

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Školní rok: 1991 - 92

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Tomáše U r b á n k a

obor (23-07-8) strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Obrábění oceli břitovými destičkami
z nitridu křemíku

Zásady pro vypracování:

1. Možnosti a zvláštnosti využití řezné keramiky se zaměřením na neoxidickou keramiku
2. Porovnání řezivosti nitridu křemíku na litině a oceli při nízkých a vysokých teplotách řezání
3. Vliv ochranné atmosféry na řezivost nitridu křemíku při obrábění oceli - metalurgická úvaha
4. Rozbor výsledků, doporučení pro DIAS a.s.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ostřední knihovna
STUDENTSKÁ 6
702 17 LIBEREC

KOM/OM

V 102/923

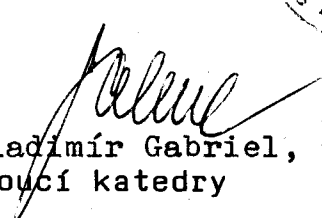
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60 stran
Seznam odborné literatury:

Lang, T. : Řezná keramika, Nové Zámky 1987, ISO 3685
Materiály fy DIAS a.s.

Vedoucí diplomové práce: Doc.Ing.Vladimír Gabriel, CSc.
Konzultant: Ing.Vladimír Šída, CSc.,DIAS a.s.

Zadání diplomové práce: 31.10.1991
Termín odevzdání diplomové práce: 29. 5.1992




Doc.Ing.Vladimír Gabriel, CSc.
Vedoucí katedry


Prof.Ing.Jaroslav Exner, CSc.
Děkan

V Liberci

dne 31.10. 1991

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor: strojírenská technologie

zaměření: obrábění a montáž

**Obrábění oceli břitovými
destičkami z nitridu křemíku**

KOM - OM - 788

Tomáš Urbánek

Vedoucí práce: Doc. Ing. Vladimír Gabriel, CSc.

Konzultant: Ing. Vladimír Šída, CSc., DIAS a.s.

Počet stran: 71

Počet příloh a tabulek: 5

Počet obrázků: 17



Anotace

Označení DP: 788

Řešitel: Tomáš Urbánek

Obrábění oceli břitovými destičkami z nitridu křemíku

Úvodní část této práce se zabývá teoretickým zpracováním a rozdělením řezné keramiky. Stručně jsou zde popsány druhy československé řezné keramiky. V dalším je pak již zaměřena na neoxidovou keramiku (Si_3N_4 , PKD, PKBN), technologii výroby a mechanicko-fyzikální vlastnosti v porovnání s ostatními druhy řezné keramiky.

Druhá část je zaměřena na druhy a příčiny opotřebení nástrojů z těchto řezných materiálů se zaměřením na opotřebení nástrojů z neoxidové keramiky (Si_3N_4). Jsou zde uvedena základní pravidla pro obrábění s řeznou keramikou (technika záběru, optimální řezné podmínky) a teoretická úvaha o příčinách předčasného opotřebení plátek ze siliciumnitridu při obrábění oceli, včetně náznaku předpokládaného provedení experimentu.

V závěrečné části je popsán postup realizovaného experimentu testování řezných destiček z řezné keramiky, jak neoxidové tak i oxidové vystužené whiskery SiC , seznam naměřených hodnot, měření teploty řezu, T-v diagramy, závěr a doporučení pro a.s. DIAS.

Desetinné třídění:

Klíčová slova: řezná keramika - opotřebení
zkouška trvanlivosti - dlouhodobá

Zpracovatel: VŠST Liberec - KOM

Dokončeno: 1992

Archivní označení:

Počet stran: 71

Počet příloh: 3

Počet obrázků: 17

Počet tabulek: 2

Počet diagramů: 0

Místopřísazné prohlášení

Místopřísazně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci: 27.5.1992

Podpis: *Tomáš Urbánek*

Obsah

1 Seznámení se a vymezení pojmu keramika, řezná keramika	8
1.1 Rozdělení keramických materiálů z hlediska jejich složení	9
1.2 Neoxidová keramika	15
1.2.1 PKBN - popis, výroba	16
1.2.2 PKD - popis, výroba	19
1.2.3 Nitrid křemíku - Si_3N_4	22
1.2.3.1 Historie vzniku nitridu křemíku	22
1.2.3.2 Postup výroby Si_3N_4	23
1.2.3.3 Popis vlastností, fyzikálně-mechanických vlastností, porovnání s jinými řeznými materiály	28
1.2.3.4 Oblasti použití Si_3N_4	36
1.2.3.5 Použití Si_3N_4 na konstrukční účely	38
2 Opotřebení nástrojů z řezné keramiky	38
2.1 Fyzikálně-mechanické příčiny opotřebení	38
2.2 Možnosti předcházení předčasnému opotřebení	43
2.2.1 Osvědčená geometrie, druhy destiček, upínací systémy	43
2.2.2 Osvědčené řezné podmínky	48
2.2.3 Zásady pro obrábění s nástroji z řezné keramiky	51
2.3 Problém předčasného opotřebení nástrojů z Si_3N_4	53
2.3.1 Náznak předpokládaných východisek	58
3 Provedení experimentu	59
3.1 Souhrnná informace o provedení experimentu	59
3.2 Popis experimentu	59
3.2.1 Popis stroje	59
3.2.2 Použitý zkušební materiál	59
3.2.3 Použité řezné podmínky	60
3.2.4 Popis měření teploty	60
3.2.4.1 Popis měřicího zařízení - princip	61
3.2.4.2 Naměřené hodnoty	62
3.3 Souhrn naměřených hodnot opotřebení a trvanlivosti	65
3.4 Vyhodnocení naměřených dat	65
4 Zhodnocení získaných výsledků	67
4.1 Doporučení pro DIAS a.s.	70

Použitá literatura
Seznam příloh

Použité značky, symboly a zkratky

a	tloušťka třísky (mm)
b_f	šířka fazetky (mm)
b	šířka třísky (mm)
C_T, C_V	konstanty rovnice trvanlivosti a řezné rychlosti
d	střední velikost zrn (μm)
E	modul pružnosti (GPa)
F	řezná síla (N)
h	hloubka řezu (mm)
K_{ic}	lomová houževnatost ($\text{MPa} \times \text{m}^{-1/2}$)
m	směrnice přímky (exponent řezné rychlosti)
p	měrná řezná síla (MPa)
R_{mo}	pevnost v ohybu (MPa)
R_m	pevnost v tahu (MPa)
R_1	parametr tepl. šoku ($^{\circ}\text{C}$)
r_E	poloměr špičky (mm)
S	posuv nástroje na otáčku (mm)
S	průřez třísky (mm^2)
T	trvanlivost (min)
V, V_c	obvodová rychlost obrobku, řezná rychlost (m/min)
α	úhel hřbetu ($^{\circ}$)
α_1	součinitel tepl. roztažnosti ($10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)
β	úhel břitu ($^{\circ}$)
γ_f	úhel čela ($^{\circ}$)
γ_{Er}	úhel špičky ($^{\circ}$)
α_r	úhel nastavení hl. ostří ($^{\circ}$)
λ_s	úhel sklonu ostří ($^{\circ}$)
λ_1	tepelná vodivost ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)
ρ	měrná hustota ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
KT	hloubka žlábků (mm)
VC	opotřebení hřbetu (mm)
$VB_{max.}$	maximální šířka otěru na hřbetě (mm)

VB	střední šířka otěru na hřbetě (mm)
HRC	tvrdost dle Rockwella
HB	tvrdost dle Brinella
HV-10	tvrdost dle Vickerse
Shore C	tvrdost dle Shore stup. C
Al_2O_3	oxid hlinitý
ZrO_2	oxid zirkoničitý
Si_3N_4	nitrid křemíku
Ti N	nitrid titanu
Ti C	karbid titanu
Ti CN	karbonitrid titanu
KBN	kubický nitrid boru
ŘK	řezná keramika
SD	syntetický diamant
SK	slinutý karbid
STM	supertvrdý řezný materiál
RO	rychlořezná ocel
PKBN	polykrystalický kubický nitrid boru
PKD	polykrystalický diamant
WBN	wurtzitický nitrid boru
WC	karbid wolframu

Seznámení se a vymezení pojmu keramika, řezná keramika [5, 1]

O jakých materiálech to vlastně mluvíme? Co je to keramický materiál? Co jsou to cermety? Jeden slovník definuje keramický materiál jako "jakýkoliv materiál s různou tvrdostí, křehký, žáruvzdorný a korozivzdorný, vyráběný spékáním jílovitých hlín nebo jiných materiálů sestávajících z jednoho nebo několika kovů v kombinaci s nekovem obvykle s kyslíkem. Ještě několik technických pramenů zahrnuje do svých definic typ prvku a typ chemické vazby. Kysličník křemíku (Al_2O_3), magnesia (MgO) a zirkónia (ZrO_2) jsou typickými příklady, z nichž všechny jsou používány alespoň jako aditiva do některých keramických nástrojů. Určité nitridy a jiné "idy" spadají také do klasifikace keramiky a jsou používány v řezných nástrojích.

Cermet je dle stejného slovníku materiál, skládající se ze zpracovaných keramických částic vázaných kovem s možností aplikace pro vysoké pevnosti a teploty.

Tímto se však dostáváme do sémantických těžkostí, protože karbid wolframu WC může být také klasifikován jako keramika a po přidání kobaltu, slisováním a spékáním této směsi, může být tento výsledný slinutý karbid klasifikován jako cermet.

Z předešlé úva^hy je patrné, že striktní dodržování definic může být někdy zavádějící, a tak se doporučuje dodržovat určitou konvenci při zařazování těchto materiálů. Ze skupiny keramických materiálů jsou vyloučeny klasické karbidy, dokonce i ty, jež mají povlak z keramického materiálu. Podobný přístup je možno pozorovat i ve vztahu k vysoce specializovaným materiálům na bázi PKBN, PKD. Některé prameny však tyto materiály zcela jednoznačně zařazují do skupiny neoxidové keramiky, a proto cítím povinnost se o těchto materiálech v dalším alespoň okrajově zmínit.

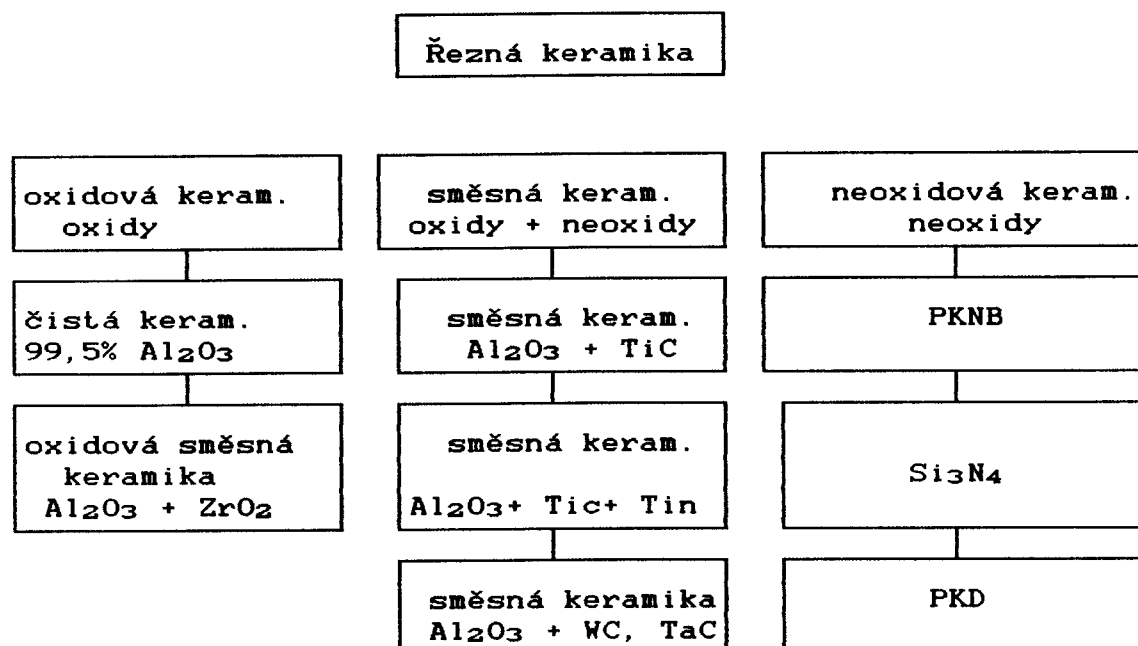
Jinak je možno tvrdit, že keramické řezné nástroje se vyznačují vysokými hodnotami odolnosti jak proti abrazivnímu opotřebení, tak i proti zlomení a nabízejí vynikající odolnost proti chemickým účinkům komponentů většiny běžně obráběných materiálů obrobků a udržují si tyto pořízené charakteristiky i při vysokých teplotách. Jejich hodnoty odolnosti proti mechanickým a tepelným rázům jsou přece však ze všech běžných materiálů obvykle používaných na obrábění kovů nejnížší.

Historicky vzato, keramické nástroje z Al_2O_3 byly poprvé uvažovány pro použití ve strojírenských operacích v roce 1905 v Německu. Tyto patenty byly přihlášeny v Anglii v roce (1912) a v Německu (1913), tedy dříve, než byly v Německu v roce 1926 zavedeny slinuté karbidy do běžného používání. V roce 1934 na Jarním veletrhu v Lipsku byly vystavovány nástroje, jejichž řezná část byla ze spékaného korundu. Tyto exponáty byly výlučně německé výrobky. Výroba těchto nástrojů byla spojena se jménem W. OSENERGA, který také podal první dokumentovatelnou zprávu. Sám však uznal, že použití těchto materiálů ztroskotalo na nedostatečné ohybové pevnosti. Ovšem tato skutečnost němce neodradila a v průběhu II. sv. války, ale i po ní důsledně prováděli výzkum v této oblasti, což jim nakonec přineslo i světový primát v roce 1960, kdy německá firma Feldmuhle AG uvedla na trh sériově vyráběnou keramickou destičku na obrábění litiny.

1.1 Rozdělení keramického materiálu z hlediska jejich složení

Řeznou keramikou tedy rozumíme nekovové, anorganické řezné materiály, které na rozdíl od tvrdokovů nemají žádnou spojovací fázi jako například karbidy kobaltu. Mohou být pak podle složení rozděleny do tří hlavních skupin:

- 1) oxidová keramika
- 2) směsná keramika
- 3) neoxidová keramika



Tab. č. 1.

Tato tabulka však rozlišuje jen hlavní komponenty ve složení řezných materiálů. Nejsou zde uvedeny malé přísady (i whiskerů), které přispívají k ovlivnění hustoty, struktury nebo slinování.

K oxidové keramice byly počítány až asi do roku 1970 jen destičky z čistého oxidu hliníkového (Al_2O_3 - 99,5%). Dnes jde vývoj v této skupině k oxidové směsné keramice, která je také označována jako keramika dispersní. Jedná se přitom o kombinace z $Al_2O_3 + ZrO_2$ (oxid zirkoničitý). S přísadou ZrO - většinou 20 a méně % - se mohou vyrobit velmi jemnozrnné struktury (pod $1\mu m$ velikosti zrna) s velkou odolností proti

opotřebení a zvýšenými pevnostními hodnotami. Ve spojení s vyspělými slinovacími metodami je dosaženo nejvyšší míry stejnoměrnosti. To znamená, při použití v praxi vyšší zatížitelnosti. Rozsah použití oxidové řezné keramiky je tím značně rozšířen. To platí nejenom o obrábění litiny, nýbrž ve značné míře také pro soustružení materiálů s dlouhými třískami z cementační a zušlechtněné oceli.

Směsná keramika - oxidy + neoxidy - je vyráběna od poloviny šedesátých let. Jde převážně o žárově lisované řezné materiály na bázi Al_2O_3 s karbidem titanu (TiC , $TiCN$), ale najdeme také kombinace Al_2O_3 s nitridem titanu (TiN), nebo $TiC(N)$ karbonitridem titanu. Žárově lisované řezné materiály se vyznačují vysokou měrnou hmotností a vynikající pevností hran. Těžiště použití je při soustružení kalených ocelí a tvrzené litiny. Používají se však také s velkým úspěchem při jemném obrábění, kde má vedle jemného soustružení význam jemné frézování (frézování místo broušení). *poly*

Ke skupině neoxidové keramiky patří mezi jinými krystalický diamant PKD a kubický nitrid boru PKNB. Tyto materiály často bývají zařazovány do samostatné skupiny supertvrdých materiálů. Do neoxidové keramiky dále patří řezné materiály na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4). Tyto materiály byly vyvinuty teprve před několika lety pro třískové obrábění a jsou ve srovnání s oxidovou keramikou vysoce necitlivé vůči teplotním šokům a mají zřetelně vyšší pevnost v ohybu. V tvrdosti a pevnosti v tlaku vykazují nižší hodnoty. Těžiště použití je v hrubém obrábění nelegované litiny. U těchto materiálů snášejí řezné materiály Si_3N_4 chladicí kapalinu a přerušované řezy. Hodí se k soustružení stejně jako k frézování. Avšak vzhledem ke kritériím opotřebení, opotřebení hřbetních ploch a zaobloblování ostří se nedoporučují k jemnému obrábění. Možnosti použití jsou však u obrábění slitin hliníku s vysokým obsahem křemíku a částečně materiálů s vysokým ob-

sahem niklu. Úplně nevhodné jsou řezné materiály na bázi Si_3N_4 při třískovém obrábění vysoce legované slitiny a u obrábění oceli.

Keramika vystužená whiskery

V poslední době jsou provozně nasazovány keramické materiály se strukturou armovanou vlákny whiskerů SiC . Keramické kompozity s dispergovanými whiskery karbidu křemíku (SiC) patří mezi materiály charakterizované vysokou pevností a velkou houževnatostí.

Whiskery SiC mají řadu předností. Mezi nejzávažnější patří skutečnost, že vytvářejí účinnou překážku proti šíření mikrotrhlin. Mechanické vlastnosti kompozitu velmi závisejí na velikosti dispergovaných částic a na jejich objemovém zastoupení v keramické matrici. Předmětem této práce bylo také porovnávání břitových keramických destiček Al_2O_3 vystužených whiskery SiC . Porovnával jsem jejich trvanlivost při obrábění oceli. Proměnnou veličinou zde bylo procentuelní zastoupení whiskeru SiC v keramické matrici. Pro experiment jsem použil keramické destičky sovětské výroby a porovnával jsem je s čistou oxidovou keramikou D100 firmy DIAS. Tato skutečnost částečně znehodnotila získané výsledky, neboť v rámci maximální objektivity by bylo žádoucí testovat destičky od jednoho výrobce. Nicméně firma DIAS poskytla nejdůležitější mechanicko-fyzikální vlastnosti testovaných materiálů, jež získali zkouškami provedenými ve vlastních laboratořích, takže určitá možnost porovnání existuje.

Mechanicko-fyzikální vlastnosti řezné keramiky vystužené whiskery SiC naměřené v DIAS Turnov

D100	OH = 3,90 - 3,93 g/cm ³
	HV = 1850 - 1950

Al_2O_3 - 10% SiC
 OH = $3,90 \text{ g/cm}^3$
 HV = 1820 - 1890
 pevnost v ohybu = 500 MPa

 Al_2O_3 = 20% SiC_v
 OH = $3,84 \text{ g/cm}^3$
 HV = 1950
 pevnost v ohybu = 550 MPa

 Al_2O_3 - 30% SiC
 OH = $3,74 \text{ g/cm}^3$
 HV = 2050 - 2140
 pevnost v ohybu - neprováděna

Informace o whiskerech SiC

SiC whiskery vyrobené v SNS jsou vlákna o středním průměru $d = 0,15 \text{ mm}$ o délce $l = 20 - 40 \text{ }\mu\text{m}$. Průřez vláken je trojúhelníkový, krystalografická osa růstu je nejčastěji $/1,1,1/$.

Chemické složení je v objemových procentech

β - SiC	90-95%	} 5-10%
Fe _x Cl _y O ₂ H	2 - 3%	
SiO ₂	0,5 - 3%	
C	1 - 2%	
Fe _x Si _y	2 - 3%	

Nevláknový podíl je asi 15-20%

Fyzikální-mechanické vlastnosti: E = 500 GPa

R_{m0} = asi 30 GPa

Výrobce československé řezné keramiky

A.s. DIAS Turnov je jediným výrobcem řezné keramiky v Československu. Od začátku výroby (rok 1989), kdy byla vyráběna pouze tzv. čistá řezná keramika na bázi Al_2O_3 - typ DISAL 100 se postupně přiřadily i další typy se specifickými vlastnostmi. Jde zejména o typy, kde základní materiál je dopován oxidem zirkoničitým - ZrO₂ - DISAL210 (výroba od roku 1983) nebo karbidem titanu TiC - typ DISAL300 (vyráběn od

roku 1985). Vývojem prošel rovněž materiál na bázi nitridu křemíku - Si_3N_4 - typ DISAL 400 (výroba od roku 1988).

