řezání nesmí překročit 600 °C.
- Pro svoji afinitu není PKD použitelný k obrábění železných materiálů.
- PKD není vhodný pro obrábění houževnatých materiálů s vysokou pevností.

V praxi tato omezení vylučují použití PKD pro většinu operací obrábění kovů. Přes omezenou možnost použití je PKD – je-li správně použit – vynikajícím řezným materiálem, zejména pro obrábění abrazivních neželezných a nekovových materiálů v těch případech, kde se u obrobku vyžaduje přesnost rozměrů a vysoká jakost obrobeného povrchu.

Zavedení relativně nového řezného materiálu PKD spadá do začátku 70. let. Preferovanými oblastmi použití v současné době jsou soustružení a frézování abrazivních slitin hliníku a křemíku, zvláště jedná-li se o dosažení vysoké jakosti obrobeného povrchu a o přesnost rozměrů. PKD je v praxi pro tyto účely – společně s nepovlakovaným slinutým karbidem – jednou ze dvou možných alternativ. Ostré břity a pozitivní úhly břitů zde hrají důležitou roli. PKD se rovněž používá pro obrábění jiných abrazivních nekovových materiálů, jako jsou například kompozitní uhlík, slinutý karbid, předsunovaná keramika a předsunovaný slinutý karbid, ale také pro obrábění kovů, jako jsou měď, kluzné ložiskové materiály, bronzy, mosaz, slitiny magnézia, slitiny zinku a olovo.

Materiály se sklonem k tvoření nárůstku nejsou pro břity PKD (díky jejich vysoké chemické stabilitě) obvykle žádným problémem. PKD břity zabraňují vzniku otřepů na obrobku a mimo to se vyznačují mimořádně vysokou trvanlivostí.

S ohledem na vysokou křehkost vyžaduje PKD při používání stabilní podmínky, tuhé nástroje a stroje a vysoké řezné rychlosti. Chladicí kapaliny lze obvykle používat. Mezi typické operace patří obrábění na čisto a jemné obrábění načisto při soustružení a vrtání. Pro čelní frézování lze použít vyměnitelné břitové destičky osazené PKD stejným způsobem, jako běžné nebo speciální destičky pro jemné obrábění, vsazená do zvláštních kazet. Důležité jsou malé posuvy, malé řezné rychlosti a vyloučení přerušovaných řezů.

Při soustružení by se mělo vždy dbát na použití držáků s co největším průřezem a na dodržení minimálního vyložení. Při frézování musí být axiální a radiální házení co nejmenší.

| Materiál | Rychlost | Hloubka řezu | Posuv | Dopor. rádius |
|--|-----------------|---------------------|--------------|----------------------|
| Soustružení – plynulý řez | | | | |
| Al, Cu a jejich slitiny | 300 – 1000 | do 10 | 0,05-0,5 | 0,2 – 0,8 |
| Tvrzené um. hmoty zpev. vlákny | 100 – 600 | do 5 | 0,05-0,5 | 0,8 – 1,2 |
| Keramické hmoty | 80 – 300 | do 2 | do 0,2 | 0,4 – 1,2 |
| Titanové slitiny | 50 – 100 | do 2 | 0,05-0,1 | 0,8 – 1,2 |
| Přírodní brusný kámen | 50 – 100 | do 2 | 0,1 – 0,3 | - |
| Slinutý karbid | 10 – 30 | do 1 | 0,1 – 0,2 | - |
| Frézování – přerušovaný řez | | | | |
| Al a Al slitiny | 500 – 3000 | do 5 | 0,1 – 0,5 | 0,4 – 1,2 |
| Cu a Cu slitiny | 200 – 1000 | do 2 | 0,1 – 0,5 | 0,4 – 1,2 |
| Dřevěné materiály a zpevněné umělé hmoty | 200 - 3000 | 1 - 15 | 0,4 – 1,5 | 0,4 – 1,2 |

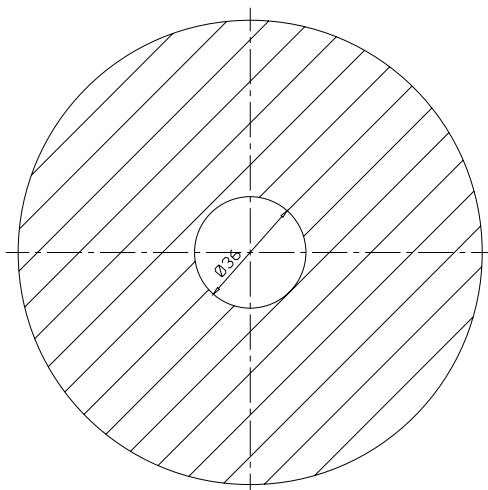
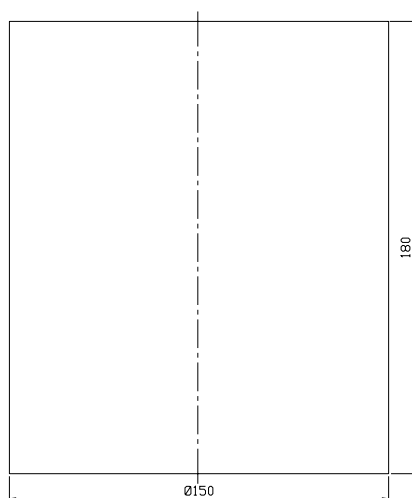
Tab. č.5 Doporučené řezné podmínky pro nástroje a VBD osazené PKD

5. NÁVRH TECHNOLOGIE

Cílem práce bylo zjištění vlivu nastavení posuvu vůči otáčkám. Jak se změnila kvalita povrchu a zároveň jak se toto nastavení projevilo na životnost nástroje.

5.1 OBROBEK

Jako obrobek byl použit válec o průměru 150 mm a dlouhého 180 mm vyrobeného z materiálu SSiC.



Obr. č.8 Rozměry obrobku.

5.2 SOUSTRUH

Měření se prováděla na soustruhu typu SUI 50. Je určen pro všechny soustružnické práce s vysokou produktivitou při snadné ovladatelnosti.



Obr. č.9 Soustruh SUI 50.

Technické parametry:

Oběžný průměr nad ložem 500mm,
oběžný průměr nad suportem 320mm,
výkon hlavního motoru 16kW,
rozměry stroje (š x d x v) 1280x3155x1450mm,
hmotnost stroje 2120kg.

5.3 VYMĚNITELNÁ BŘITOVÁ DESTIČKA A NŮŽ

Byly použity dva typy s pájenou břitovou destičkou PKD. Pájení je pro svoji jednoduchost a spolehlivost častý způsob připevňování břitu k tělesu nástroje. Používá se především pro upevňování destiček ze slinutého karbidu, popřípadě jiných materiálů, kterým nevadí poměrně vysoká teplota pájení. Pro hromadnou výrobu soustružnických nožů jsou destičky ze slinutého karbidu určené k pájení normalizovány ČSN 22 0810 až 22 0823.

Výhody pájených nástrojů:

- úspora řezného materiálu,
- pevný a stabilní spoj,
- možnost renovace,
- zvládnutá technologie výroby.

Nevýhody pájených nástrojů:

- možnost vzniku pnutí následujících trhlin,
- možnost teplotního ovlivnění řezného i konstrukčního materiálu,
- možnost vzniku teplotních deformací.

První použitá destička typu CER PRAM – TYP 5 – PRAVÁ CCMX 12 04 04

Kdy kód CCMX 12 04 04 znamená

- C – tvar destičky,
- C – úhel hřbetu,
- M – tolerance,
- X – provedení destičky,
- 12 – délka řezné hrany,
- 04 – tloušťka,
- 04 – radius špičky.

Podrobný výkres této destičky je v příloze č. 1.

Druhý použitý nůž typu CER PRAM – TYP 2

Tento nůž je vyroben z tvrdokovu s pájenou destičkou z PKD. Mimo to se i upravují úhly a to proto, aby nůž vykazoval lepší vlastnosti při obrábění zkoksované keramiky. Pájení i broušení probíhá přímo ve firmě CeramTec.

Podrobný výkres tohoto nože je v příloze č. 2.



Obr. č.10 nůž CER PRAM – typ 2. Vlevo opotřebený vpravo neopotřebený.

6. DISKUZE PROVEDENÝCH ZKOUŠEK

Pro obráběcí testy byly pro řezné nástroje použity materiály z polykrystalického diamantu (PKD). Obrobek byl zhotoven ze slinovaného karbidu křemíku SSiC jedná se tedy o jemnozrný, světlý materiál s velikostí zrna cca 1 μ m s obchodním označením Rocar S1. Obrobek byl upnut do sklíčidla na soustruhu SUI 50. Tyto operace byly stejné jak v měření závislosti posuvu na kvalitě, tak i v měření řezné rychlosti.