Stávající vyráběné typy řezné keramiky

- čistá oxidová keramika - DISAL100 (slonovitě bílá, značka modrou barvou). Těžiště použití nachází při soustružení šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem vysokými rychlostmi.
- směsná oxidová keramika - DISAL210 (křídově bílá, značka čevenou barvou). Své užití nachází při hrubém a jemném soustružení litiny, cementačních i ušlechtilých ocelí částečně přerušovaným řezem.
- směsná - oxido-neoxidová keramika - DISAL300 (sytě černá, značka žlutá). Díky vysoké pevnosti hran se uplatňuje při jemném soustružení, jemném frézování i obrábění kalených ocelí (do 65HRC) a tvrzených litin (do 500 HB).
- neoxidová keramika - DISAL 400 (černohnědá, značka zelená). Těžiště využití nachází při hrubém obrábění nelegované litiny soustružením i frézováním. Snáší přerušované řezy, je necitlivá vůči teplotnímu šoku. Lze používat chladicí kapalinu. Při obrábění ocelí je vhodná pouze u slitin s vysokým obsahem legujících přísad (nikl, chrom).
- povlakování vrstvami TiCN , TiN , ... (stříbřitě šedá, žlutá). U všech druhů základního materiálu snižuje vedle citlivosti přerušovanému řezu i míru opotřebení ostří o 75%-100%.

Sortiment vyráběných typorozměrů dle ISO 1983 zahrnuje prakticky celou škálu z programu předních světových výrobců. Vedle šesti základních tvarů - čtverec, trojúhelník, kruh a kosočtverců s úhly 80, 75, 55, jsou vyráběny destičky v provedení negativním (0 úhel hřbetu) a pozitivním (s úhlem hřbetu 11 a 7).

Zahraniční výrobci řezné keramiky

FA FELDMUHLE SPK WERKZENGE

GREENLEAF (corporation - USA - používá technologii kontinu-
álního lisování za tepla)

SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIAL Ltd - JAPONSKO

SUMIDEN CARBIDE AMERICA - USA

Babcock Wlicox

CORBOLOY SYSTEMS DEPT General Electric Co.

Cermet MATERIAL DIU

KENNAMETAL INC

KYOCERA INTERNATIONAL INC

NTK Cutting Tools Div

PHILLIPS SNR

1.2 Neoxidová keramika

Jak název napovídá, tato keramika neobsahuje oxidy, alespoň v takovém rozsahu, jako je tomu u předchozích typů oxidové keramiky. Jednoznačně sem patří keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 , i když, což je paradoxní, tento materiál rovněž obsahuje řádově jednotky procent oxidu hliníku a oxidu Ytria. Těmito oxidy je výchozí směs Si_3N_4 dopována z důvodů zlepšení některých mechanických a slinovacích vlastností.

Některé zdroje rovněž uvádějí, že do kategorie neoxidové keramiky patří tzv. "supertvrdé materiály". Jedná se o polykrystalický kubický nitrid boru a polykrystalický kubický diamant. Většinou jsou tyto materiály zařazovány do samostatné skupiny supertvrdých materiálů, ale ne snad z toho důvodu, že by nepatřily do neoxidové keramiky, ale proto, že se svými specifickými vlastnostmi mnohdy vymykají rozsahu publikace o keramice a bývají většinou zpracovány v samostatných publikacích. Nicméně se domnívám, že mé pojednání

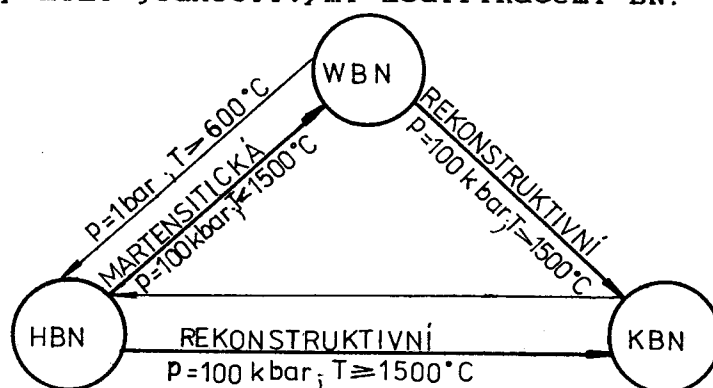
o řezné keramice by bylo při opomenutí těchto materiálů neúplné, a proto jsem se rozhodl se o těchto materiálech alespoň okrajově zmínit.

1.2.1 Polykrystalický kubický nitrid boru (PKBN) [1,10]

- kubický nitrid boritý

Vlastnosti:

Vyskytuje se ve třech krystalických modifikacích (hexagonální, kubické a hexagonální wurtzitické). Obsahuje 43,6% boru a 56,4% dusíku. Hexagonální BN se vlastnostmi podobá grafitu (měkký, kluzký), někdy se mu také říká bílý grafit. Na obrázku č. 1 je možno pozorovat schématicky znázorněné fázové přechody mezi jednotlivými modifikacemi BN.



Obr.č.1

Krystalické formy nitridu boritého jsou analogické krystalickým formám uhlíku. Jako řezný materiál se používá kubická modifikace a wurtzitická modifikace. Struktura KBN je tvořena dvěma plošně centrovanými krychlovými mřížkami vzájemně prostoupenými a posunutými ve směru tělesové úhlopříčky o jednu její čtvrtinu. Základní jednotkou struktury je tetraedr, ve kterém atom jednoho druhu je obklopen čtyřmi atomy jiného druhu ve vzdálenosti $0,157 \text{ nm}$. Hustota je $3,45 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Wurtzitický nitrid boru je tvořen kombinací dvou hexagonálních podmřížek s těsným uspořádáním. Hustota je rovněž $3,45 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Teplotní stabilita se uvádí do 1550°C (ve vákuu). Při ohřevu nad 1600°C přechází KBN rychle v hexagonální formu. Tepelnou vodivost má srovnatelnou s diamantem. Jedna z největších výhod KBN je ta, že tento materiál je chemicky netečný vůči železu a jeho slitinám, a tedy i oceli, což ho předurčuje k obrábění těchto materiálů. Není však vhodný pro obrábění slinutých karbidů a nekovových materiálů. Za polykrystalické materiály jsou pokládány materiály s obsahem minimálně 60% STM s tím, že mezi jednotlivými komponenty nastává vazba. To vyžaduje technologii vysokých tlaků a teplot přibližně stejnou jako při základní syntéze syntetického diamantu a kubického nitridu boru. Vysoké tlaky jsou nezbytné pro zachování kubické modifikace. Při vysokých teplotách (1300°C a výše) dochází totiž ke změně na hexagonální modifikace - grafit, nitrid boru.

Pro výrobu polykrystalického nitridu boru se v podstatě nabízejí tři možnosti:

1. PKBN získaný přímou konverzí

Při přímé konverzi hexagonální modifikace BN bez použití katalytických přísad je podle fázového diagramu nutno použít tlaky vyšší než 12 GPa a teploty vyšší než 1500°C . Za nižších teplot vznikne wurtzitická modifikace, za vyšší KNB. Polykrystalická tělíska KBN lze z HBN vyrobit tím způsobem, že se HBN za přítomnosti aktivační přísady převede ve vysokotlakém zařízení na KNB a současně sline. Přísada, jako je Al, Si apod., vytvoří při tom pojící fázi.

2. PKBN získaný slinováním prášku KNB.

Řezný materiál se vytvoří slinováním KBN nebo za pomoci slinovací přísady při tlaku větším, než 5 GPa a teplot nad 1400°C .

3. PKBN získaný slinováním prášku WBN.

Řezný materiál se vytvoří slinováním prášku WBN za tlaků větších než 6,5 GPa a teplot nad 1500 °C. Tělísko o fázovém složení WBN - KBN vykazuje větší rázovou houževnatost a hodí se tedy na obrábění přerušovaným řezem. Při slinování lze kromě WBN slinovat i směs KBN, případně slinovacích přísad.

Vlastnosti:

Řezné destičky PKBN mají hustotu $3,35 - 3,40 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. Tvrdost dosahují 35 - 55 GPa dle Knoop. Destičky jsou teplotně stálé do 1000 - 1200 °C, do 1000 °C neprobíhá oxidace a kovy se do této teploty neslučují s řezným materiálem. Dalšími přednostmi jsou vysoká odolnost vůči opotřebení, vhodnost pro obrábění kalených ocelí (45 - 68 HRC), dále mohou nahradit operace broušení a zvýšit produktivitu obrábění 2- 5 násobně.

Použití:

Řezné destičky z PKBN jsou určeny k obrábění kalených nástrojových ocelí, žárovevých ocelí, tvrdých nástřiků a veškerých druhů tvrzené litiny. Obrábění vyžaduje určitou minimální tvrdost, která je u tvrdých ocelí 45 HRC, u žárovevých materiálů 35 HRC. PKBN je vhodný jak pro hrubování tak pro obrábění načisto. Podobně jako při obrábění diamantem a jinými křehkými materiály je nutné při obrábění PKBN dodržovat určité podmínky jako:

- tuhost technologické soustavy SPID
- záporný úhel čela ($\gamma = -5^\circ$)
- úhel nastavení 45°, tomu nejvíce vyhovují kruhové VBD.
- břitová destička by měla být opatřena fazetkou na čele.

1.2.2 Polykrystalický kubický diamant - PKD

Diamant:

Je to krystalická modifikace uhlíku, krystalizující v kubické soustavě. Druhou modifikací uhlíku je grafit, který krystalizuje v hexagonální soustavě. Uspořádání atomů v mřížce diamantu je charakteristické. Struktura se skládá ze dvou vzájemně prostoupených krychlových mřížek, které jsou vzájemně posunuty ve směru tělesové úhlopříčky o $1/4$. Nejkratší vzdálenost atomů je $15,4 \times 10^{-9}$ m a parametrem mřížky $35,6 \times 10^{-9}$ m. Krychle obsahuje 18 atomů uhlíku. Diamant je nejtvrdší známý materiál v Mohsově stupnici zaujímá desátý stupeň tvrdosti. Je to anizotropní krystal, tzn. že má v různých směrech různé vlastnosti. Toto tvrzení se samozřejmě týká i tvrdosti. V této souvislosti se u krystalu diamantu setkáváme tzv. s měkkými směry a směry, ve kterých diamant nelze brousit, tedy tvrdými. Příčinou nestejně tvrdosti diamantu je nestejně uspořádání atomů v jednotlivých krystalografických plochách a síly, kterými na sebe atomy navzájem působí. Současně s vysokou tvrdostí a pružností (modul pružnosti = $7,06$ až $9,11 \times 10^5$ MPa), vyniká diamant i vysokou tepelnou vodivostí ($146,6 \text{ WmK}^{-1}$), malým koeficientem teplotní roztažnosti ($0,9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) a součinitelem tření ($0,1 - 0,3$). Diamant vyniká vysokou otěruvzdorností, která zvláště vynikne při obrábění tvrdých křehkých materiálů. Diamant je chemicky inertní a jen při vysoké teplotě vyšší jak 700°C začne oxidovat. Nesnadno taje a rozpustný je v roztavených kovech (Fe, Co, Ni a Pt) a při ochlazení se vylučuje jako grafit. To je nutno mít na paměti a pro obrábění oceli diamant nepoužívat. Při teplotě 2000°C se mění v grafit a taje při 3700°C . Hustota diamantu je $3,4 - 3,56 \times 10^3 \text{ kg} \times \text{m}^{-3}$, mez pevnosti v ohybu je 294 MPa .

Syntetický diamant:

Syntetický diamant v průmyslu v stále větší míře nahrazuje diamant přírodní. Základní vlastnosti syntetického diamantu se neliší od přírodního. Pouze pevnost v ohybu dosahuje více než dvojnásobek pevnosti ohybu přírodních diamantů. Pevnost synteticky vyráběných diamantů je možno výrazně ovlivnit přidáním dalších prvků nebo podmínkami syntézy.

V současnosti jsou známy tři metody výroby syntetického diamantu a představují je tyto druhy výroby:

1. Výroba v oblasti termodynamické stability diamantu působením statických tlaků minimálně 6000 MPa a teplot minimálně 2000 K na grafit, v trvání minimálně několik sekund, bez speciálního prostředí.
2. Výroba v oblasti termodynamické stability působením vysokých dynamických tlaků, když přechází grafit na diamant působením rázové detonační vlny, který vytváří potřebné tlaky 75000 - 100000 MPa, jako i potřebnou vysokou teplotu. Čas působení je jen několik mikrosekund a nebo zlomků mikrosekund. Proto je takto získaný diamant jemnozrnný.
3. Výroba v oblasti termodynamické stability grafitu probíhá při atmosferickém a nebo menším tlaku při teplotách 1400 - 1500 K epitaxiálním narůstáním diamantu na zárodku.

Polykrystalický diamant

Základními komponenty jsou diamantový prášek a pojivo, aktivátor slinování (např. kovy CO, Ni, Fe). Zmíněné ingredience důsledně promícháme a při teplotě mezi 1300 - 1800 °C a tlaku 5 - 9 GPa slinujeme po dobu 5 - 30 min. Polykrystalický diamant na bázi diamant kobalt je vyráběn technologií, která je založena na tavném slinování, při kterém dojde k natavení kobaltu, který je schopen rozpustit uhlík a vytvářet eutektikum CO - C. Tavenina postupně infiltruje do pó-

rů mezi slisovanými diamantovými trny a při chladnutí z ní překrystalizuje diamant. Výsledná struktura je tedy tvořena diamantovými zrny prorostlými mezi sebou nebo přes kobaltové pojivo s ojedinělými místy čistého kobaltu.

Vlastnosti:

PKD je materiál izotropní v důsledku velkého počtu náhodně orientovaných zrn diamantu. Tím se příznivě odlišuje od přírodních monokrystalů diamantů. Náchylnost k tvorbě trhlin a k praskání je podstatně nižší. Tvrdost a otěruvzdornost je na úrovni přírodního diamantu. Relativně nízká teplotní odolnost vyplývá z použití CO - pojiva a rozdílného koeficientu teplotní roztažnosti těchto materiálů. Již při ohřevu nad 700°C se objevují v PKD trhliny nebo dojde k odpadnutí vrstvy PKD od SK podložky. Se vzrůstající teplotou je rovněž možná opětová grafitizace diamantových zrn. Při vlastním používání nástrojů není již tato vlastnost tak omezující, vzhledem k velmi dobré tepelné vodivosti PKD. Další vlastnost omezující PKD je chemická afinita uhlíku ke kovům skupiny železa, což vede ke zvýšení otupování nástrojů. Koeficient tření mezi PKD a obráběným materiálem je 0,1 - 0,25 což je značně méně než u slinutého karbidu.

Použití:

Pro obrábění všech neželezných kovů a nekovových materiálů, zejména slitin hliníku typu AlSi, mědi a jejich slitin, titanu a jeho slitin, u nekovových obrábění grafitu, skla, keramiky, plastů typu sklolamináty nebo plněných abrazivními plnidly tvrdého kaučuku a také dřevařských výrobků. Jde zejména o náhradu dosavadních nožů z přírodního diamantu, náhradu broušení, a náhradu nástrojů ze SK z důvodů zvýšení životnosti.

1.2.3 Si_3N_4 - nitrid křemíku

1.2.3.1 Historie vzniku nitridu křemíků

Technologií výroby siliciumnitridu Si_3N_4 patentoval jako první anglický vědecký pracovník Lucas v roce 1976. technologií isostatického lisování za tepla (HIP - HOT Isostatic Pressing) získal výchozí suroviny složení $\text{Si}_6\text{-z Al}_2\text{N}_8\text{-zO}_2$ beta-fázi siliciumnitridu jako materiál budoucnosti pro letecký průmysl. V oblasti použití Si_3N_4 nevedl tento postup k úspěchu. Skutečným základem pro současný rozvoj technologie výroby Si_3N_4 jako řezného materiálu je druhá generace tohoto materiálu uvedená do průmyslu patentem společnosti Ford v USA v roce 1978. Řezný materiál získaný podle tohoto postupu, který podstatně vylepšoval Lucasův výrobní postup obsahoval jako další přísady siliciumdioxid SiO_2 , dále Al_2O_3 v množství 0,5 - 2,5 % a oxid yttria Y_2O_3 v množství 4 - 12%. Bezoxidový keramický materiál na bázi siliciumnitridu dopňuje a částečně je schopný nahradit dnes obvyklé řezné materiály jako je slinutý karbid, povlakovaný slinutý karbid, oxidickou čistou a směsnou keramikou a částečně i kubický nitrid boru. Nástroje zhotovené z keramického řezného materiálu na bázi siliciumnitridu jsou určeny především k obrábění součástek z šedé litiny a temperované litiny a podle některých výrobců i žáruvzdorných materiálů. Jeho použití pro obrábění oceli není možné, protože v průběhu obrábění probíhá výrazné opotřebení a vznik výmolů na čele, který rychle postupuje směrem k řezné hraně a způsobuje její vylovení. Siliciumnitrid jako řezný materiál umožňuje dosahovat v porovnání s nástroji z SK výrazně vyšší řezné rychlosti a to hlavně při soustružení a frézování. Při těchto technologiích obrábění se jím dosahovatelné rychlosti blíží k řezným rychlostem obrábění oxidickou keramikou. Přitom v porovnání oxidické keramiky jeho vlastnosti jako jsou odolnost proti tvorbě mikrotrhlin a odolnost vůči teplotním rázům vy-

kazují výrazné přednosti. V porovnání s oxidickou keramikou je možno Si_3N_4 charakterizovat:

- vyšší ohybovou pevností a houževnatostí
- porovnatelnou stálostí tvrdosti při zvýšeních teplotách
- vyšší odolností proti teplotním rázům.

Tyto vlastnosti předurčují Si_3N_4 pro hrubovací frézování, hrubovací soustružení a soustružení s přerušovaným řezem nebo s výraznou nerovnoměrností hloubky řezu a obrábění s použitím chladicí kapaliny. Sortiment obrobitelných materiálů je však při použití Si_3N_4 značně omezený. Dobré výsledky jsou dosahovány při obrábění litiny. Při tomto obrábění Si_3N_4 vykazuje:

- rovnoměrný průběh opotřebení
- nízký sklon k vylamování řezné hrany
- vysoké hodnoty přípustného posuvu a řezné rychlosti.

Přednostním cílem výzkumovývojových prací je vyhledání možností rozšíření sortimentu materiálů vhodných k obrábění nástroji z Si_3N_4 .

1.2.3.2 Postup výroby Si_3N_4

Výroba keramických řezných materiálů se skládá z následujících základních kroků:

- příprava hmoty
- tvarování
- slinování
- finální opracování

V dílčích oblastech je postup srovnatelný s výrobní technikou práškové metalurgie a je tedy podobný výrobě slinutých karbidů. Cílem operací přípravy hmoty je získat z různých surovin řadou vhodných opatření homogenní hmotu. K zajištění kvality je nejdůležitějším předpokladem, aby da-

né suroviny byly běžně při dodávce a během přípravy hmoty zkoumány chemicky a fyzikálně ve svých vlastnostech, neboť jsou to právě tyto vlastnosti prášků, které v pozdějším vypalovacím procesu dalekosáhle spoluurčují slinování, a tím dosažitelné fyzikálně-mechanické vlastnosti konečného výrobku. Provádí se kontrola jemné struktury pomocí rentgenu, která umožní vyvodit závěry o fázovém složení prášku, velikosti jeho částic jakož i o vadném výskytu, uspořádání v mřížkové konstrukci jednotlivých krystalů. Tato směs prášku se pak homogenizuje a mele v kulových mlýnech za sucha. Homogenizace zajišťuje vnitřní promísení a aktivizaci komponentů a je důležitým předpokladem pro stejnoměrnost fyzikálních vlastností v keramickém řezném materiálu. Mletím zase dojde k rozdrčení křehkých shluků zrn na základní požadovanou zrnitost. Jiný postup provádí homogenizaci a mletí např. s přidáním kapalin ve vybračních mlýnech. Tekutá homogenizovaná disperze se dále zpracovává v rozprašovací sušárně na lisovatelný prášek s vysokou sypnou schopností.

Ve výrobní praxi tvarování se rozlišují následující základní varianty:

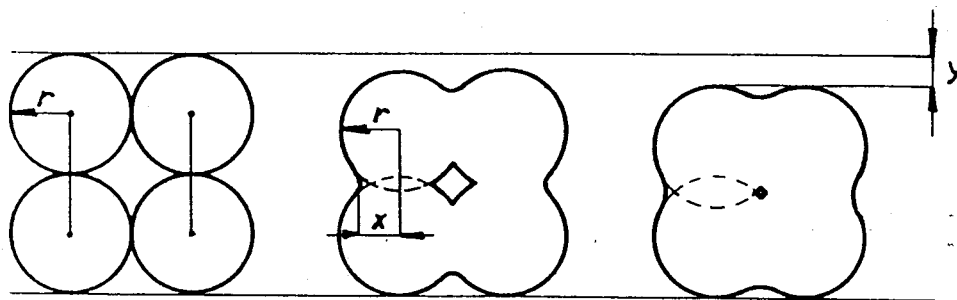
Při lisování za studena se upravený prášek lisuje za pokojové teploty a nakonec se slinuje.

Při žárovém lisování jsou naproti tomu tvarování a slinování jeden pracovní proces. Lisování keramického řezného materiálu se tedy provádí při slinovací teplotě. Tvarování při studeném lisování se provádí plně automaticky na mechanických nebo hydraulických lisech. Jsou nutné vysoké měrné tlaky až 200MPa. Malým přidáním organických pojiv dosáhnou výlisky - polotovary požadovanou pevnost.

Jiný postup tvarování keramiky zajišťuje isostatické lisování, které přichází v úvahu u velkých polotovarů, nepříznavých z lisovacích technických důvodů nebo lití vstřiko-

váním Keramické polotovary se mohou také tvarovat, dokončovat třískovým obráběním. Výhodným postupem je vákuové vytlačování hmoty v klasickém stavu ústím o příslušném profilu příslušné destičky. Vysoká viskozita a tím lepší kluzné vlastnosti částic prášků mezi sebou urychlují následné tepelné operace.

Slinování je zhutňovací postup navzájem se dotýkajících částic krystalů, které vlivem tepla slinou. Požadované teploty se dosahují asi při 80% teploty tavení slinovaného materiálu. Slinováním srůstají krystaly vylisovaných polotovarů. Protože nepředchází žádná fáze, jsou vlastnosti těchto polykrystalických materiálů srovnatelné s vlastnostmi monokrystalů a v některých hodnotách pevnosti je dokonce předčí.



Obr. č. 2

Obrázek ukazuje na modelu průběh slinovacího procesu se smršťováním a tvořením pórů.

Hnací síla pro zhutňovací proces přichází hlavně z energie povrchu výchozího prášku, která se uvolňuje při vysoké teplotě následujícími postupy:

- zmenšením měrného povrchu novým tvořením nebo růstem krystalu
- zmenšením prostorů pórů a povrchu pórů
- odbourání nerovnoměrného stavu v mřížce krystalů výchozího prášku.

Mechanismy, které působí jsou komplexní difuzní postupy a rekrytalizační procesy.

Pro kvalitní řeznou keramiku je jemnozrnná směs (1 μ m a méně) při optimální hustotě předpokladem. Aby se toho dosáhlo, musí se slinovací proces exaktně ovládat. To se týká nejen teploty a doby, ale také všech dalších faktorů účastněných na slinování (oxidační prostředí, ochranná atmosféra). Platí to zejména pro zhutňování, které se musí ukončit, když se navzájem se dotýkající krystaly právě spojují, ale ještě nenarostly na velké zrno. Rovnoměrnost struktury a relativní hustota jsou rozhodující kritéria, která slouží k určení materiálové kvality řezné keramiky.

Přechodem mezi lisováním a slinováním je již dříve zmíněný postup žárového lisování, při kterém během lisování zároveň dochází ke slinování. K tomu jsou potřeba speciální zařízení, která zajišťují vysoký lisovací tlak a zároveň rychlý ohřev lisovací formy. V relativně krátké době se při vysokém lisovacím tlaku dosáhne teplot více než 1700°C. Tato metoda se hodí pro výrobu neoxidové a směsné keramiky. Tyto řezné materiály mají pak vysokou hustotu a pevnost hran.

Progresivní technologií je izostatické žárové lisování (HIP), což je postup následného dohutňování již slinutých keramických tvarů. Při "HIPování" jsou keramické polotovary v autoklávu vystaveny při teplotách více než 1500°C vysokému tlaku inertního plynu. Při tomto postupu se sníží při zachování struktury výrazně porozita řezných destiček. Objemová hmotnost dosáhne teoretických hodnot. Operace dokončovacího

finálního opracování jsou prováděny obráběním. Vzhledem k vysoké tvrdosti keramického materiálu se zde mohou používat jen diamantové brusné nástroje. Mezi dokončovací operace patří v některých případech i nanesení zpravidla jen jedné vrstvy povlaku karbidu nebo nitridu kovů (TiN, TiCN). V případě, kde hlavním posláním povlaků je zvýšení houževnatosti pomocí snížení šíření mikrotrhlinek základního materiálu. V případech, kdy vrstva má zvýšit hlavně otěruvzdornost řezných hran, je používán povlak z Al_2O_3 .

Samotné siliciumnitridové řezné destičky je možno vyrábět několika různými technologickými postupy:

Jedna skupina technologických postupů vychází ze suroviny křemíkového prášku, který se nitriduje a po slinování zastudena se do požadovaného tvaru spéká. Takto získaný materiál je často v literatuře označován jako RBSN - Reaction Bonded Silicon Nitride. Jeho vlastnosti se mohou dále zlepšovat následným opakovaným spékáním, tzv. postupem PSRBSN - Post Sintering of Reaction Bonded Silicon Nitride.

Druhá alternativa výroby je přímé spékání výlisků ze siliciumnitridového prášku s přísadami, tzv. postup SSN - Sintering of Silicon Nitride.

Druhá skupina technologických postupů využívá jako výchozí surovinu siliciunitridový prášek, který se po přidání žadoucích přísad lisuje za tepla a spéká podobně jako slinutý karbid za vysoké teploty a tlaků postupem zvaným HPSN - Hot Pressed Silicon Nitride. Je nutno zdůraznit, že mechanické vlastnosti takto vyrobeného a za tepla lisovaného materiálu jsou výrazně lepší na rozdíl od řezného materiálu získaného technologií první skupiny.

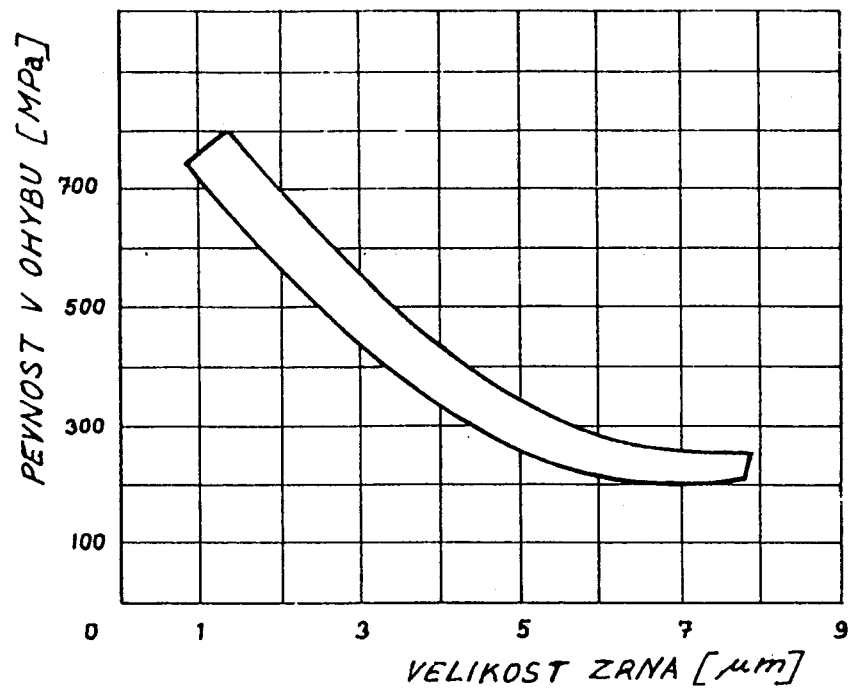
V průběhu technologického procesu vzniká v převážné většině betafáze kombinovaná alfafází a ohraničená amorfni fází skloviny. Výsledkem kombinací těchto fází jsou vynikající otěruvzdornost a pevnostní vlastnosti siliciumnitridu. Jestliže v průběhu slinování nevznikne amorfni fáze skloviny, může dodatečně vzniknout v povrchových vrstvách nebo na povrchu v průběhu obrábění při vysokých řezných rychlostech a vytvořit vysoce otěruvzdornou vrstvu.

1.2.3.3 Popis vlastností Si_3N_4 , fyzikálně-mechanické vlastnosti, porovnání s jinými řeznými materiály.

V úvodu této kapitoly je třeba říci, že mechanické a fyzikální vlastnosti keramických řezných materiálů velmi silně závisí na struktuře a složení. Velikou roli zde hrají jednotlivá zrna, póry a hranice zrn s ohledem na:

- velikost
- množství, počet
- tvar, utvoření
- rozdělení, stejnoměrnost

Jak již bylo řečeno, usiluje se při výrobním procesu řezné keramiky o složení s velmi malou velikostí zrn, úzké spektrum rozdělení a homogenní strukturu. Utvoření velkých zrn (kolem $10\mu\text{m}$) je třeba vyloučit. Následující obrázek číslo 3 ukazuje, jaký vliv má velikost zrn na pevnost ohybu.



Obr. č. 3

Je zde znázorněna pevnost v ohybu keramických materiálů v závislosti na střední velikosti zrn slinované struktury. Toto chování, které je pozorováno také u jiných materiálů se řídí obecně známým vztahem:

$$R_m = k \times d^{-n} \quad (1)$$

R_m = pevnost v ohybu

k = konstanta

d = střední velikost zrn

n = exponent

Z tohoto diagramu je zřetelný vliv velikosti zrn na kvalitu keramických řezných materiálů.

Mechanické vlastnosti

Fyzikálně mechanické vlastnosti

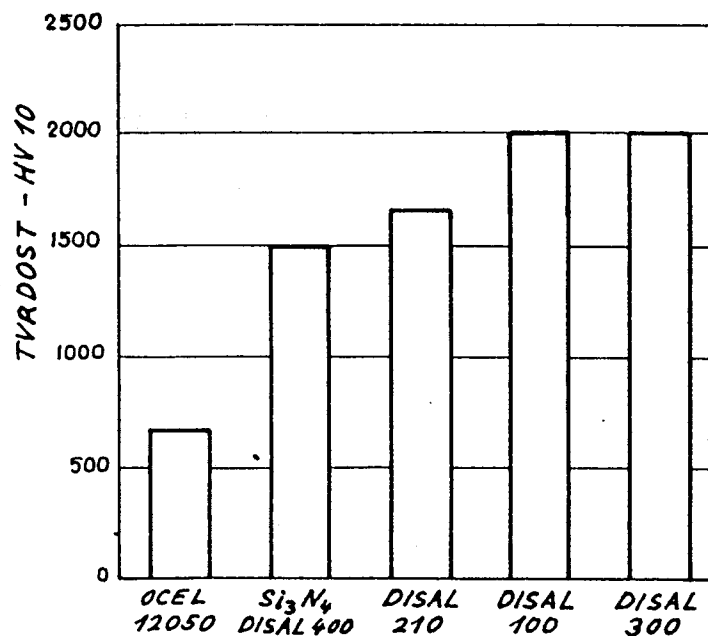
Vlastnost	Značka	Jed-notka	D-100	D-210	D-300	Si ₃ N ₄	PKNB	SK P-10	Ocel 12050
a	b	c	1	2	3	4	5	6	7
Měr. hustota	ρ	g/cm ³	3,94	4,22	4,0	3,3	3,4	11	7,8
Střední vel. zrn	$\bar{d}$	μm	1-2	0,5-1,0	1,0-1,5	-	4	2,5	-
Tvrdość	HV 10	-	2000	1700	2000	1600	6000	1700	700
Pevnost v tlaku	R _m	MPa	4000	4000	4300	2500	-	4500	6-700
Pevnost v ohybu	R _{m0}	MPa	450	650	700	800	550	1700	7-800
Lomová houževnat.	K _{IC}	MPam ^{1/2}	120	190	200	220	-	1100	-
Modul pružnosti	E	GPa	390	380	360	320	680	620	210
Tepelná vodivost	λ_1	W/mK	25	23	38	36	-	25	50
Souč. tep. roztažnosti	α_1	10 ⁻⁶ C ⁻¹	7,8	7,8	7,7	3,2	3,6	8,5	11,2
Parametry tepl. šoku	R _t	C°	100	120	130	400	180	-	-

Tab. č. 2

Předešlá tabulka udává přehled o hodnotách pevnosti různých materiálů. Je zjevné, že se keramické řezné materiály liší od kovů větší tvrdostí, vysokou pevností v tlaku, vysokým modulem pružnosti a malou hustotou. Slinuté karbidy tvoří v tomto shrnutí výjimku. Zde jsou kombinovány vlastnosti nekovových nosičů tvrdosti (WC, TiC, TaC) vlastnostmi kovové vazné fáze (Co). Další rozdíl je v poměru pevnosti v tlaku k pevnosti v ohybu. U keramických materiálů je pevnost v tlaku 7 až 10 krát vyšší, zatímco u kovů vykazuje pevnost v tlaku a ohybu skoro stejné velké hodnoty. Další význačné vlastnosti řezné keramiky ve srovnání s kovy jsou:

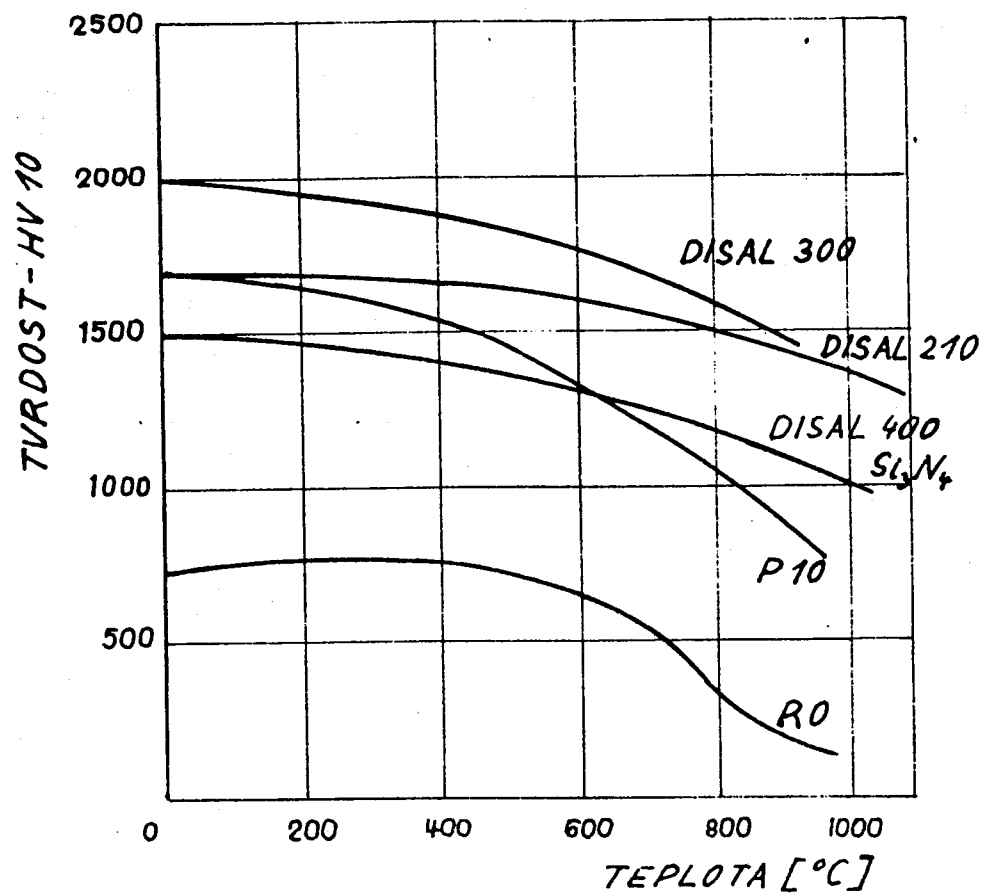
- vysoká tepelná odolnost
- stálá pevnost v ohybu i při vysokých teplotách
- chemická stálost
- odolnost proti opotřebení.

Tvrđost

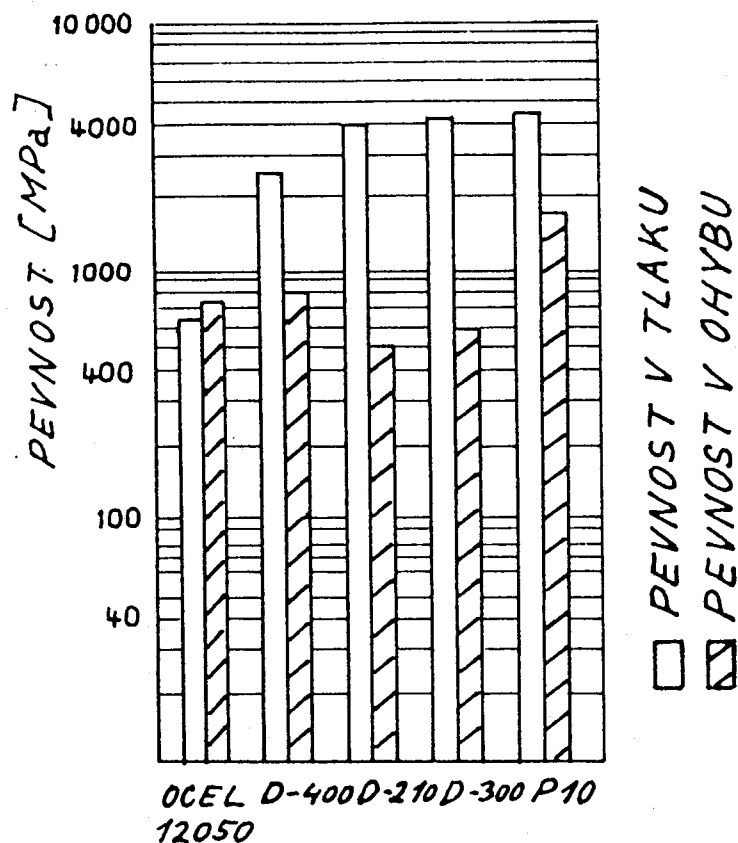


Obr. č. 4

Na předešlém obrázku jsou srovnány tvrdosti různých materiálů. Řezná keramika na bázi oxidu hliníku zde patří k nejtvrdějším známým materiálům. Vysoká tvrdost je důležitým předpokladem pro hodnotný řezný materiál. Hlavní předností keramických řezných materiálů je vysoká tvrdost při vysokých teplotách. Z této tvrdosti se také odvozují použitelné řezné rychlosti (1000 m/min a více), se kterými se může s těmito materiály úspěšně pracovat.



Obr. č. 5



Obr. č. 6

Na tomto obrázku je srovnána pevnosti v tlaku a ohybu různých materiálů. Ukazuje se zřetelně, že pevnost tlaku oxidové nebo směsné keramiky dosahuje téměř hodnot slinutého karbidu (P10). Odolnost proti lomu oxidové respektive směsné keramiky je naproti tomu pod hodnotami slinutého karbidu. Toto znamená, že se geometrie musí volit vždy tak, aby při

obráběcím procesu působily na keramickou břitovou destičku převážně tlakové síly a méně pak síly ohybové. U neoxidové keramiky Si_3N_4 je i naproti tomu výhoda v relativně vysoké pevnosti v ohybu při trochu snížené hodnotě pevnosti v tlaku.

Lomová houževnatost

Určující pro keramické řezné materiály jsou klasické hodnoty pevnosti: pevnost tlaku, pevnost ohybu. Další výraz, který se používá stále častěji určení vlastností je lomová houževnatost. Je vyjádřena kritickým faktorem intenzity napětí Kic. Význam faktoru Kic vyplývá z lomové mechaniky. Zkoumá poměry v blízkosti vrubového místa, v jehož oblasti dochází ke koncentraci napětí. Důležité je, že zkušební zátěž F je přiváděna velmi pomalu až ke vzniku trhliny. Čím menší je rychlost šíření trhliny, tím vyšší je hodnota faktoru Kic.

$$K_{ic} = R_m \times a \times y \quad (\text{N/m}) \quad (2)$$

Přitom: R_m = pevnost v ohybu

a = hloubka vrubu

y = tabulková konstanta - závisí na a/h

h = tloušťka vzorku

Faktor Kic vypovídá hodně o lomových poměrech tvrdých materiálů a je třeba ho považovat za modifikovanou pevnost ohybu. Má tu výhodu, že vylučuje rozptyly, jež jsou vyvolávány při měření pevnosti v ohybu vzhledem k rozdílné jakosti povrchu zkušebních tyčinek. Faktor Kic je také nejvíce nezávislý na průřezu zkušebních tyčinek.

Teplotní a chemické vlastnosti

Zajímavou veličinou je u anorganických nekovových řezných materiálů parametr teplotního šoku R_1 . Tento parametr vysvětluje chování při teplotním šoku.