6.1 ZKOUŠKA ZÁVISLOSTI POSUVU NA KVALITĚ POVRCHU

Pro měření závislosti posuvu na kvalitě materiálu jsme použili destičku typu CER PRAM – TYP 5 – PRAVÁ CCMX 12 04 04. Měření bylo provedeno šestkrát a to tak, že byly zvoleny konstantní otáčky na hodnotu 355. A to podle tabulky č.6. Tato tabulka byla stanovena firmou CeramTec Czech republic s.r.o. podle dlouhodobých zkušeností. Hloubka řezu byla 1,6 mm.

| Průměr kluzného kroužku (mm) | Otáčky sklíčidla (ot/min) |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| cca do 100 | cca 450 |
| cca 100 – 150 | cca 350 |
| cca 150 – 200 | cca 250 |
| cca 200 – 300 | cca 200 |
| cca 300 – 400 | cca 150 |
| cca 400 – 500 | cca 100 |
| cca 500 - 650 | cca 60 |

Tab. č.6 Nastavení počtu otáček při soustružení.

Další tabulka nám pak udává maximální posuv u soustružení.

| | |
|--------------------|----------------|
| Posuv | SSiC |
| Soustružení | max. 0,5 mm/ot |

Tab. č.7 Nastavení mm/ot.

Jelikož soustruh SUI 50 má maximální nastavení otáček 0,3, volili jsme posuv v hodnotách od 0,05 do 0,281.

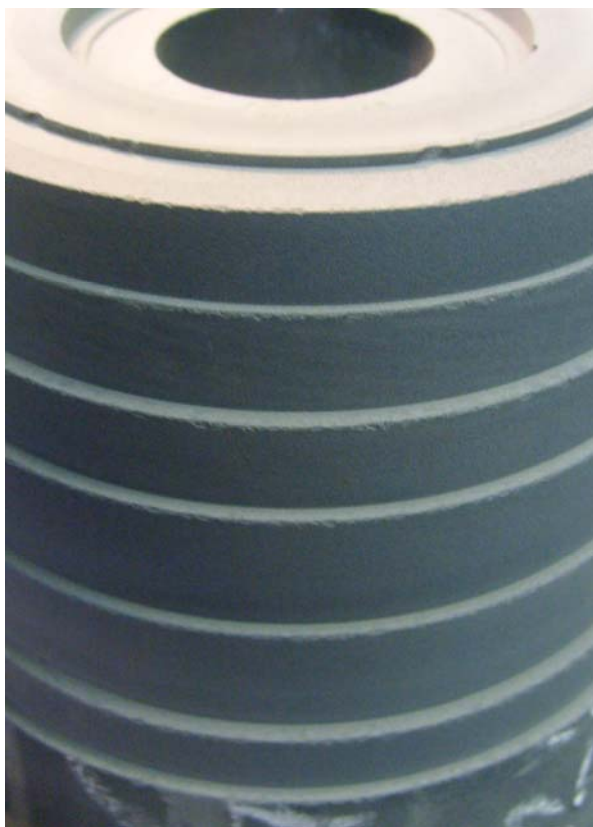
Zvolené hodnoty:

| | | | | | | |
|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| č. měření | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| f [ot/mm] | 0,05 | 0,11 | 0,181 | 0,22 | 0,245 | 0,281 |

Tab. č.8 Zvolené hodnoty závislosti posuvu na kvalitě.

Výpočet skutečné řezné rychlosti ze vztahu $v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$

$$v_c = 167,2 \text{ [m * min}^{-1}\text{]}$$



Obr. č.11 Obrobek po zkoušce závislosti posuvu na kvalitě.

Na obrobku směrem od spodu nahoru jsou provedeny jednotlivé zkoušky, přičemž jsou seřazeny od nejnižších (úplně naspodu obrobku) po nejvyšší posuv.

U první a druhé zkoušky jsme při hodnotě 0,05 a 0,11 dosáhli přímo dokonalých výsledků, co se týče kvality povrchu. Povrch byl bez trhlin a jakéhokoli porušení, stejně tak i hrana. Tříška byla odštěpována jako prach.

Třetí a čtvrtá zkouška při hodnotách 0,181 a 0,22 již došlo k mírnému porušení povrchu a tvorbě nepatrných trhlin pozorovatelné lupou na povrchu. Na hraně se také projevila vyšší rychlost a to odštěpením materiálu. Tříška odcházela o velikosti cca 0,5 mm.

Poslední dvě zkoušky zaznamenaly již poměrně značné porušení. Trhliny byly rozeznatelné již pouhým okem. Odcházející tříška byla o velikosti cca 1 mm.

6.1.1 EKONOMICÉ VYHODNOCENÍ ZÁVISLOSTI POSUVU NA KVALITĚ POVRCHU

Z provedených zkoušek je tedy patrné, že nejideálnějších hodnot jsme dosáhly v prvním a druhém měření tedy 0,05 a 0,11.