(3)

$$R_1 = R_m / E \times (C)$$

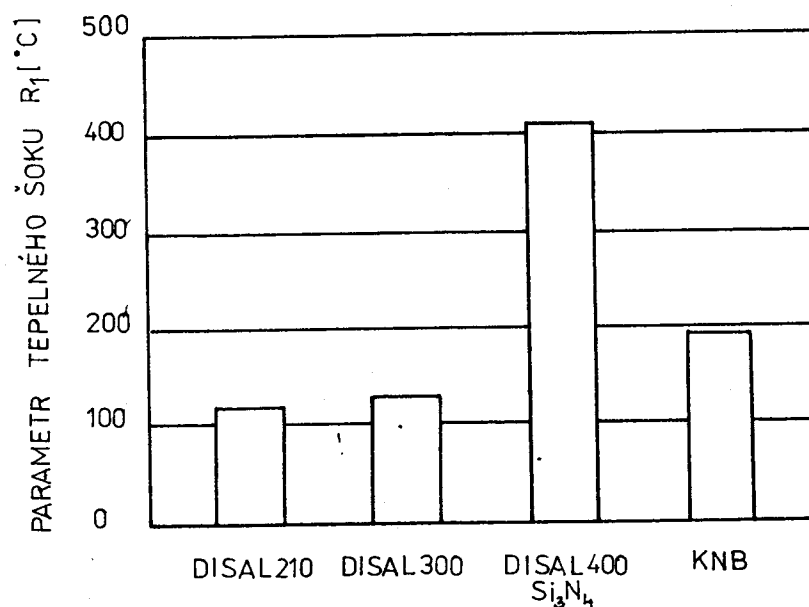
R_m = pevnost v tlaku v MPa

E = modul pružnosti v MPa

= součinitel teplotní roztažnosti v $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$

Tento vztah vypovídá:

Čím vyšší je číselná hodnota vyšší než R_1 , tím větší je odolnost proti teplotním šokům. Hodnoty R_1 rozdílných keramických materiálů jsou znázorněny na diagramu obr. č. 7. Zde ukazuje materiál na bázi Si_3N_4 velkou převahu. Tím je také jasné, proč je možné při frézování a soustružení litiny bez problémů použít tyto destičky s chladicí kapalinou.



Obr. č. 7

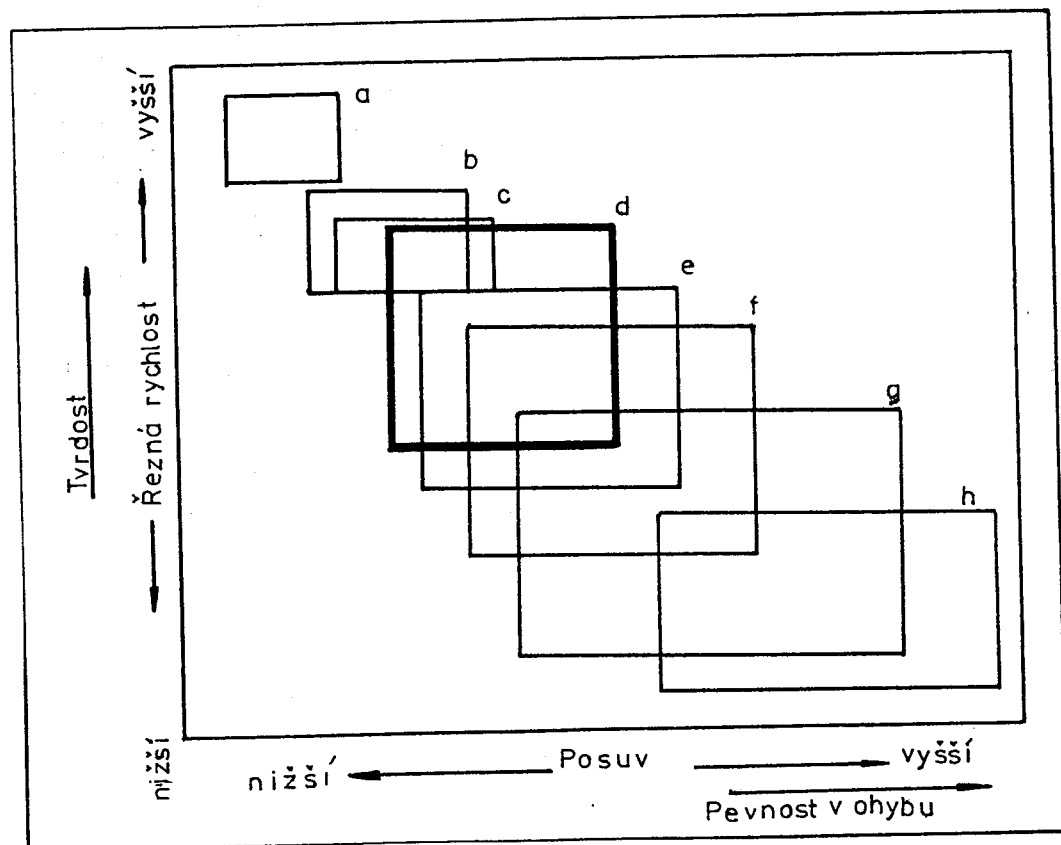
1.2.3.4 Oblasti použití Si_3N_4 [1]

Vzhledem k uvedeným skutečnostem a vlastnostem keramického materiálu na bázi Si_3N_4 , je možno shnout:

- tento materiál je vhodný pro soustružení i frézování
- je vhodný pro obrábění součástí z šedé a temperované litiny
- je možno použít i chladicí kapalinu
- možno použít pro obrábění žáruvzdorných materiálů
- nevhodné použít pro obrábění ocelí kvůli velkému opotřebení.

Vedle soustružení litiny je materiál na bázi Si_3N_4 ideálním řezným materiálem pro hrubovací frézování. Umožňuje obzvláště díky své vysoké lomové houževnatosti a vynikající odolnosti proti rázovému působení sil a teplot vysoké posuvy, případně střední tloušťky třísky až 0,6 mm a více. Přitom tyto materiály dovolují řezné rychlosti 200 - 1000 m/min, může se s nimi frézovat sousledně i nesousledně s chladicí kapalinou i bez ní.

V porovnání se slinutím karbidem možno tedy říci, že použitá řezná síla může být při použití Si_3N_4 3 až 4 násobná. Dosažitelný objemový výkon řezání charakterizovaný objemem odřezávaného materiálu za časovou jednotu vůči SK je minimálně dvojnásobný. Při soustružení litiny je možno volit posuv stejný jako při použití SK, ale řeznou rychlost můžeme volit podobně jako u frézování 3 až 4 násobnou.



a - diamant, KNB
 b - Al_2O_3 (HIP)
 c - $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$
 d - Si_3N_4

e - cermet
 f - SK + povlak
 g - SK
 h - RO

Obr. č. 8

Jak je vidět z předešlého obrázku, Si_3N_4 může částečně nahradit některé dosud používané řezné materiály. Částečně umožňuje obrábět takovými řeznými materiály, jakými dosud žádný druh slinutého karbidu, cermetu nebo oxidické keramiky neumožňoval.

1.2.3.5 Použití materiálů na bázi Si_3N_4 na konstrukční účely

Siliciumnitrid jako nový anorganický materiál má veliký význam nejen jako materiál řezný, ale rovněž jako materiál konstrukční pro části strojů, například pro stavbu motoru, turbín, v letectví ale i při výrobě uzlů obráběcích strojů. Výroba této tzv. konstrukční keramiky roste dokonce podstatně rychleji, než výroba a použití Si_3N_4 jako řezného materiálu.

2 Opotřebení nástrojů z řezné keramiky [2,9]

2.1 Fyzikálně mechanické příčiny opotřebení

Z hlediska průběhu opotřebení rozeznáváme tyto základní příčiny opotřebení:

- opotřebení čela a hřbetu nástroje v důsledku postupného otírání funkčních ploch břitu, tzv. opotřebení otěrem je-
hož průběh je funkcí doby řezání
- opotřebení břitu nástroje v důsledku mechanického porušení břitu nástroje projevující se vydrolením nebo vylomením ostří - tzv. křehký lom
- otupení břitu nástroje v důsledku plastické deformace povrchových vrstev funkční části břitu tzv. plastický otěr.

Vysvětlení fyzikální podstaty opotřebení břitu otěrem je otázka složitá a ne ještě do všech důsledků plně objasněná. Složitost podstaty otěru je dána tím, že tento proces souvisí s několika kvalitativně zcela odlišnými jevy, jejichž vliv na intenzitu otěru se mění podle kombinace použitého řezného a obráběného materiálu, použitých řezných podmínek atd. Principiálně je možno otěr podle jevů, se kterými souvisí rozdělit do několika základních skupin.

a) Brusný otěr

K brusnému otěru dochází v případě, že materiál obrobku obsahuje tvrdší částice, než materiál nástroje. Těmito částicemi mohou být částice cementitu v ocelích, ale i fázové a strukturální změny. Intenzita otěru je tím vyšší, čím větší jsou rozměry karbidu v mikrostruktuře materiálu obrobku. Brusný otěr je rovněž zapříčiněn vysoce zpevněnými třískami třecími se po čele nástroje.

b) Adhezní otěr

Tento druh otěru je charakteristický pro nástroje z RO, méně pak pro nástroje ze SK nebo ŘK. Princip spočívá v tom, že povrchy obrobku a nástroje jež se třou navzájem o sebe nejsou ideálně rovné. Oba povrchy se dotýkají pouze výstupky. Důsledkem toho je vysoký měrný tlak, který společně s vysokou teplotou vytváří ideální podmínky k plastické deformaci obou těles. Vzhledem k tomu, že ve styku jsou kovově čisté materiály, dochází k lokálním svárům, které jsou téměř okamžitě rozrušovány a tak dochází k opotřebení břitu nástroje. Velký vliv na intenzitu adhezního otěru má chemická příbuznost obou materiálů a náchylnost k tvorbě adhezních spojů. Adhezi se dá částečně zamezit vhodným řezným prostředím (chladicí, mazací kapaliny), které tvoří chemické sloučeniny a ty zabráňují vzniku kovově čistého povrchu při styku obou materiálů.

c) Difuzní otěr

Dochází k němu za podmínek, kdy teplota břitových míst břitu dosahuje disociační teploty obou materiálů. Vzhledem k tomu, že disociační teploty běžně užívaných řezných materiálů se pohybují v rozmezí 700 - 1200°C je patrné, že difuzní otěr se bude týkat materiálů na bázi SK, diamantů nebo keramických materiálů. Intenzita difuze nezávisí na mechanických vlastnostech obrobku a břitu.

Difuze existuje:

1. heterogenní - difundující prvek vniká do mřížky druhého materiálu a vytváří z ní tuhý roztok.
2. reaktivní - difundující prvek vytváří s látkou druhého materiálu mezikovovou sloučeninu.

Difuze závisí pouze na chemickém složení obou materiálů, teplotě a měrném tlaku a také na relativní rychlosti s níž se difundující materiály pohybují. Vzájemná difuze prvku z materiálu břitu do materiálu obrobku pak vede k rozrušení krystalické sítě mezní vrstvy materiálu břitu.

d) Chemický otěr

Chemickým otěrem rozumíme vytváření defektní vrstvy na povrchu materiálu řezného nástroje v důsledku probíhajících chemických reakcí mezi obrobkem a břitem nástroje. Intenzita těchto reakcí zpravidla silně závisí na teplotě a s překročením 700°C náchylnost k existenci chemických reakcí silně vzrůstá. S tímto druhem opotřebení se setkáváme u tzv. supertvrdých materiálů, SK i ŘK.

e) Porušení břitu křehkým lomem

Při porušení nástroje křehkým lomem může docházet k porušení břitu řezného nástroje jak v makroobjemech tak i v mikroobjemech. Princip spočívá ve vysokém teplotním spádu mezi povrchovou vrstvou a ostatním materiálem nástroje, jež je příčinou pro vznik silných vnitřních pnutí. Výskyt takovýchto porušení je pravděpodobný u materiálů s nízkou houževnatostí a malou tepelnou vodivostí. To znamená, že se jedná hlavně o slinuté karbidy a řeznou keramiku.

f) Plastická deformace břitů

Předpokladem pro vznik tohoto opotřebení je určitý stupeň plasticity povrchových vrstev materiálu břitů, jehož je dosaženo vysokým mechanickým zatížením spolu s vysokou teplotou v místě řezu. Velkou roli zde hraje koncentrace tepla v nástroji, zejména při obrábění měkkých a tepelně špatně vodivých materiálů obrobků. Často k takovému druhu otupení dochází u řezných materiálů s nízkou tepelnou vodivostí, tzn. SK plátků a řezných keramických nástrojů, které špatně odvádějí teplo z místa řezu a to se zde kumuluje. Extrémem takového otupení je tzv. lavinový otěr.

To jsou ve skutečnosti veškeré možnosti, jak může docházet k opotřebení břitů řezných nástrojů. Samostatné opotřebení bývá většinou zapříčiněno koexistencí několika z výše uvedených případů. Určení mechanismu opotřebení břitů řezného materiálu bývá primární otázkou při řešení problému zvýšení trvanlivosti břitů rozličných řezných materiálů. Není snad však nutno zdůrazňovat, že právě tento základní krok může často činit nemalé problémy.

V následujícím se pokusím interpretovat poznatky různých autorů na příčiny opotřebení břitů keramických řezných materiálů.

Podle [2] je opotřebení keramických řezných materiálů na bázi Al_2O_3 - SiC zapříčiněno jednak brusným otěrem mikročástic rozrušeného povrchu břitů, jednak křehkým lomem lasturového tvaru větších objemů materiálů. Vzniku křehkého lomu napomáhá malá tepelná vodivost těchto materiálů a jejich velká křehkost. Na otupování břitů nástrojů ze slinutého korundu se určitou měrou podílí také adhezní a chemický otěr. Adhezní otěr podporuje vysoká teplota stykových míst. Dochá-

zí zde k nalepování částic třísky. Otupování brusných zrn probíhá odlišně u zrn z Al_2O_3 a u zrn z SiC . Zrna z kysličníku hlinitého se otupují z největší části mechanickým rozrušováním povrchových vrstev zejména v těsné blízkosti ostří. Napomáhá k tomu také přerušovaný řez, jehož vlivem se styková místa opakovaně zahřívají na teplotu přes 1200°C a opět ochlazují. Vzniklé střídavé ohřátí a vychladnutí vyvolává velké vnitřní tahové pnutí, které způsobuje rozrušování povrchových vrstev zrn. Adhezní otěr se v tomto případě podílí na celkovém otupení malou měrou. U brusných zrn karbidu křemíku přistupuje k těmto formám otupení difuzní otěr. Vlivem vysoké povrchové teploty zrna zde difunduje uhlík do oceli. To vede k oduhličování mezní vrstvy, která měkne a snadno se otírá.

Podobný pohled je možno sledovat v [7]. V tomto článku američtí vědci popisují jejich poznatky na základě testu, který provedli. Podle autorů této zprávy jsou typickou příčinou poškození či zlomení ostří keramických, cermetových destiček trhlinky způsobené tepelně mechanickým namáháním. Jak to ukazují mikrografie dvou zkoušek A a B, provedených na elektronovém mikroskopu v laboratořích Kennametalu. Obě zkoušky byly provedeny s destičkami o složení $70\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 30\% \text{TiC}$, lisovanými za tepla. Zkouška A byla provedena při hloubce řezu $2,5 \text{ mm}$ a posuvu $0,25 \text{ mm/ot.}$ Obtížnější byla zkouška B při hloubce řezu $5,1 \text{ mm}$ a posuvu $0,51 \text{ mm/ot.}$ Při 30 násobném zvětšení a 150 násobném zvětšení originálu vypadají obě destičky ještě velmi dobře. Při zvětšení 600 násobném se však ukázaly u testu A na destičce mikrotrhliny v oblasti výmolu a při 2000 násobném zvětšení dokonce v oblasti K. Tytéž praskliny je však možno u destiček podrobeným testu B pozorovat již při zvětšení 520 násobném a následně pak v 1000 násobném. To znamená, že v tomto případě mají prask-

liny větší rozměry. Odborníci předpokládají, že zkouška A bude pokračovat tak dlouho, až opotřebení břitů dosáhne kritické hodnoty. U destičky při testu B se však předpokládá její zničení během 1 až 4 minut jako následek mikrovylamování ostří, protože se mikrotrhliny rozrůstají a spojují a částčky se vylamují.

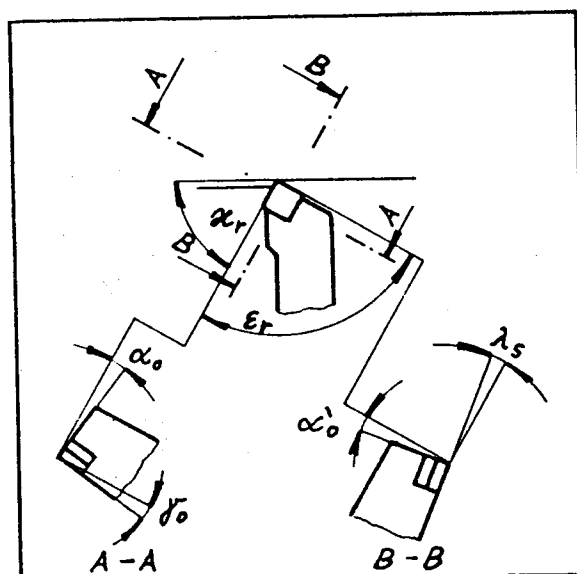
Tedy předčasné selhání keramických destiček je vlastně vždy způsobeno vylamováním, popraskáním a zlomením břitů. Příčinou bývá typické přetěžování mechanické nebo tepené rázy nebo některé jejich kombinace. Jednou z potíží analýzy náhlých poškození je to, že k takovým poškozením dochází neobyčejně rychle, protože jakmile začne pracovat mechanismus poškození, dojde k prasklině ostří a důkaz je již zničen nebo ztracen.

Z této zprávy plyne, že opotřebení keramických řezných materiálů je velmi závislé na správné volbě optimálních řezných podmínek. Některé z nejdůležitějších zásad pro úspěšné nasazení keramických řezných materiálů jsem uvedl v následujících kapitolách.

2.2 Možnosti předcházení předčasnému opotřebení keramických řezných materiálů [1]

2.2.1 Osvědčená geometrie, druhy destiček, upínací systémy Geometrie nástrojů

Geometrie nástroje s břitovou destičkou je tvořena z několika částí.



Obr. č. 9

- geometrie a tvar břitové destičky
- provedení břitu
- geometrie uložení destičky v tělese nástroje.

Určité faktory pro vytvoření řezného klínu vyplývají z fyzikálních vlastností řezných materiálů. Oxidová nebo směsná, popřípadě i neoxidová keramika zajišťuje:

- vysokou odolnost proti tlaku a opotřebení
- menší pevnost ohybu.

Z toho vyplývá požadavek na stabilní ostří a geometrii, která zajišťuje zatížení destičky převážně na tlak a méně pak již na ohyb. Toho se dosáhne co možná největším úhlem špičky a úhlem nastavení (90°), většími rádiusy špičky (1 až 2mm) a i negativním úhlem čela a úhlem sklonu ostří. Další stabilizace břitu je možno dosáhnout negativní fazetkou, za-

oblením nebo kombinací obou způsobů. Pozitivní úhel čela je určený jen pro dokončovací operace.

K jednotlivým parametrům geometrie nástroje je třeba poznamenat:

- úhel hřbetu α

Úhel hřbetu je všeobecně kolem 6° . Menší úhly hřbetu vedou k odtlačování nástroje. Větší úhly hřbetu přicházejí v úvahu jen ve zvláštních případech. U nástrojů s břitovými destičkami je úhel hřbetu funkcí uložení v držáku.

- úhel čela β

Negativní úhly čela se ukázaly u řezné keramiky jako výhodné. Při obrábění zachycují převážně tlakové zatížení a sotva některé ohybové zatížení. Díky odolnosti proti opotřebení těchto řezných materiálů nevznikají z toho žádné nevýhody pokud se týká trvanlivosti břitu.

- úhel břitu β

Břítové destičky z ŘK se používají především s úhlem břitu 90° . Menší úhly břitu (79° nebo 83°) zeslabují břit a předpokládají soustružení načisto a dokončovací jemné soustružení.

- úhel sklonu ostří λ_s

Pro úhel sklonu platí totéž co pro úhel čela. Je negativní, aby ohybové zatížení řezného klínu se co nejvíce snížilo.

- úhel špičky ξ_r

Úhel špičky určuje ve velké míře stabilitu špičky. Je dán obráběcím postupem a konturou obrobku. Pro normální podélné a rovinné soustružení by měl být 90° nebo větší. Pro obrobky

s pravouhlými tvary přichází v úvahu kosočtvercové destičky (80° nebo 75°). Pro kopírovací soustružení je úhel špičky 55° .

- poloměr špičky r_ϵ

Pro řeznou keramiku jsou účelné větší poloměry. Jako běžné velikosti se vyrábějí radiusy 1,2 a 1,6 mm. Menší poloměr se doporučují jen pro dokončovací operace. Velké poloměry špičky nebo i kruhové destičky jsou kvůli vysoké tuhosti velmi vhodné.

- úhel nastavení α_r

Úhel nastavení fixuje polohu hlavního ostří ke směru posuvu. Určuje zároveň šířku a tloušťku třísky. Čím je úhel nastavení menší, tím menší je při daném posuvu tloušťka třísky a tím také specifické zatížení břitu.

Nezávisle na úhlu nastavení platí pro průřez třísky S

$$S = h \times s = b \times a \text{ (mm)} \quad (4)$$

Pro normální soustružení je nejvhodnější úhel nastavení 75° .

Vyměnitelné řezné destičky dle ISO

Břítové destičky z řezné keramiky jsou normovány dle ISO 1832. Svým geometrickým tvarem a rozměry odpovídají až na jednu tloušťku destičky plně břítovým destičkám ze SK. Zajímavé v této souvislosti je, že první standardizace destiček v USA byla provedena v palcových jednotkách. Z důvodu mezinárodní výměny se tohoto normování Evropa a ostatní svět později zřekly. Palcové rozměry byly však u nás přeneseny - přepočítány do metrického systému. Tím se vysvětlují u destiček rozměry jako 12,7, 9,52, 4,76, atd. Větší zvolená tloušťka destiček z ŘK 7,94 mm ve srovnání se SK 4,76 znamená větší tuhost a vyrovnává menší pevnost ohybu řezné keramiky.

Čtvercové břitové destičky jsou nejpoužívanější, neboť poskytují vysokou tuhost. Jsou velmi vhodné pro hrubování, ale i obrábění na čisto.

Kosočtvercové břitové destičky se používají pro hrubovací operace, pro dokončovací pak možno použít upnutí za otvor.

Trojúhelníkové břitové destičky se doporučují výhradně pro obrábění na čisto. Destičky s úhlem hřbetu 11° se doporučují pouze pro jemné dokončovací oprace.

Kruhové břitové destičky nabízejí optimální tuhost tvaru. Způsobují však větší pasivní síly, což vyžaduje stabilní obráběcí stroj. S úspěchem se používají i pro jemné obrábění.

Kompletní katalog keramických břitových destiček firmy DIAS a.s. je přiložen v příloze č.3 (včetně značení).

Držáky břitových destiček

Držáky pro vyměnitelné břitové destičky z řezné keramiky jsou normovány dle ISO 5608. Svým geometrickým tvarem a rozměry odpovídají až na jednu skupinu pro tloušťku destičky 7.94 mm držákům pro destičky ze SK. Systém označování je stanoven rovněž normou ISO (viz. příloha č.3).

Upínací systémy

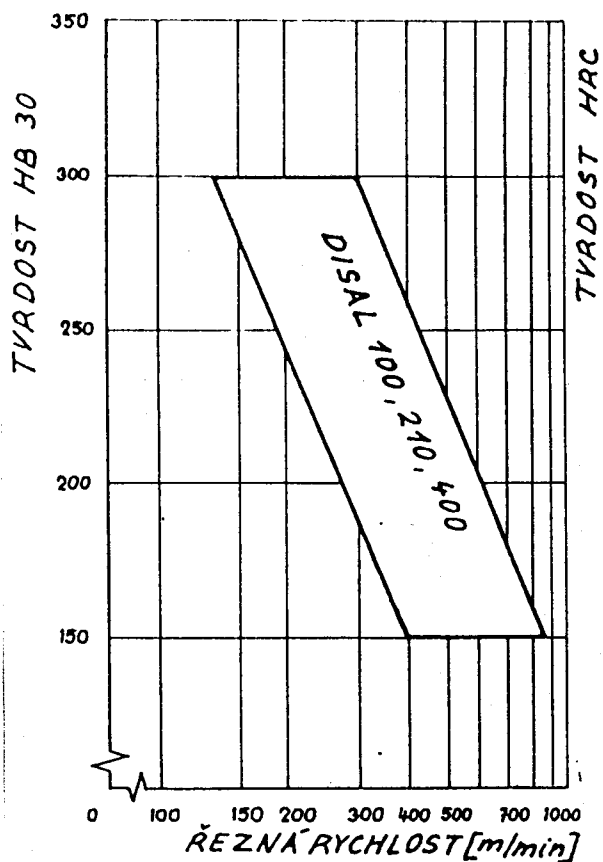
Upínací systém je spojovacím členem mezi vyměnitelnou břitovou destičkou a tělesem nástroje. Přebírá důležitou funkci, kde platí:

- nástroje s břitovými destičkami nemohou být zatíženy více, než to dovolí upnutí nebo řezný materiál (viz. příloha č.3).

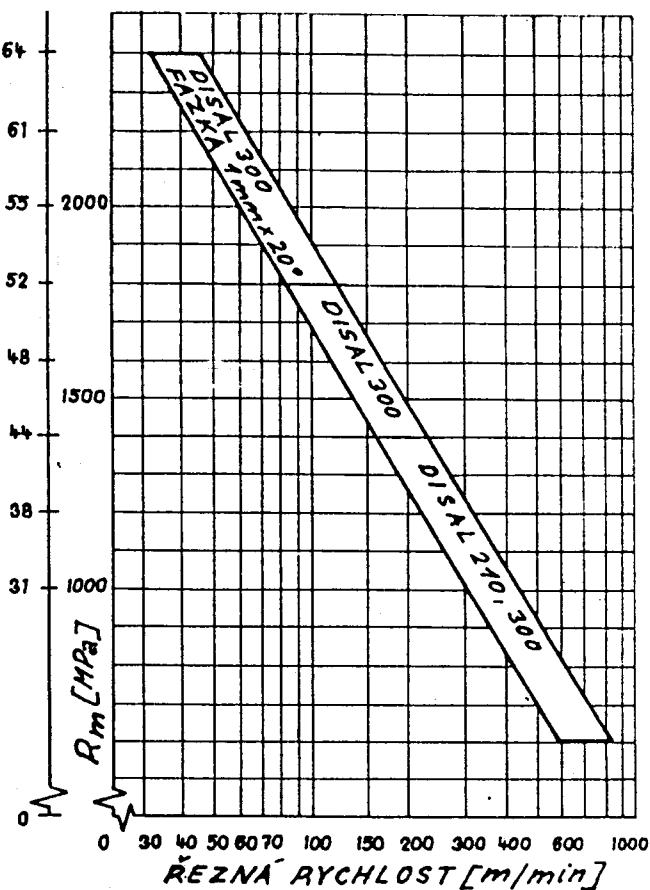
2.2.2 Osvědčené řezné podmínky a jejich stanovení

Volba řezné rychlosti

Na základě vysoké teplotní odolnosti a odolnosti proti opotřebení dovolují tyto řezné materiály v závislosti na tvrdosti litiny (dle Brinella) řezné rychlosti až 1000 m/min a více. Z důvodů ekonomických je trend téměř výlučně k vysokým hodnotám. Ale i u relativně nižších řezných rychlostí (mezi 100 a 200 min) vykazuje řezná keramika vynikající parametry. Při obrábění šedé litiny jsou dnes při hrubování praktické střední hodnoty mezi 350 až 600 m/min. U soustružení na čisto se pohybují mezi 400 a 800 m/min. Volba optimální řezné rychlosti závisí na optimální trvanlivosti z hlediska výrobních nákladů na podmínkách obrábění jako je hmotnost a tvar obrobku, obráběcí stroj, upnutí obrobku atd. U obrobků střední hmotnosti se pohybuje hospodárná trvanlivost mezi 5 a 15 minutami. U větších obrobků se mohou dosáhnout hodnoty do 60 minut a výše. Pro keramické řezné materiály Si_3N_4 platí stejné ukazatele. Neměla by se však překračovat podstatně řezná rychlost 600 m/min. Volba řezné rychlosti v závislosti na rychlosti del Brinella viz. obr. č.10.

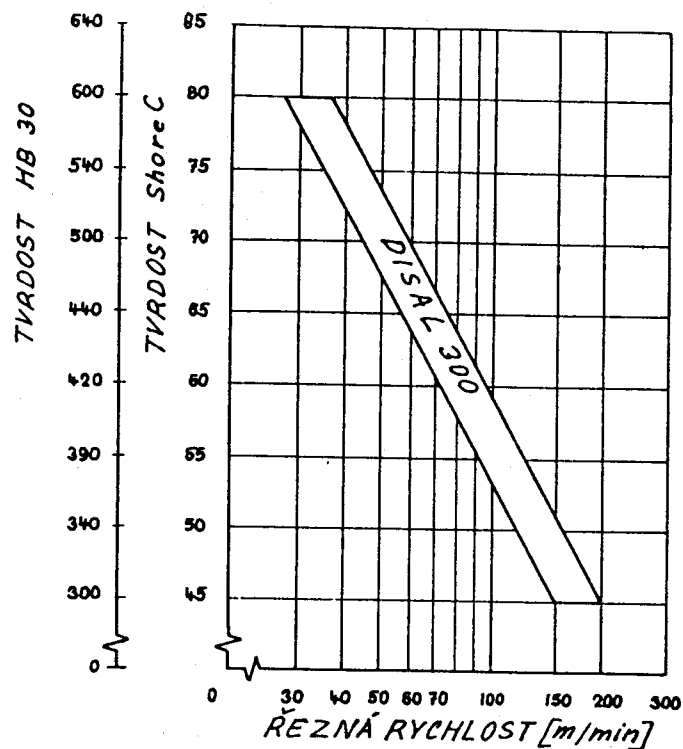


Obr. č. 10



Obr. č. 11

Obrázek č. 11 udává ukazatele obrábění cementačních a zušlechťených ocelí pro DISAL210 a DISAL300. Bez ohledu na jejich legovací složky je třeba volit rychlost řezu v závislosti na pevnosti v tahu. V ostatním platí pokyny jako při obrábění litiny. Řeznou rychlost pro soustružení tvrzené litiny je třeba volit dle obrázku č. 12.



Obr. č. 12

Volba posuvu a hloubky řezu

Směrodatnou veličinou pro zatížení břitu je síla F . Tato síla se určí z průřezu třísky a měrné řezné síly.

$$F = S \times p \text{ (N)} \quad (5)$$

$$\text{Přičemž } S = h \times s = b \times a \text{ (mm)} \quad (4)$$

Pro zatížení břitu je tedy hodnota a kritickou veličinou. Není vhodné volit hodnoty extrémně vysoké v rámci zamezení přetížení břitu, ale rovněž nevolit tyto hodnoty příliš malé, neboť při nízkých tloušťkách třísky dochází k intenzivnějšímu opotřebení hřbetu břitové destičky a zahřívání

obrobku. Minimální hodnoty tloušťky třísky se v závislosti na druhu řezné keramiky pohybují mezi 0,05 až 0,25 mm. Maximální možná hloubka řezu se počítá z přípustné šířky třísky v závislosti na zvolené tloušťce. Hloubka řezu by rovněž neměla být menší než určitá minimální hodnota (0,3mm), neboť při použití příliš malých hloubek řezu dochází k intenzivnějšímu opotřebení hříberu a je ztíženo dodržení rozměru. Je však všeobecně známo, že větší posuvy (tloušťky třísky) jsou při obrábění řeznou keramikou hospodárnější než menší. Znamenají kratší dobu záběru, menší opotřebení a menší měrné řezné síly. Mimo to je ještě využito lépe výkonu vřetene obráběcího stroje.

2.2.3 Zásady pro obrábění s nástroji z řezné keramiky

Přesné znalosti výhod a nevýhod keramických řezných materiálů jsou základní podmínkou pro jejich správné použití. Jak vyplývá z předcházejících odstavců je přednost těchto nástrojů ve vysoké tvrdosti a vynikající odolnosti tlakové, teplotní a proti opotřebení. Nadto jsou chemicky stálé. Další výhodou těchto materiálů je v použitých surovinách, jsou téměř v neomezeném množství k dispozici všude ve světě. Slabina řezné keramiky (pevnost ohybu) se zlepšuje vhodnou geometrií nástroje a speciální konstrukcí upínacích nástrojů. Aby se však zajistil plný úspěch při praktickém nasazení, mělo by se dbát na následující základní pravidla:

- obrábět materiály vhodné zvláště pro keramiku. Všeobecně se dají obrábět hospodárně šedá litina, perlitická litina, tvrzená litina, cementační a zušlechtnuté oceli, kalené nástroje atd. Řezná keramika je většinou nevhodná k řešení problémů s jakýmkoliv exotickým materiálem.
- dávat přednost stabilním tvarům nástrojů. Kruhové a čtvercové destičky dávají vysokou tuhost a provozní jistotu. Kosčtvercové břitové destičky používat jen tam, kde to tvary

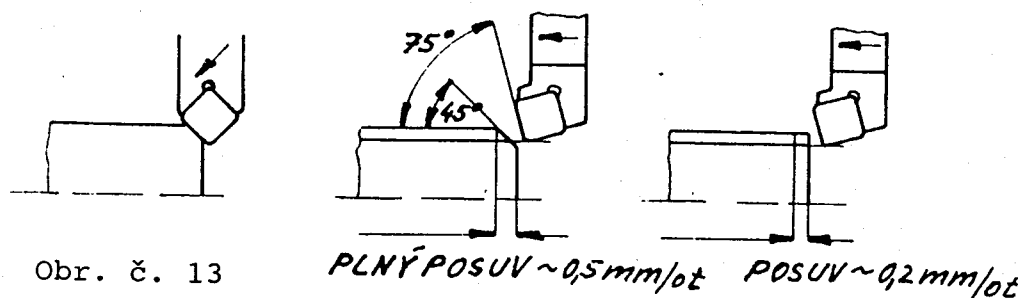
- obrobku, respektive postup obrábění vyloženě předepisují.
- při přechodu na řeznou keramiku nepřebírat bez dalšího pracovní postupy s destičkami ze slinutých karbidů. Plně využít možnosti moderních obráběcích strojů ve výkonu, tuhosti, plynulých změnách parametrů atd.
 - nepřetěžovat keramiku s ohledem na průřez třísky. Zvolit posuv na otáčku mezi 0,2 a 0,5 mm. Hloubky řezu do 5 mm jsou jistou oblastí.
 - řezná keramika dovoluje vysoké řezné rychlosti. Toho by se mělo také ve smyslu hospodárnosti plně využít. Omezení je většinou dáno dosažitelným výkonem stroje, bezpečným upnutím obrobku atd.
 - výhodná trvanlivost břitu u řezné keramiky začíná 5 minutami. Je třeba navzájem srovnávat nikoliv trvanlivost, ale obrobené množství, tj. počet obrobených obrobků na jeden břit.

Technika záběru

Keramické řezné materiály jsou citlivé na řezné síly působící rázem. Totéž platí pro rychlé střídání teplot. Tato zatížení mohou vést k předčasnému křehkému lomu břitu. Použití účelné techniky záběru může tato nebezpečí podstatně snížit. Kritické oblasti pro mechanické a tepelné zatížení rázem jsou při vstupu nástroje do záběru a tam, kde nástroj ze záběru vychází. Doporučuje se, aby síla i teplota v těchto případech vzrůstaly i klesaly postupně. K tomu jsou dvě možnosti:

- hrana obrobku se zvláštním nástrojem pod úhlem nastavení 45° srazí. Velikost sražené hrany musí být větší než bude předpokládaná hloubka řezu. Vlastní soustružnický nástroj s úhlem nastavení 75° je pak zatěžován plynule od počátku záběru až k maximální hodnotě při dosažení plné hloubky řezu.
- jestliže z některých důvodů nemohou být hrany obrobku pře-

dem sražený, doporučuje se až do dosažení plné hloubky řezu omezit posuv na 0,1 až 0,2 mm/ot teprve potom zvýšit posuv na předpokládanou hodnotu (viz. obr. 13).



Při vyjetí nástroje ze záběru se postupuje stejně. U obrobků z křehkých materiálů se tím sníží nebezpečí vylamování.

Tato speciální technika záběru platí hlavně pro hrubování, při soustružení načisto a dokončovacích operací nepřináší žádné větší výhody.

2.3 Problém předčasného opotřebení Si_3N_4 břitových destiček

Jak jsem se již zmínil v předcházejících kapitolách, řezné materiály na bázi nitridu křemíku se liší od oxidových popřípadě směsných keramických materiálů, zejména jejich relativně vysokou necitlivostí vůči teplotním šokům a zřetelně vyšší pevností v ohybu. Tyto příznivé charakteristiky jsou však vyváženy sníženou tvrdostí a pevností v tlaku.

Materiál na bázi Si_3N_4 se s velkým úspěchem používá pro obrábění litiny šedé, temperované a podle některých zdrojů i žáruvzdorných ocelí. Vedle soustružení se dá použít i pro

frézování. Je velmi vhodný pro technologie, kde je nezbytný přerušovaný řez. Velkým problémem však zůstává ta skutečnost, že tyto řezné materiály na bázi Si_3N_4 se nedají použít pro obrábění ocelí, byť i pouze ocelí nízkouhlíkatých, protože na těchto materiálech dochází k velmi rychlému opotřebení břitů. Dokonce i při poměrně nízkých obráběcích rychlostech (100 či 200 m/min) dochází k velmi rozsáhlému úbytku jak na hřbetní části břitové destičky, tak i na čele, kde vzniká poměrně hluboký výmol. Toto vše ve velmi krátkém časovém rozpětí (2 až 3 minuty).

Nebýt této skutečnosti, byly by břitové destičky na bázi Si_3N_4 velmi perspektivním řezným materiálem, neboť v porovnání se slinutými karbidy jsou k dispozici poměrně velké a levné surovinové zdroje a v oblasti použití by zastupovaly několik tříd slinutých karbidů. Toto vše samozřejmě již platí v menším rozsahu pro použití na obrábění litiny. Avšak v případě rozšíření použití na ocel by užitečná hodnota těchto řezných materiálů ještě vzrostla. Tato úvaha vedla odborníky v a.s. DIAS k tomu, že se začali otázkou předčasného opotřebení siliciumnitridových břitových destiček zabývat podrobněji. Na základě [6] vypracovali teorii, že příčinou opotřebení těchto materiálů jsou chemické reakce mezi Fe, Mn, Si_3N_4 a kyslíkem. Ve stručnosti bych zrekapituloval obsah tohoto článku.

Nástroje založené na bázi Si_3N_4 jsou efektivní při použití ve vybraných obráběcích operacích. Proto je velmi aktuální identifikovat faktory, které mohou ovlivnit opotřebení Si_3N_4 . V případě, že by byl zjištěn mechanismus opotřebování, dalo by se přistoupit k systematickému postupu pro zamezení takového opotřebení. Proto byla zkonstruována celá řada experimentů pro vyšetření interakcí mezi Si_3N_4 - litina při vzájemném kontaktu.

Postup provedeního experimentu

Kotoučky nitridu křemíku obsahující 8% yttria byly připraveny metodou vysokoteplotního lisování při 1750°C a 31 MPa. Z těchto kotoučků byly vyrobeny jednak kolíčky o rozměrech $1\text{ cm} \times 0,3\text{ cm} \times 0,3\text{ cm}$ mající polokulaté konce a nástrojové destičky $1,27\text{ cm} \times 1,27\text{ cm} \times 0,3\text{ cm}$ (SNG 434) pro další (konečnou) fázi experimentu požadované prášky Si_3N_4 byly vyrobeny rozdrčením a prosátím již slinutých vzorků z předchozích experimentů.

Byly provedeny obráběcí testy Si_3N_4 nástrojů v záběru se šedou litinou. Zahrnovaly hrubovací čelní operace představované přerušovanými řeznými podmínkami, a soustružnické operace představované plynulými řeznými podmínkami. Reprezentativní obráběcí podmínky zahrnovaly:

- 152 až 304 m/min - řezná rychlost
- 0,012 - 0,305 mm/min - posuv
- od 0,063 do 0,093 mm a od 1,6 do 2,36 mm hloubku řezu.

V druhé části (laboratorní) bylo použito strojního zařízení ve kterém byly upevněny tyčinky, jež bylo možno přitlačovat ve sledovatelných zařízeních proti vyměnitelným kotoučům rotujícím ve volitelných rychlostech. Tyto kotouče byly vyrobeny z litiny. Zátěž na kolíček byla 176 N. Vycházející z rozměrů kolíčku a šíře stopy opotřebení toto zařízení odpovídalo tlaku 345 MPa, což je rozumné přiblížení tlaku mezi nástrojem a obrobkem při procesu obrábění. Rychlost 308 m/min také dobře simuluje obráběcí podmínky.

Na nástrojových destičkách na bázi Si_3N_4 byly pozorovány struskové nebo skleněné depozice v blízkosti hrotu nástroje. Bylo to pozorováno u destiček, které se opotřebovaly po dlouhodobém užívání ve strojních operacích v záběru se šedou litinou. Podrobným pozorováním na elektronovém mikroskopu (SEM) se ukázalo, že tyto depozice byly popraskané, a ta-

ké to že obsahovaly vysoké koncentrace Si, Fe a Mn. Množství těchto látek se zvětšovalo s růstem času užívání. Toto pozorování naznačilo, že formace strusek byly nějakým způsobem spojeny s opotřebením a úbytkem Si_3N_4 materiálu.

Protože řezné nástroje jsou relativně nepohodlné pro práci a manipulaci v laboratorních podmínkách, byly použity pro výzkum povrchových interakcí mezi Si_3N_4 a litinou tyčinky, které se přitlačovaly proti rotujícím kotoučům ze šedé litiny na testovacím stroji na tyčinky a kotouč pod zatížením a rychlostí typickou pro strojní operace. Po dlouhodobém testování se na tyčinkách objevily očekávané stopy opotřebení. Nicméně výsledky krátkodobých testů byly zajímavější. Po čtyřech minutách testování se objevily stopy opotřebení na litinovém kotouči, ale na siliciumnitridové tyčince nebyly pozorovány nijaké známky opotřebení. Byly však pozorovány stopy nějakého materiálu na povrchu tyčinky. Zkoušky SEM a EDX (energy dispersin Xray analyse) odhalili, že tento materiál se skládal v první řadě ze železa a manganu v poměru 2 Mn : Fe.