Z ekonomického hlediska je tedy vhodnější hodnota 0,11 a to proto, že při této hodnotě dochází k menšímu opotřebení břitu nástroje a snižuje tak i časovou náročnost. Tedy v porovnání námi určených hodnot a tabulky č.5 dostáváme číslo skoro o jednu polovinu menší, to může být způsobeno právě speciální charakteristikou keramického materiálu SSiC.

6.2 ZKOUŠKY ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA KVALITU POVRCHU

Pro zkoušky řezné rychlosti na kvalitu materiálu jsme použili nůž typu CER PRAM – TYP 2. Zkoušky byly provedeny celkem sedm krát. V těchto měřeních jsme zvolili konstantní posuv, který byl 0,09 ot/mm. Hloubka řezu byla stanovena na hodnotu 1,6 mm.

Zvolené otáčky

| č. měření | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| n | 50 | 140 | 280 | 370 | 480 | 580 | 720 |

Tab. č.9 Zvolené hodnoty v závislosti řezné rychlosti na kvalitu materiálu.

Skutečná řezná rychlost

| č. měření | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $v_c [m * min^{-1}]$ | 23,55 | 65,94 | 131,88 | 174,27 | 226,08 | 273,18 | 339,04 |

Tab. č.10 Skutečná řezná rychlost.



Obr. č.12 Zkouška řezné rychlosti na kvalitu materiálu.

V první zkoušce jsme zvolili otáčky na hodnotu 50 ot. Materiál povrchu při této rychlosti vykazoval značné porušení. Na povrchu byly viditelné trhliny a na hraně se značně materiál odlamoval. Více obrázek č. 12. Tříška odcházela v šupinovitém tvaru o velikosti 1,5 mm.



Obr. č.13 Zkouška řezné rychlosti na kvalitě materiálu.

V druhém pokusu jsme nastavili otáčky na 140. Na povrchu byly opět patrné trhlinky ovšem ne v tak masitém výskytu jako u nastavení 50 otáček při konstantním posuvu 0,09 ot/mm. To samé se projevilo i na hraně obrobku. Odcházející tříska dosahovala velikosti zhruba jednoho milimetru. Viz. obrázek č. 13.



Obr. č.14 3+4+5 Zkouška řezné rychlosti na kvalitu materiálu.



Obr. č.15 Hrany zkoušek 3+4+5 při měření řezné rychlosti na kvalitu materiálu.

Zkouška 3, 4, 5 vykazovala velice podobnou, až přímo totožnou, kvalitu povrchu tak i vlastnosti hran byly stejné. Neobjevovali se zde trhliny ani žádné porušení povrchu. Otáčky byly v rozumných mezích. Tříska odcházela v podobě prášku.



Obr. č.16 Hrany 6+7 zkoušek při měření řezné rychlosti na kvalitu materiálu.



Obr. č.17 Zkouška řezné rychlosti na kvalitě materiálu 6+7.

V těchto dvou zkouškách byly nastaveny opravdu extrémní otáčky, zejména pak zkouška č. 7. Zde již hrozilo uvolnění obrobku ze sklíčidla. Ovšem i při těchto otáčkách byl výsledný povrch bez trhlin a porušení. Tříska odcházela jako jemný prášek.

6.2.1 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY ŘEZNÉ RYCHLOSTI NA KVALITU POVRCHU

Ze všech sedmi zkoušek nejlépe vyšla zkouška č. 4, tedy 370 otáček. Toto nastavení je tedy podle našich provedených zkoušek, nejvhodnější pro konstantní posuv 0,09 ot/mm. Potvrdilo se tak, i podle již naší předešlé zkoušky závislosti posuvu na kvalitě, že vhodnými otáčkami jsou hodnoty okolo 350. A to jak již z ekonomického pohledu, tak i z pohledu kvality povrchu.

7. ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval vlivem parametrů obrábění na vznik trhlin ve zkoksovaném keramickém materiálu.