Analytická metoda nemohla prokázat kyslík a není ani známo zda Fe a Mn byly ve formě kovů nebo oxidů. Analýza kotoučů prostřednictvím SEM neukázala nijaké rozdíly ve složení mezi stopami opotřebení a nedotčenými plochami několik milimetrů od těchto stop. Nutno poznamenat, že zatímco litinové kotouče obsahovaly Fe, Mn, Si, Cr, Ti, K a S, byly na povrchu Si_3N_4 kolíčku nalezeny pouze stopy po Fe a Mn (na plochách záběru s litinou). Analýzy plošek tyčinky, které nebyly v kontaktu s kotoučem, ukázaly stopy po železu, ale žádný mangan nebyl zjištěn.

Takže můžeme shnout, že železo a mangan byly přeneseny z povrchu litinového kotouče na Si_3N_4 tyčinky. Poněvadž je známo, že teplota na nástroji při kontaktu destička - obrobek může dosáhnout až 1200°C , pokusili jsme se zjistit reak-

ce mezi Fe a Mn a Si_3N_4 při zvýšených teplotách, abychom mohli určit, zda by tyto reakce mohly mít něco společného s opotřebením Si_3N_4 nástrojových destiček ve strojných podmínkách.

Směsi práškového Si_3N_4 + Fe, Si_3N_4 + Mn a Si_3N_4 + 2Mn + Fe byly stlačeny do paletok a zahřívány na vzduchu přes řadu teplot od 600°C do 1200°C a pak pozorovány metodou EDX. V obou případech směsi Fe a Mn se Si_3N_4 byly pozorovány kovové oxidy při teplotách 600°C - 800°C . Při 900°C byly pozorovány stopy křemene, jehož množství se zvětšovalo s rostoucí teplotou. Při 1200°C byla pozorována formace kov - křemík. Nicméně žádné náznaky tání nebyly zaznamenány. V případě směsi Si_3N_4 se 2Mn + Fe se kovové oxidy formovaly při 600°C až 800°C . V teplotách nad 900°C se koncentrace MnO_2 začala snižovat, kdežto koncentrace SiO_2 vzrůstala. Rovněž tu vznikla nová směs MnSiN_2 . Přitom tekuté fáze byly pozorovány v 800°C až 900°C , přičemž očividně tály při 1000°C . Poněvadž kovové oxidy byly pozorovány v kapalně fázi produktů vzniklých při reakci, byly předcházející experimenty opakovány v dusíkové atmosféře. Žádná stopa v kapalně fázi nebyla pozorována při zahřívání směsi Si_3N_4 + 2Mn + Fe do 1000°C . Tento výsledek prokázal, že kyslík tak jako mangan jsou nezbytné pro vznik formací s relativně nízkou tající fází mezi Si_3N_4 a Fe. Abychom mohli určit, zda koncentrace manganu na povrchu Si_3N_4 kolíčku třeného proti litinovému kotouči je charakteristická pro tento materiál, experiment byl opakován s několika jinými reznými materiály. Materiál přenesený na povrchy tyčinek byl analyzován a porovnáván s povrchy kotoučů. V každém případě byl materiál přenesený na tyčinky identický s materiálem kotouče. Nebylo zde pozorováno nijaké obohacení prvku o mangan nebo nějaká komponenta v menšině. Tolik zpráva autorů článku [6].

2.3.1 Náznak předpokládaných východisek

Předcházející článek se zabýval průběhem a mechanismem opotřebení keramických řezných destiček na bázi Si_3N_4 při záběru s litinou. Ovšem úvaha o chemických reakcích mezi $\text{Si}_3\text{N}_4 + 2\text{Mn} + \text{Fe}$, by se dala rozšířit i na oblast obrábění ocelí, neboť železo je v ní obsaženo ve stejné míře jako v litině a v některých ocelích se setkáme i s manganem. A proto teorie o vzniku nízkotavitelných fází při zvýšených teplotách by mohla stejně tak platit pro obrábění litiny i oceli. Na základě této analogie jsem se rozhodl přistoupit k experimentu.

Jak je popsáno v předcházejícím, pro vznik nízkotavitelných fází, byla nezbytná přítomnost vzduchu, tedy kyslíku. V případě opakování experimentu v ochranné atmosféře dusíku, nebyly tyto fáze pozorovány. Tzn., že kyslík by mohl být jednou z nezbytných podmínek existence chemických reakcí $\text{Si}_3\text{N}_4 - 2\text{Mn} - \text{Fe}$. Předkládaným východiskem by bylo vyloučení kyslíku z oblasti tvoření třísky. Toho bych dosáhl přiváděním argonu do místa řezu. Porovnáním opotřebení destiček v přítomnosti kyslíku a jeho absence, by se dala porovnat míra vlivu přítomnosti kyslíku na opotřebení těchto řezných materiálů. Další možností by mohlo být snížení teploty v oblasti třísky neboť jak je popsáno, vznik nízkotavitelných fází je pozorován okolo teplot $900^\circ\text{až } 1000^\circ\text{C}$. Vzhledem k tomu, že řezný materiál na bázi Si_3N_4 je poměrně odolný vůči teplotním šokům, přicházelo by v úvahu použití chladicí řezné kapaliny (olejové emulze), jejíž intenzivní zavádění do oblasti řezu by mělo zaručit potřebné ochlazení.

3 Provedení experimentu

3.1 Souhrnná informace o provedeném experimentu

Celý experiment byl založen na realizaci dlouhodobé zkoušky trvanlivosti obráběním. Porovnával jsem odolnost břitových řezných destiček z Si_3N_4 a Al_2O_3 . U destiček z Al_2O_3 jsem zkoumal vliv vnitřní struktury na odolnost proti opotřebení při obrábění oceli. K dispozici jsem měl materiály DISAL100, který se skádá prakticky výhradně z Al_2O_3 a materiál $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC}$. Jde o oxid hlinitý vystužený whiskery karbidu křemíku a to buď 20% nebo 10%. U materiálu Si_3N_4 jsem se zaměřil na porovnání trvanlivosti břitových řezných destiček v záběru s litinou a ocelí. V záběru ocelí jsem se pak snažil vypožorovat změnu trvanlivosti řezné destičky při určité rychlosti za různých podmínek. Jedná se o ochrannou atmosféru tvořenou inertním plynem argonem, přiváděným do místa řezu, a o intenzivní chlazení v průběhu obrábění. V závěrečné fázi jsem pak proměřoval teplotu řezu. Tuto teplotu jsem proměřil u destiček z Si_3N_4 pro doplnění informací o podmínkách případných chemických reakcí při obrábění oceli.

3.2 Popis experimentu

3.2.1 Popis stroje

Veškerá měření, tedy provedení dlouhodobé zkoušky trvanlivosti obráběním jsem provedl ve vývojových dílnách KOM na soustruhu SR 315 o výkonu přibližně 15KW. Tento soustruh poskytl dostatečný výkon a umožnil plynulou změnu otáček v rozsahu rychlostí 100 až 450 m/min.

3.2.2 Použité zkušební materiály

Obrobky:

1. Litina ČSN 422420, 190 HB
2. Ocel ČSN 12050.9

Nástroj:

1. Si_3N_4 o složení - 94% Si_3N_4 převážně v beta fázi
4% Y_2O_3
2% Al_2O_3

Označení destiček - D400 SNGN 120712

2. DISAL100 - Al_2O_3 - 99%
ZrO₂ - 1%

Označení destiček - D100 SNGN 120716

3. Destičky ruské výroby

- a) Al_2O_3 - 90%
whisker SiC 10%
SNGN 120412
- b) Al_2O_3 - 80%
whisker SiC 20%
SNGN 120412

Destičky byly upnuty do nožů:

NAREX ČSN NR 2525 M12K pro DISAL100 a 400.

COROMANT SBTR - 16 - 4 hR 174.1 - 2525 - 12 pro destičky s whiskery.

3.2.3 Použité řezné podmínky

Pro všechny zkoušky trvanlivosti jsem volil konstantní hloubku řezu $h = 1.5 \text{ mm}$ a posuv $s = 0.2 \text{ mm/ot.}$ Rychlost jsem volil 200, 300, 400, 450 m/min, ve speciálních případech jsem je ještě doplnil o rychlosti 100 a 250 m/min.

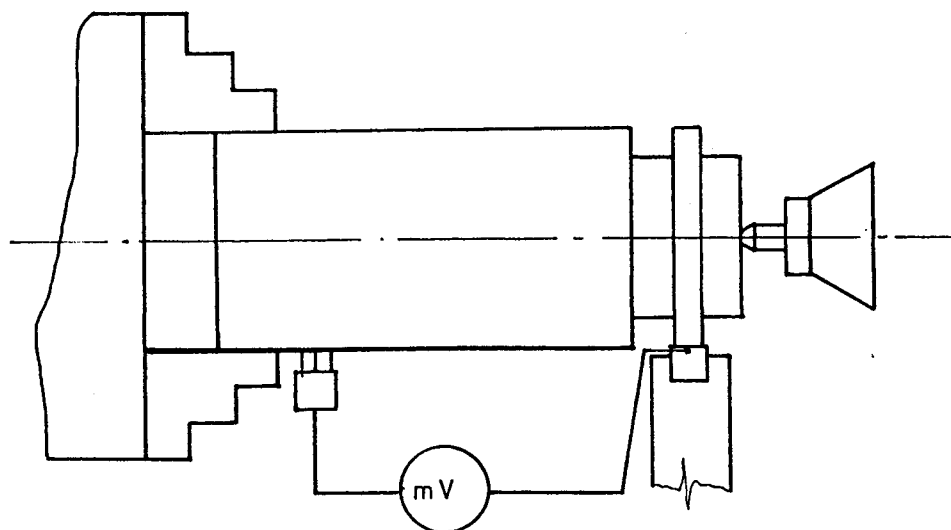
3.2.4 Popis měření teploty

Vzhledem k tomu, že mechanismus opotřebení břitových destiček z Si_3N_4 má s největší pravděpodobností charakter chemicko-difuzního opotřebení, je velmi důležité z hlediska

klasifikace a odůvodnění tohoto mechanismu znát přesně teplotu, při které tyto předpokládané reakce probíhají. Z tohoto důvodu jsem obsah této práce doplnil ještě o experiment proměření teploty řezu při rychlosti 450 m/min , $s = 0,2 \text{ mm/ot}$ a tloušťce řezu h cca 3 mm při ortogonálním soustružení.

3.2.4.1 Popis měřicího zařízení - princip

Pro měření teploty jsem zvolil metodu založenou na principu přirozeného termočlánu. Tato metoda je založena na termoelektrickém efektu. Fyzikální podstata spočívá v tom, že ve styku dvou různých kovů putují jednotlivé elektrony z kovu s menší výstupní prací do kovu s větší výstupní prací. Takto vznikající napětí závisí na teplotě spoje a druhu obou kovů. Přirozený termočlánek je tvořen obráběcím a řezným materiálem, které jsou při tvorbě třísky přivedeny do těsného vodivého spojení. Termoelektrická síla (TES) je vyvolána ohřátím stykových míst a je úměrná střední teplotě dotykových bodů mezi obráběným a řezným materiálem. Schematicky je možno toto zařízení znázornit následovně (viz obr.14).



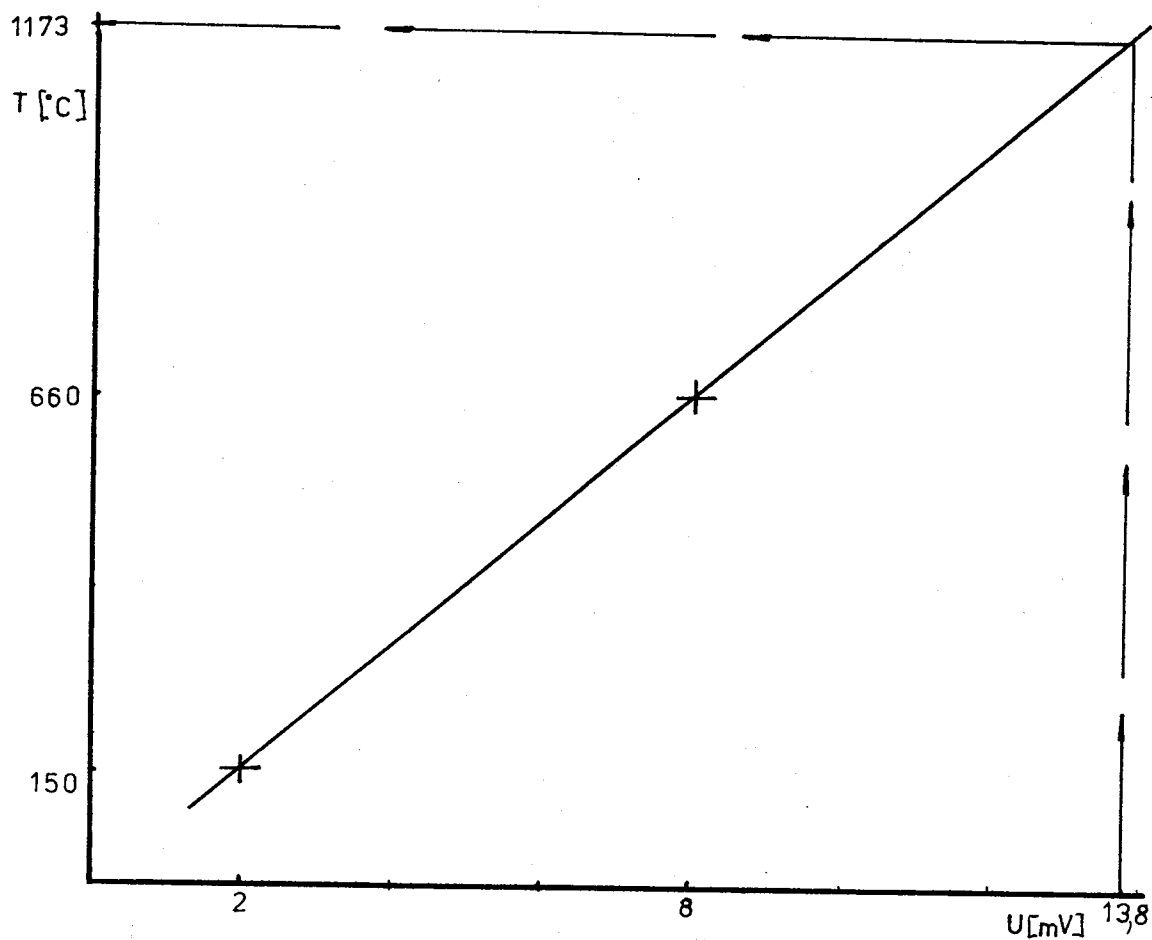
Obr. 14

Vzhledem k tomu, že materiál Si_3N_4 je tepelně i elektricky nevodivý, musel jsem do místa, ve kterém jsem měřil teplotu, zavést platinový drátek o průměru 0,3 mm. Břitovou destičku jsem diamantovým kotoučem rozpůlil a do jedné z půlek jsem vybrousil drážku na drátek. Vložil jsem drátek a obě části destičky jsem pevně stáhnul k sobě ve speciálním noži, jež jsem pro tento účel zkonstruoval. Viz. příloha 2. Při měření byl tedy využit termočlánek platina - ocel.

Naměřenou TES jsem snímal milivoltmetrem se souřadnicovým zapisovačem TZ 4200. Po ocejchování termočlásku platina - ocel, jsem určil teplotu, která vzniká při obrábění oceli destičkou z Si_3N_4 při dříve popsaných podmínkách.

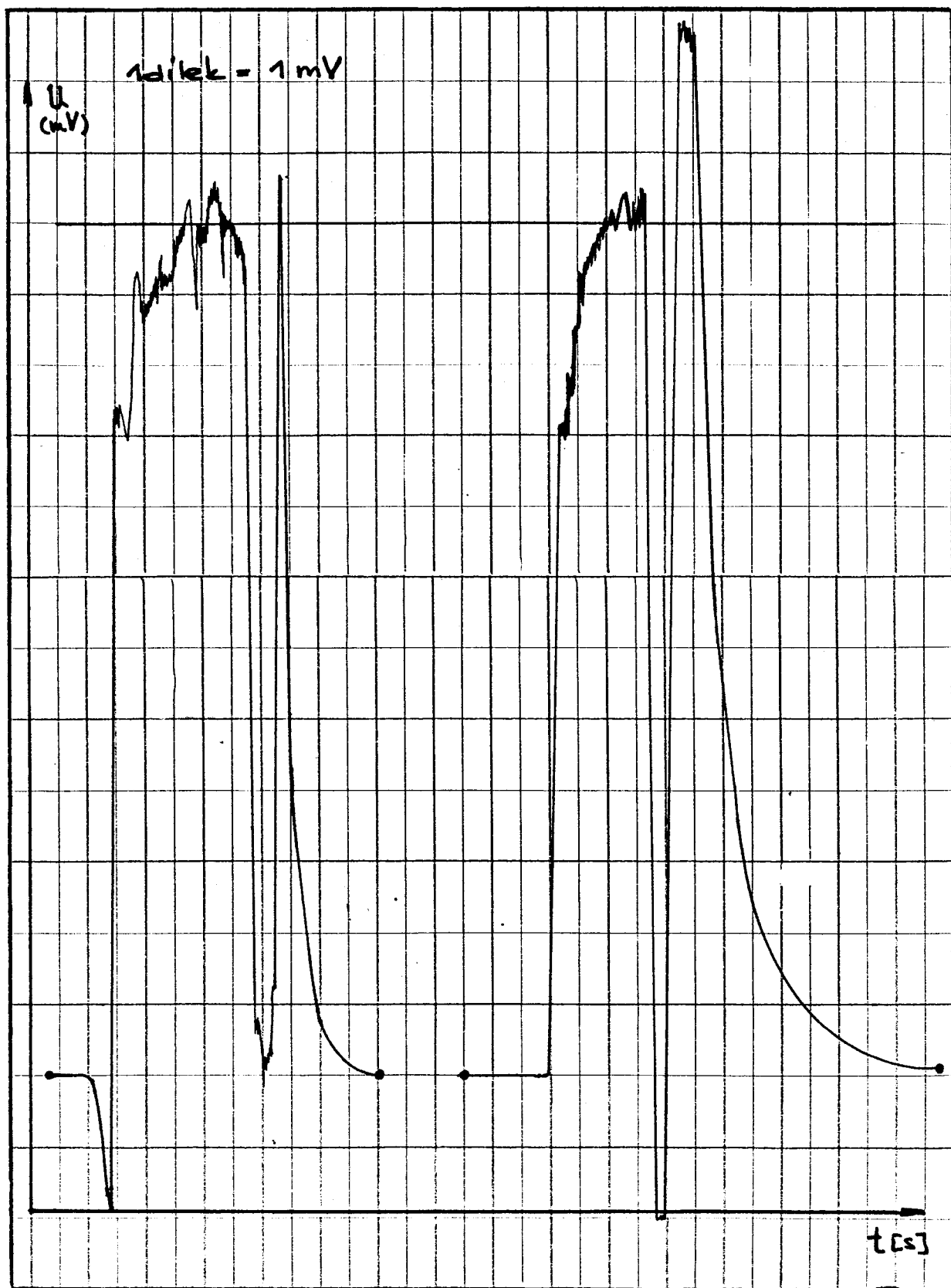
3.2.4.2 Naměřené hodnoty

Pro termočlánek platina - ocel platí lineární závislost mezi napětím a teplotou, jež je znázorněna na obr. č. 15.



Obr. č. 15

Na základě měření TES, jejichž průběh je znázorněn na obr. č. 16, je možno prohlásit, že teplota v místě řezu při obrábění břitovou destičkou z Si_3N_4 při $V_c = 450\text{m/min}$, $h = 3\text{mm}$ a $s = 0,2\text{mm/ot}$ je 1173°C .



Obr. č. 16

3.3 Souhrn naměřených hodnot opotřebení a trvanlivosti

Veškeré naměřené hodnoty opotřebení břitových destiček z Si_3N_4 , D100, $\text{Al}_2\text{O}_3 + 20\% \text{SiC}$ a $\text{Al}_2\text{O}_3 + 10\% \text{SiC}$, jsou ve formě tabulek zpracovány v příloze č. 1. V těchto tabulkách jsou již zaznamenány průměrné hodnoty opotřebení získané vždy z třech naměřených hodnot.

3.4 Vyhodnocení dat

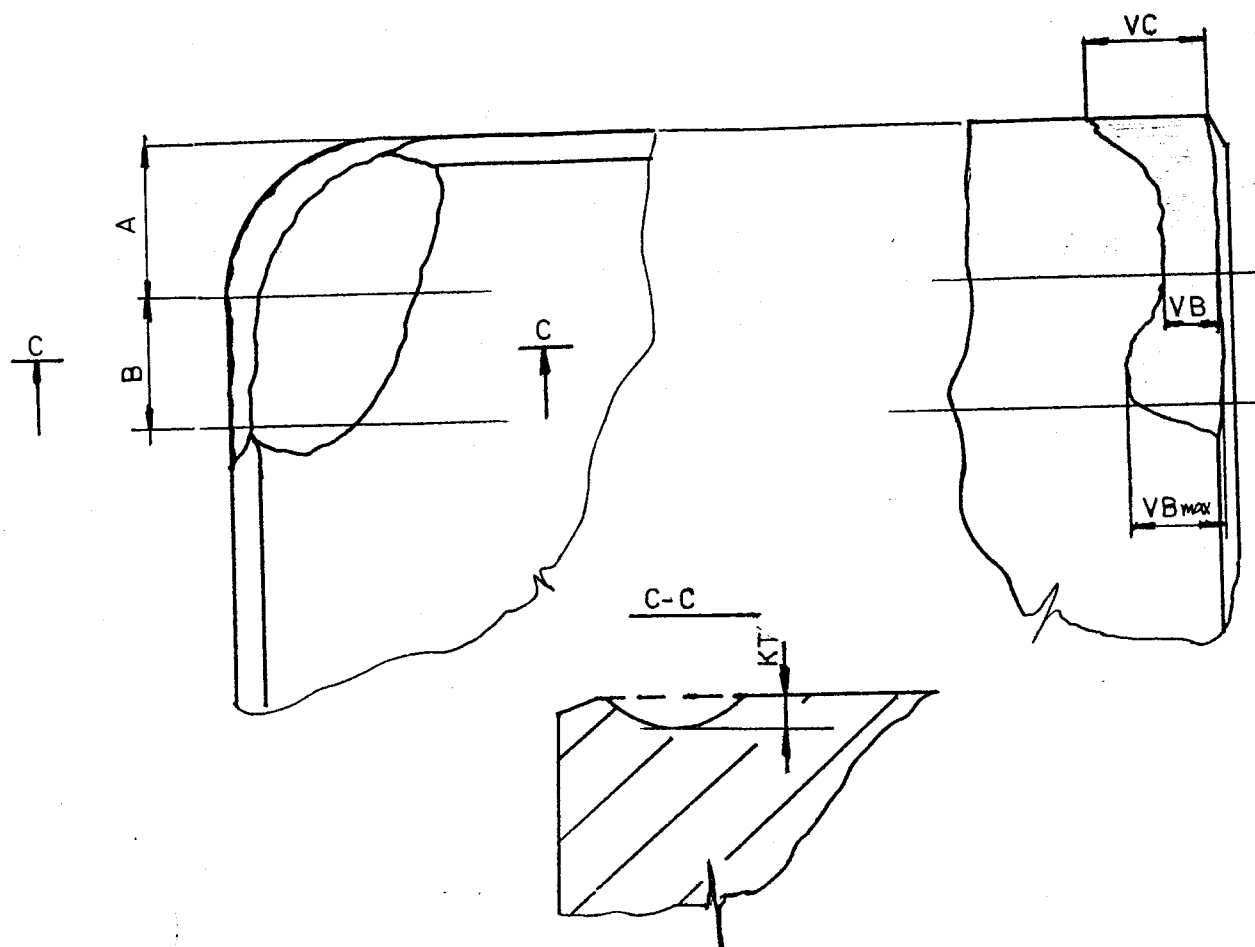
V průběhu experimentu jsem proměřoval opotřebení hřbetu a v některých případech i hloubku výmolu na čele.

Na hřbetě jsem tedy měřil:

VC opotřebení hřbetu na poloměru zaoblení špičky

VB střední šířka opotřebení na hřbetě měřená od původního ostří v oblasti B (viz. obr. č.17)

VBmax ... největší šířku opotřebení na hřbetě v oblasti B (viz. obr. č.17)



Obr. č. 17

Pro sestavení grafu opotřebení hřbetu v závislosti na čase jsem použil hodnoty VB_{max} , jejichž kritériální opotřebení jsem zvolil 0.3mm.

Tyto diagramy společně s diagramy T-v v logaritmických souřadnicích jsou přiloženy v příloze č. 1.

Vyhodnocení je provedeno na počítači dle programu diplomanta J. Němečka.

4 Zhodnocení získaných výsledků

Při obrábění litiny břitovými řeznými destičkami z Si_3N_4 se v podstatě potvrdila vhodnost tohoto řezného materiálu pro obrábění šedé litiny. Vzhledem k tomu, že pro keramické řezné materiály se považuje za vyhovující trvanlivost v rozmezí mezi 5-15 minutami, je tedy patrné, že pro řezný materiál z Si_3N_4 jsou optimální řezné rychlosti mnohem vyšší než 450 m/min. Usuzují tak na základě hodnot trvanlivosti pro rychlost 450 m/min, která je přibližně 25 minut. Je třeba ještě vzít v úvahu to, že kritériální opotřebení 0,3mm je pro tento řezný materiál poměrně malé a pro hrubovací operace může dosahovat mnohem vyšších hodnot.

Jak plyne z T-v diagramu v rozmezí rychlostí 200 - 300 m/min, je koeficient Taylorova vztahu n menší než v rozmezí 300 m/min a výše. Tzn., že od rychlosti 300 m/min dochází k výraznějšímu poklesu trvanlivosti při vzrůstu rychlosti, než tomu bylo v předešlém intervalu.

Úplně nevhodný je řezný materiál Si_3N_4 pro obrábění oceli. Jak potvrzují naměřené hodnoty opotřebení a trvanlivosti. Při obrábění oceli tímto řezným materiálem dochází k velmi rychlému a rozsáhlému úbytku materiálu na hřbetní části destičky. V porovnání s litinou dochází k poměrně výraznému opotřebení i na čele, kde vzniká velmi hluboký výmol, jehož hranice se velmi rychle přibližují k hraně břitu. Něco podobného nebylo u obrábění litiny vůbec pozorováno. Trvanlivost pod 5 minut je zcela nevyhovující a je možno říci, že tento řezný materiál se vůbec nehodí pro obrábění oceli.

Domníval jsem se, že příčinou tak nízké trvanlivosti při obrábění oceli jsou určité chemické reakce závislé na přítomnosti kyslíku a vysoké teplotě řezu. Ovšem dosahované hodnoty opotřebení na hřbetě břitové destičky z Si_3N_4 při obrábění v ochranné atmosféře argonu svědčí o nesprávnosti této úvahy. Byly naměřeny shodné hodnoty opotřebení na hřbetní i čelní části břitové destičky jako tomu bylo bez použití této atmosféry. Podobně dopadl i experiment, ve kterém jsem se snažil ochladit místo řezu a částečně tak zabránit těmto reakcím. Tyto experimenty jsem provedl při řezné rychlosti 200 m/min, a jelikož výsledky byly shodné s výsledky předešlého experimentu (bez ochr. atmosféry), pro další rychlosti jsem je již neprováděl.

Tato skutečnost však neznamena, že při obrábění oceli destičkami z Si_3N_4 nedochází k chemickodifuznímu opotřebení. Znamená to jen, že k těmto reakcím s největší pravděpodobností není potřeba atmosférický kyslík. Co se týče teploty, je dost možné, že se chladicí kapalina nedostala bezprostředně do místa řezu a tudíž nemohla splnit svou funkci.

Možným řešením by mohly být mechanismy popsané v [4], zde ruští autoři předpokládají reakce mezi Si_3N_4 a Fe, Cr nebo Ni za vzniku silicidů. Mechanismus této chemické reakce je pozorován od 900 °C a je popsán následující rovnicí:

$$\text{Cr (Fe, Ni)} + \text{Si}_3\text{N}_4 \longrightarrow \text{Cr (Fe, Ni) (Si, N)}$$

Vzhledem k tomu, že naměřená teplota řezu byla asi 1170 °C byl by tento průběh vcelku pravděpodobný. Zůstává však otázka, proč k takovému výraznému opotřebení dochází při obrábění ocelí a nedochází k němu při obrábění litiny. Jako jediná možná příčina přichází v úvahu přítomnost grafitu v litině, který snižuje tření a zřejmě také vytváří určitý povlak na břitové destičce, který nějakým způsobem zabraňuje reakcím Si_3N_4 se železem.

Destičky na bázi oxidu hliníku, ať už se jedná o čistý D100, nebo D100 dopovaný určitým procentem whiskeru SiC, v porovnání s destičkami na bázi z Si_3N_4 dosahují příznivějšího průběhu opotřebení při obrábění oceli. Jedná se především o nízké řezné rychlosti okolo 200 a 300 m/min. Účelem testování těchto destiček bylo kromě porovnání jejich trvanlivosti s trvanlivostí destiček na bázi Si_3N_4 , hlavně zjistit vliv množství whiskeru SiC v základní keramické matici na jejich odolnost proti opotřebení.

Z tohoto pohledu je třeba poznamenat, že při nízké rychlosti (200m/min) jasně dominoval materiál $\text{Al}_2\text{O}_3 + 10\% \text{SiC}$, jehož trvanlivost skoro dvojnásobně převyšovala trvanlivost D100 a $\text{Al}_2\text{O}_3 + 20\% \text{SiC}$. Ve všech ostatních případech, tzn. při rychlostech 300, 400 a 450 m/min, dosahoval nejvyšších hodnot trvanlivosti D100. V průměru polovičních hodnot opotřebení pak dosahoval materiál $\text{Al}_2\text{O}_3 + 10\% \text{SiC}$ a nejkratší trvanlivost byla naměřena pro $\text{Al}_2\text{O}_3 + 20\% \text{SiC}$.

Na základě těchto zjištění se domnívám, že vystužování whiskery SiC je účelné pouze v určitém ideálním procentuálním množství, který se v našem případě pohybovalo okolo 10% SiC. Ovšem přesné množství by se muselo určit experimentem. Rovněž by se dalo říci, že využití příznivých vlastností, které armování whiskery poskytuje, je možné jen do určité teploty řezu. S rostoucí rychlostí (tedy i teplotou řezu) se odolnost proti opotřebení destiček vystužených whiskery snižuje a to tím markantněji, čím vyšší procentuální množství whiskerů základní matrice obsahuje.

V tomto případě je však nutno vzít v úvahu to, že břitové destičky vystužené whiskery SiC byly od jiného výrobce než břitové destičky D100. To znamená, že naměřené hodnoty mohou být do jisté míry zavádějící.

4.1 Doporučení pro DIAS a.s.

Na základě zjištění, která mi poskytlo provedení dříve popsaných experimentů bych doporučil zadavateli této práce následující opatření:

1. Pro destičky z Si_3N_4

Vzhledem k tomu, že se nepotvrdila teorie o nutnosti kyslíku při chemických reakcích, jež jsou popsány v [6] (viz. 2.3), je třeba vzít v úvahu jiná řešení. Osobně se domnívám, že by v tomto případě mohlo jít o reakce popsané v [4] (viz. 4.1). Pro ověření tohoto tvrzení bych doporučil testovat destičky na bázi Si_3N_4 opatřené povlakem z Al_2O_3 . Tento by měl zajistit po určité době obrábění odolnost vůči předpokládaným chemickým reakcím mezi Si_3N_4 a Fe. V případě, že by použitím tohoto povlaku vzrostla trvanlivost, znamenalo by to, že s určitostí k těmto reakcím dochází. Dalším krokem by pak bylo vyhledání odborníka v oblasti vysokoteplotních chemických reakcí, který by se pokusil o popsání případných interakcí a o opatření, které by jim zamezovalo. Není však vyloučeno, že hledané řešení bude jen těžko realizovatelné.

2 Pro destičky Al_2O_3 + whisker SiC

V tomto případě bych doporučoval experiment, který by s maximální možnou přesností určil optimální procentuelní množství whiskerů SiC v keramické matrici. Na základě dosavadních zjištění se domnívám, že se bude jednat o koncentrace do 10%.

V každém případě je třeba si však uvědomit, že přítomnost whiskerů SiC více či méně zvyšuje houževnatost řezných destiček, ale výrazně snižuje jejich tepelnou odolnost, a to znamená, že zabraňuje použití vysokých řezných rychlostí. Vzhledem k tomu, že vysoká tepelná odolnost a tedy použitel-

nost vysokých řezných rychlostí, je jednou z největších výhod keramických řezných materiálů, je vývoj vystužovaných keramických destiček whiskery SiC diskutabilní. Osobně se domnívám, že snížená odolnost proti opotřebení může být podobně jako při užití břitových destiček z Si₃N₄ zapříčiněna zvýšenou chemickou náchylností křemíku a železa. Tato pak zapříčiňuje vznik silicidů s nízkou teplotou tání a tedy do určité míry znehodnocuje tento řezný materiál.

Použitá literatura

- 1 Lang. T. + kolektiv
ŘEZNÁ KERAMIKA, 1.vydání
INPRO - PRAHA, VUNAR - NOVÉ ZÁMKY - 1987
- 2 Přikryl. V., Musílková. R
TEORIE OBRÁBĚNÍ, 3.vydání
SNTL PRAHA - ALFA 1982
- 3 Kvapil. R., Průšek. A
ŘEZNÉ NÁSTROJE - cvičení, VŠ skriptum
LIBEREC 1989
- 4 P.S. Kislogij
KERMETY
KIJEV - Naukova dumka 1985
- 5 Říčka. J., Bulla. V
TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE, VŠ skriptum
SNTL - PRAHA 1985
- 6 Tennenhouse. G.J., Ezis. A a Runkle. F.D.
CERAMIC MATERIALS DEPARTMENT
MICHIGAN 48121 - 1985 (Interaction of silicon nitride and
metal surfaces)
- 7 Hatschek. R.L. senior editor
AMERICAN MECHANIST, May 1981
SPECIAL REPORT 733 (Take a new look at ceramic / cermets)
- 8 Busines Contact 4, 1991
CERAMIC MATERIALS FOR CUTTING TOOLS
- 9 Feldmuhle Aktiengesellschaft Werk Plochingen
ŘEZNÁ KERAMIKA, SPK
- 10 Švaral. Š.
OBRABANIE NÁSTROJMI Z DIAMANTU A KUBICKEHO NITRIDU BORU
BRATISLAVA - ALFA, 1977.

Seznam příloh

- 1 Příloha č. 1 - Naměřené hodnoty v tabulkách a vyhodnocení formou grafu
- 2 Příloha č. 2 - Výkres sestavení speciálního obráběcího nože
- 3 Příloha č. 3 - Katalog soustružnických nožů a břitových destiček řezné keramiky

Hodnoty opotřebení

litina - Si_3N_4

Priloha č. 1.

TABULKA NAMERENÝCH HODNOT

PODMINKY: 1. $v_c = 200.000 \text{ [m/min]}$

Číslo opak. měření: 1

Zákl. tabulka číslo: 1

Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rm [μm]		TRISKA	Poznámky
1	2.000		0.090									
2	4.000		0.116									
3	8.000		0.142									
4	12.000		0.197									
5	34.000		0.267									
6	39.500		0.285									
7	47.500		0.303									

TABULKA NAMERENÝCH HODNOT

PODMINKY: 1. $v_c = 250.000 \text{ [m/min]}$

Číslo opak. měření: 1

Zákl. tabulka číslo: 2

Číslo měření	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rm [μm]		TRISKA	Poznámky
1	5.000	0.117	0.123	0.151								
2	10.000	0.127	0.155	0.189								
3	15.000	0.192	0.193	0.212								
4	20.000	0.200	0.204	0.234								
5	25.000	0.207	0.223	0.235								
6	30.000	0.216	0.231	0.247								
7	35.000	0.242	0.262	0.256								
8	40.000	0.259	0.280	0.285								
9	45.000	0.280	0.295	0.256								

TABULKA NAMERENYCH HODNOT												
PODMINKY: 1. $v_c = 300.000$ [m/min]										Cislo opak. mereni: 1		
										Zakl. tabulka cislo: 3		
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [µm]	Rz [µm]	Rm [µm]		TRISKA	Poznanky
1	3.000	0.090	0.098	0.110								
2	6.000	0.106	0.126	0.174								
3	12.000	0.136	0.142	0.197								
4	17.000	0.170	0.177	0.215								
5	22.000	0.195	0.219	0.226								
6	27.000	0.189	0.228	0.234								
7	33.000	0.219	0.268	0.281								
8	39.000	0.239	0.292	0.271								
9	45.000	0.274	0.316	0.308								

TABULKA NAMERENYCH HODNOT												
PODMINKY: 1. $v_c = 400.000$ [m/min]										Cislo opak. mereni: 1		
										Zakl. tabulka cislo: 4		
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [µm]	Rz [µm]	Rm [µm]		TRISKA	Poznanky
1	3.000	0.108	0.117	0.163								
2	6.000	0.129	0.125	0.174								
3	12.000	0.177	0.172	0.219								
4	17.000	0.193	0.211	0.252								
5	22.000	0.219	0.241	0.288								
6	27.000	0.233	0.310	0.344								

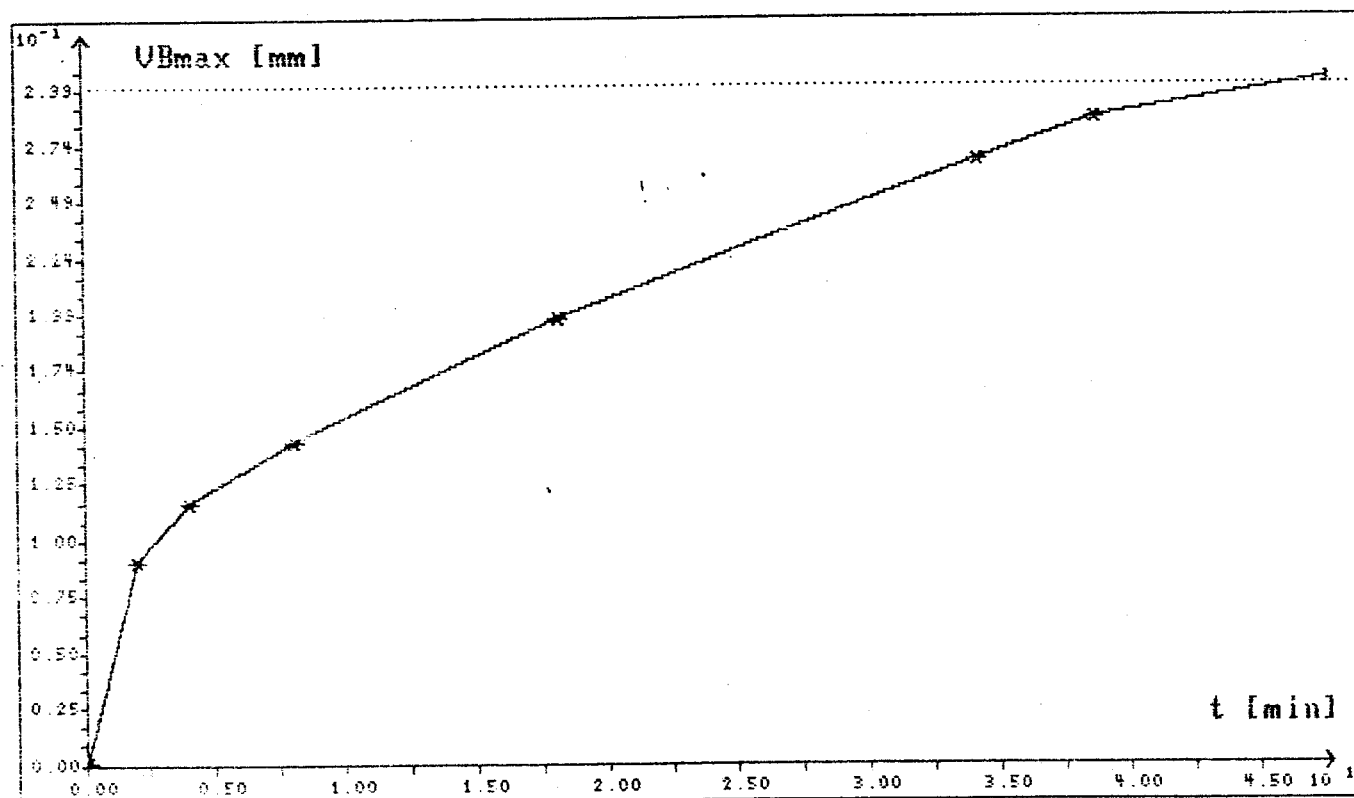
TABULKA NAMERENYCH HODNOT												
PODMINKY: 1. $v_c = 450.000$ [m/min]										Cislo opak. mereni: 1		
										Zakl. tabulka cislo: 5		
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rm [μm]		TRISKA	Poznamky
1	3.000	0.112	0.119	0.125								
2	6.000	0.135	0.190	0.196								
3	8.000	0.186	0.227	0.230								
4	10.000	0.213	0.238	0.238								
5	19.000	0.196	0.252	0.251								
6	22.000	0.208	0.273	0.279								
7	25.000	0.264	0.297	0.316								
8	27.000	0.260	0.331	0.296								

PATRI K TABULCE : 1.

OPAKOVANE MERENI : 1.