Hlavním úkolem bylo ověření závislosti posuvu na kvalitě při konstantních otáčkách 355. A také zkouška řezné rychlosti na kvalitě povrchu materiálu, při konstantním posuvu 0,09 ot/mm. Zkoušky se prováděly na soustruhu typu SUI 50 a jako materiál obrobku byl zvolen slinovaný karbid křemíku SSiC. Několika měřeními a porovnání bylo zjištěno, že ideálními hodnotami pro závislosti posuvu na kvalitu povrchu bude posuv okolo hodnoty 0,11 ot/mm. Zkoušky řezné rychlosti nám poukázali, že nejideálnějšími otáčkami při konstantním posuvu 0,09 ot/mm bude 370 s přihlédnutím i na ekonomickou stránku.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 CER PRAM – TYP 5 – PRAVÁ CCMX 12 04 04

Příloha č. 2 CER PRAM – TYP 2

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] www.ceramtec.cz

[2] Knoch, Lange, Kempten. *VDI Blindungswerk díly u neoxidické keramiky odolávající opotřebení a korozi.*

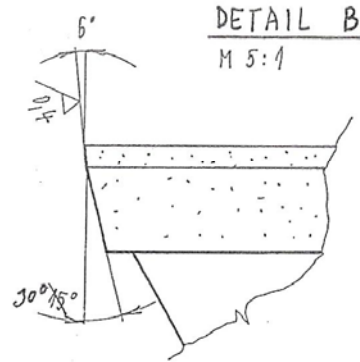
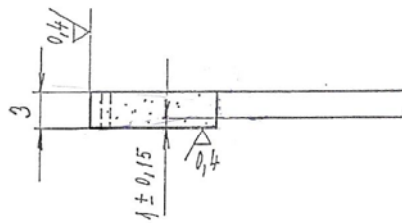
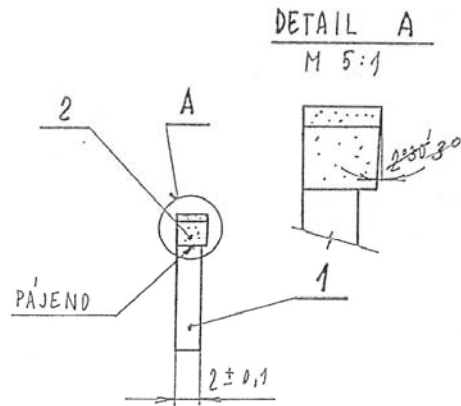
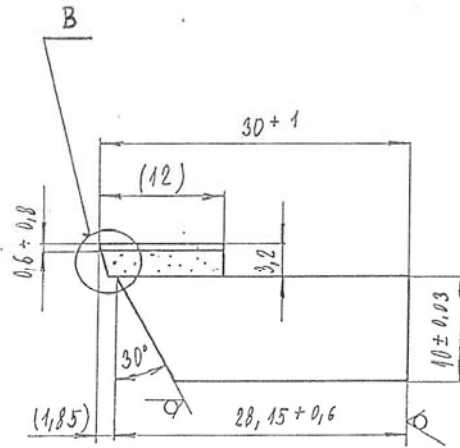
[3] A. Kerber, M. Kara, K-L. Eckert. *Příprava a vlastnosti těles z karbidu křemíku infiltrovaných křemíkem.*


[4] Ivan Mrkvica. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů I. část.* Ostrava, VŠB – TUO, 2008, ISBN 978-80-248-1053.

[5] Oldřich Bilík. *Obrábění I 1. díl.* Ostrava, VŠB – TUO, 2001, ISBN 80-7078-811-9.

[6] Přeložil Miroslav Kubela. *Příručka obrábění.* Praha 2, fa Sandvik CZ, 1997, ISBN 91-97 22 99-4-6

0,8 / (0,4) / (0,1)



| | | | | | | | | |
|---|---|------------|------------------|---|--------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 2 | | 1 | PLATEK | 12 x 3 x 3 | PKD - 50 | | | |
| 1 | 205 384 825 072 | 1 | TĚLESO | 28,15 x 10 x 2 | ČJ 11 - 84 | | | |
| poř.č. | Číslo výkresu | Kusů | Název | Rozměry materiálu čís. rozměrové normy | Materiál | Třída od- pedu | Čistá váha 1 ks v kg | Poznámka |
| poř.č. | Čís. výkr. sest. | poř.č. | Čís. výkr. sest. | poř.č. | Čís. výkr. sest. | poř.č. | Čís. výkr. sest. | Ček. čistá váha v kg |
| Měřítka | Kreslil <i>Prada</i> | Norm. ref. | | | | | | d |
| 2:1 | Přezkoušel | Vyr. ref. | | | | | | c |
| 5:1 | Schválil | Datum | 15. 8. 1996 | | | | | b |
| | | Typ | CER PRAM - TYP 2 | | | | | a |
|  | PRAMET akciová společnost ŠUMPERK | Název | OV NUZ | Vnější pravý | Starý výkres | Nový výkres | | |
| | | | | | 206 952 285 010 50 | | | |