CASOVY PRUBEH PARAMETRU

VBmaxk= 0.300[mm]



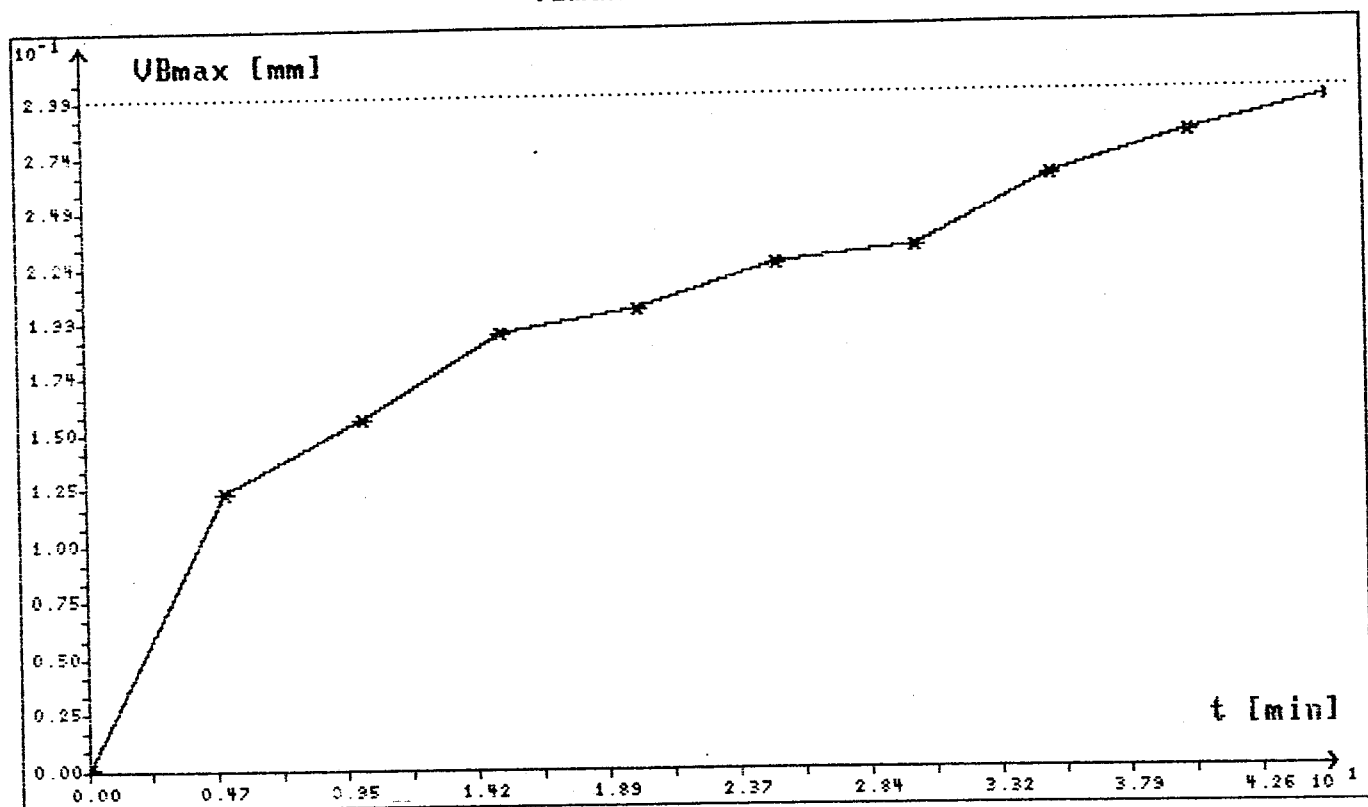
REZNE PODMINKY : $v_c = 200.000$ [m/min]

PATRI K TABULCE : 2.

OPAKOVANE MERENI : 2.

CASOVY PRUBEH PARAMETRU

VBmaxk= 0.300[mm]



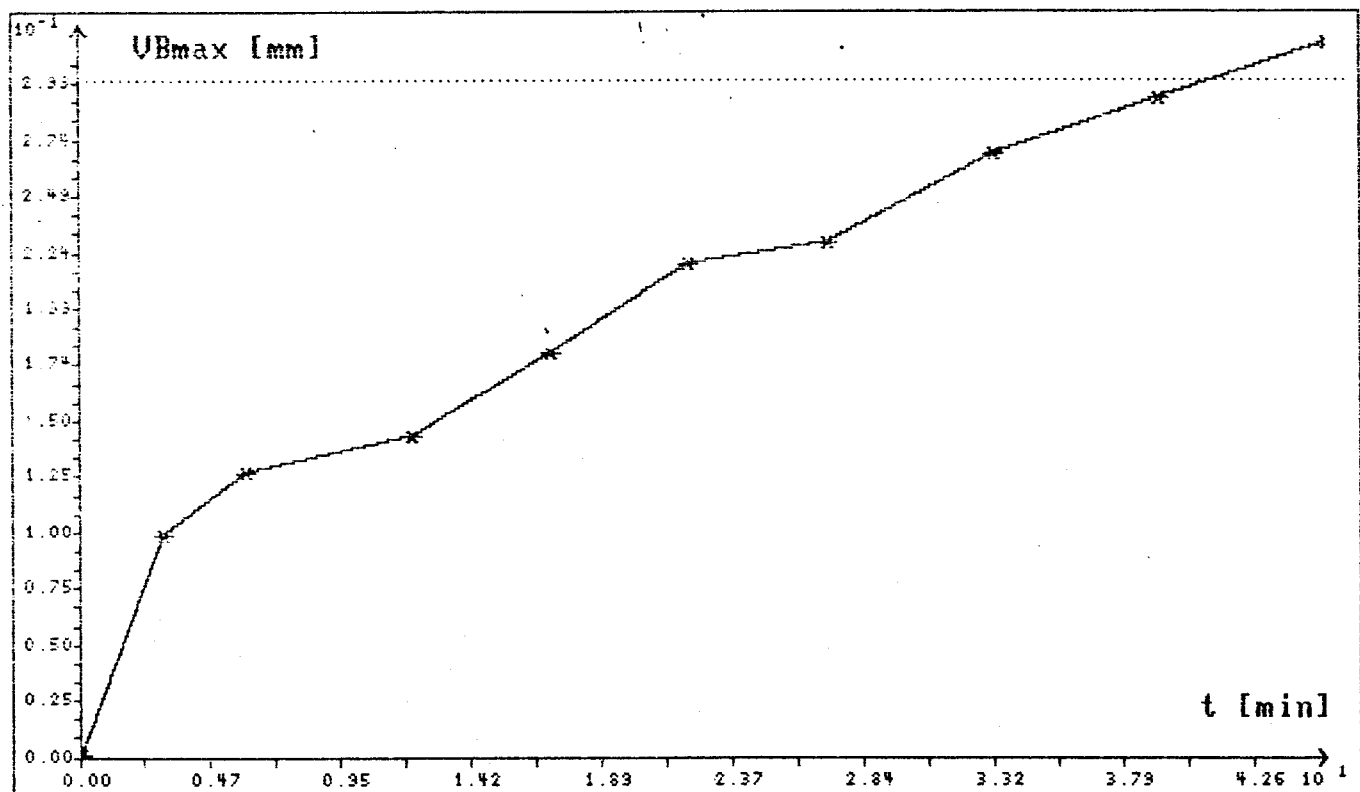
REZNE PODMINKY : $v_c = 250.000$ [m/min]

PATRI K TABULCE : 3.

OPAKOVANE MERENI : 3.

CASOVY PRUBEH PARAMETRU

VBmaxk= 0.300[mm]



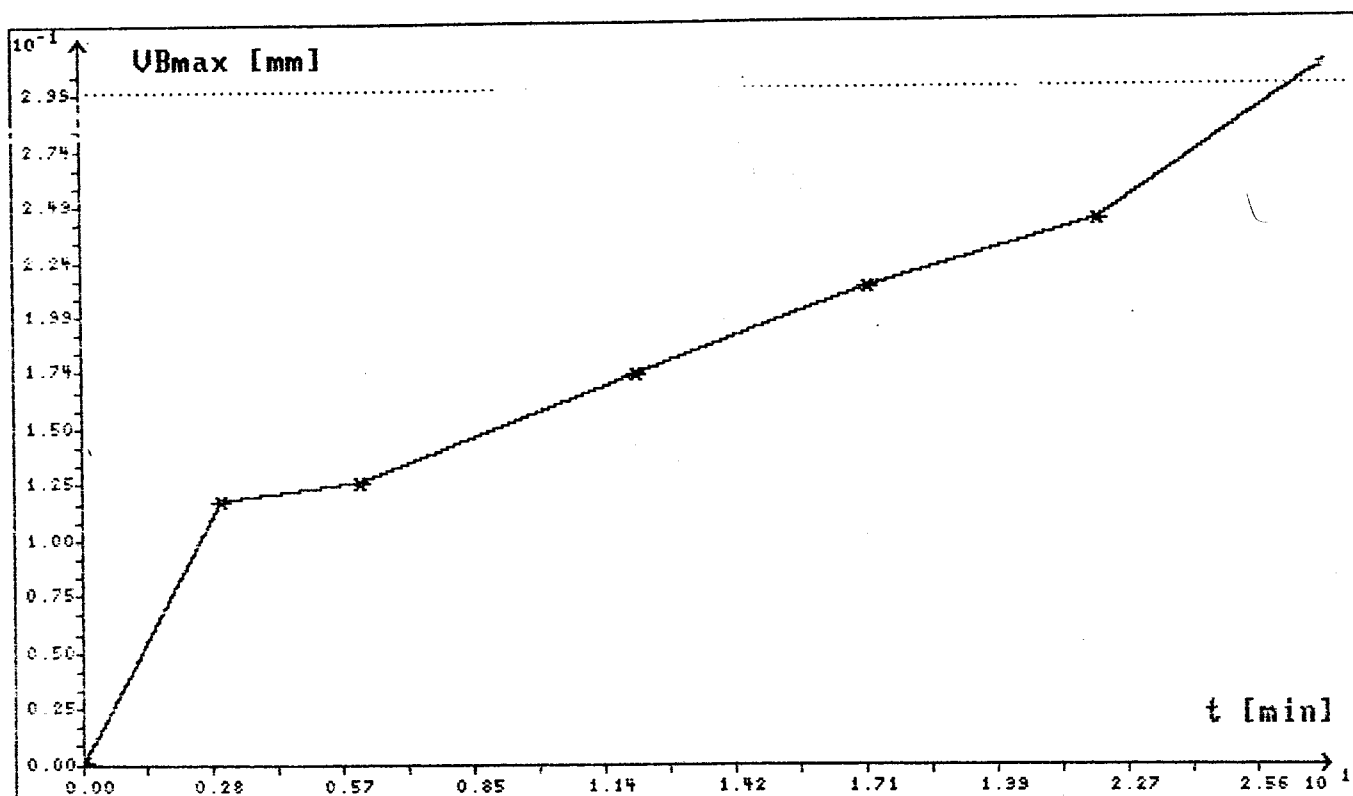
REZNE PODMINKY : $v_c = 300.000$ [m/min]

PATRI K TABULCE : 4.

OPAKOVANE MERENI : 4.

CASOVY PRUBEH PARAMETRU

VBmax= 0.300[mm]



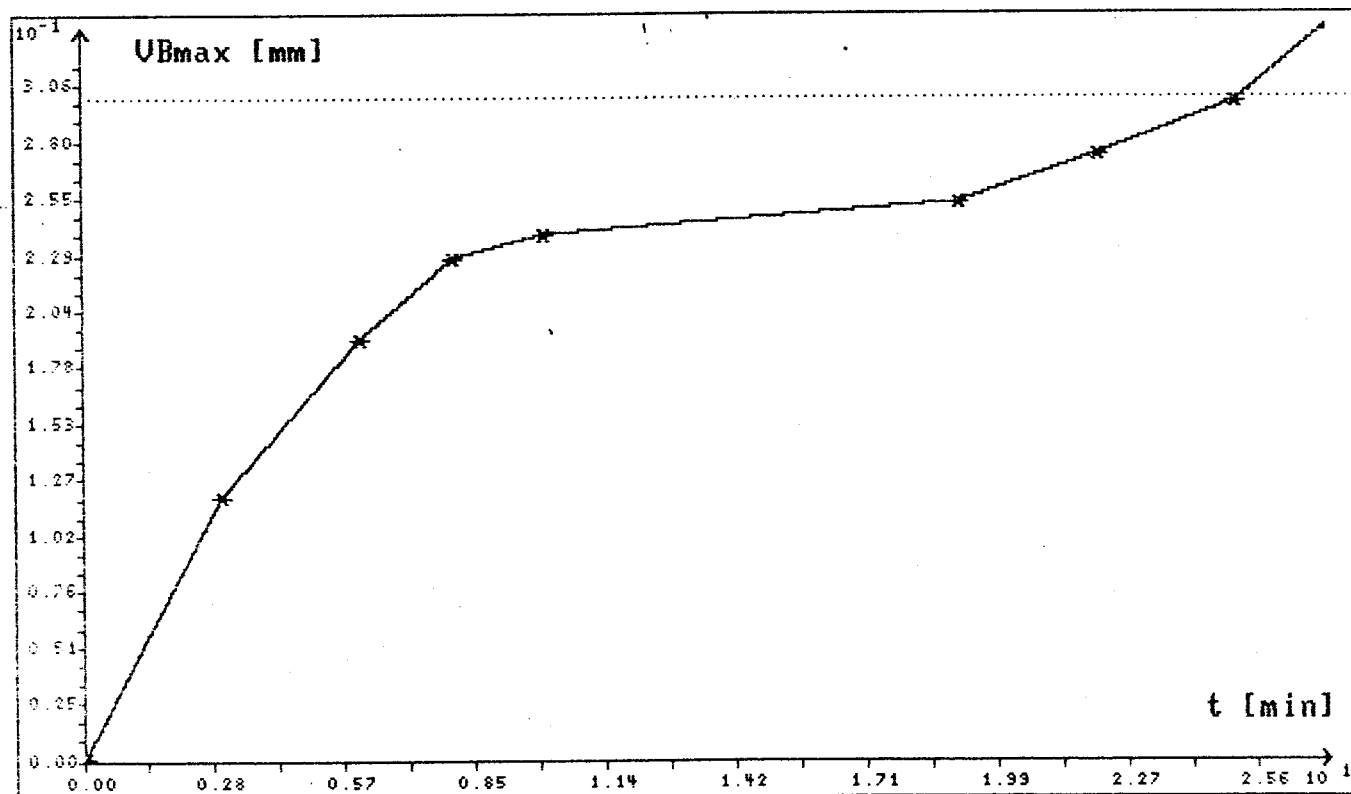
REZNE PODMINKY : $v_c = 400.000$ [m/min]

PATRI K TABULCE : 5.

OPAKOVANE MERENI : 5.

CASOVY PRUBEH PARAMETRU

VBmax= 0.300[mm]



REZNE PODMINKY : $v_c = 450.000$ [m/min]

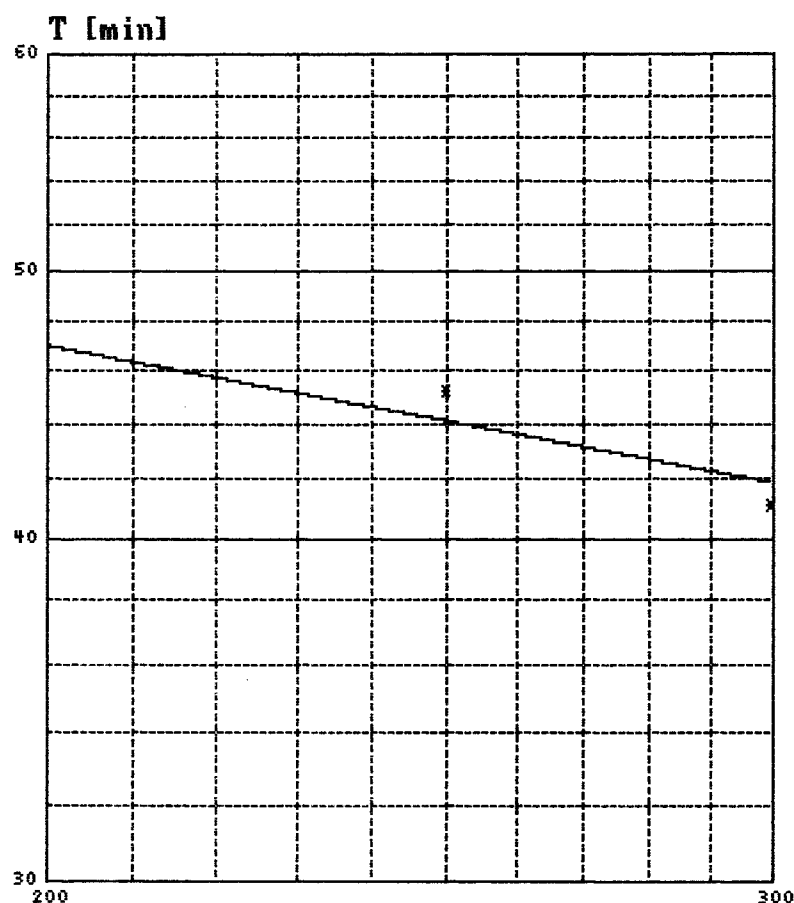
NAZEV EXPERIMENTU : Litina-Si3N4

REGRESNI ANALYZA

Regresni model : $T = CT / v^m$

X...vc [m/min]		Y...T [min]				
c.m.	X	Ymer	Yvyp	diference	%	Koeficienty
1.	200.000	46.000	46.572	0.572	1.23	CT = 2.0205E+02 m = 2.7697E-01 So = 2.204 S = 1.485
2.	250.000	45.000	43.781	-1.219	2.79	
3.	300.000	41.000	41.625	0.625	1.50	

PLATI PRO : vc = 200.000 - 300.000 [m/min]
VBmax = 0.300 [mm]



NAZEU EXPERIMENTU :

Litina-Si3N4

REZNE PODMINKY :

$v_c = 200.000 - 300.000$ [m/min]

KRITERIA OPOTREBENI :

$UB_{max} = 0.300$ [mm]

ODHAD RESIDUAL. ROZPTYLU $S_2 = 2.204$

ODHAD SHERODATNYCH CHYB $S = 1.485$

KONSTANTY :

$CT = 2.0205E+02$

$n = 2.7637E-01$

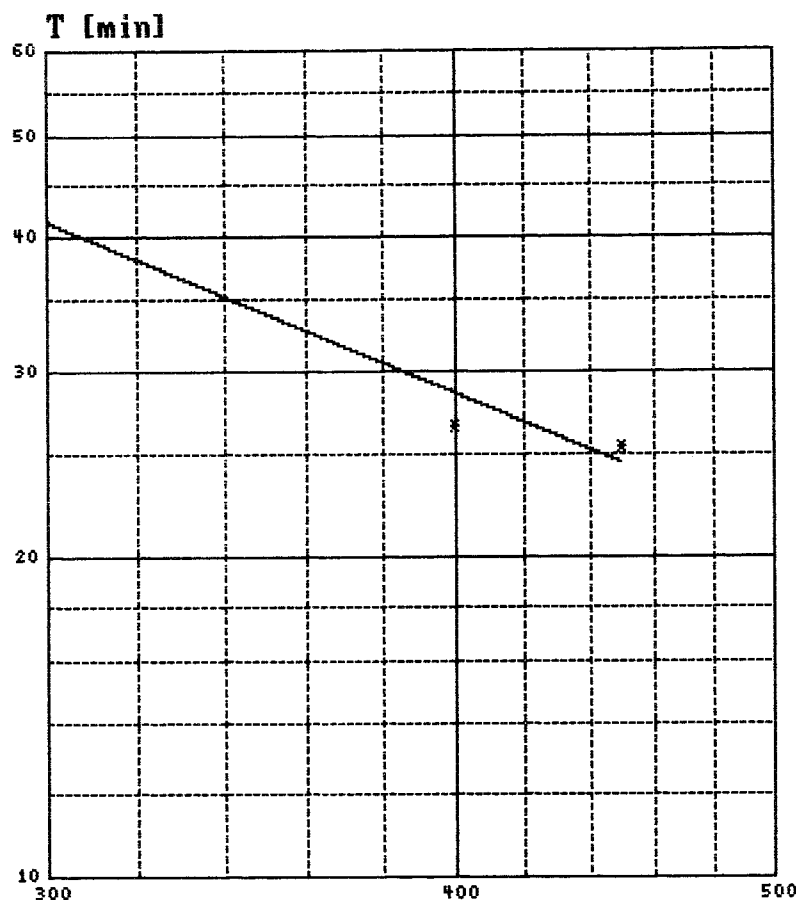
NAZEV EXPERIMENTU : Litina-Si3N4

REGRESNI ANALYZA

Regresni model : $T = CT / v^m$

X...vc [m/min]		Y...T [min]				Koeficienty
c.m.	X	Ymer	Yvyp	diference	%	
1.	300.000	41.000	40.265	-0.735	1.83	CT = 5.5443E+04 m = 1.2672E+00
2.	400.000	26.275	27.964	1.689	6.04	
3.	450.000	25.176	24.087	-1.089	4.52	So = 4.580 S = 2.140

PLATI PRD : vc = 300.000 - 450.000 [m/min]
VBmax = 0.300 [mm]



NAZEV EXPERIMENTU :
Litina-Si3N4

REZNE PODMINKY :
vc = 300.000 - 450.000 [m/min]

KRITERIA OPOTREBENI :
UBmax = 0.300 [mm]

ODHAD RESIDUAL. ROZPTYVU S2 = 4.580
ODHAD SHERODATNYCH CHYS S = 2.140

KONSTANTY : CT = 5.5443E+04
m = 1.2672E+00

Hodnoty opotřebení ocel - Si_3N_4

[illegible][illegible][illegible]

TABULKA NAMERENYCH HODNOT

PODMINKY: 1. $v_c = 300.000 \text{ [m/min]}$

Cislo opak. mereni: 1

Zakl. tabulka cislo: 4

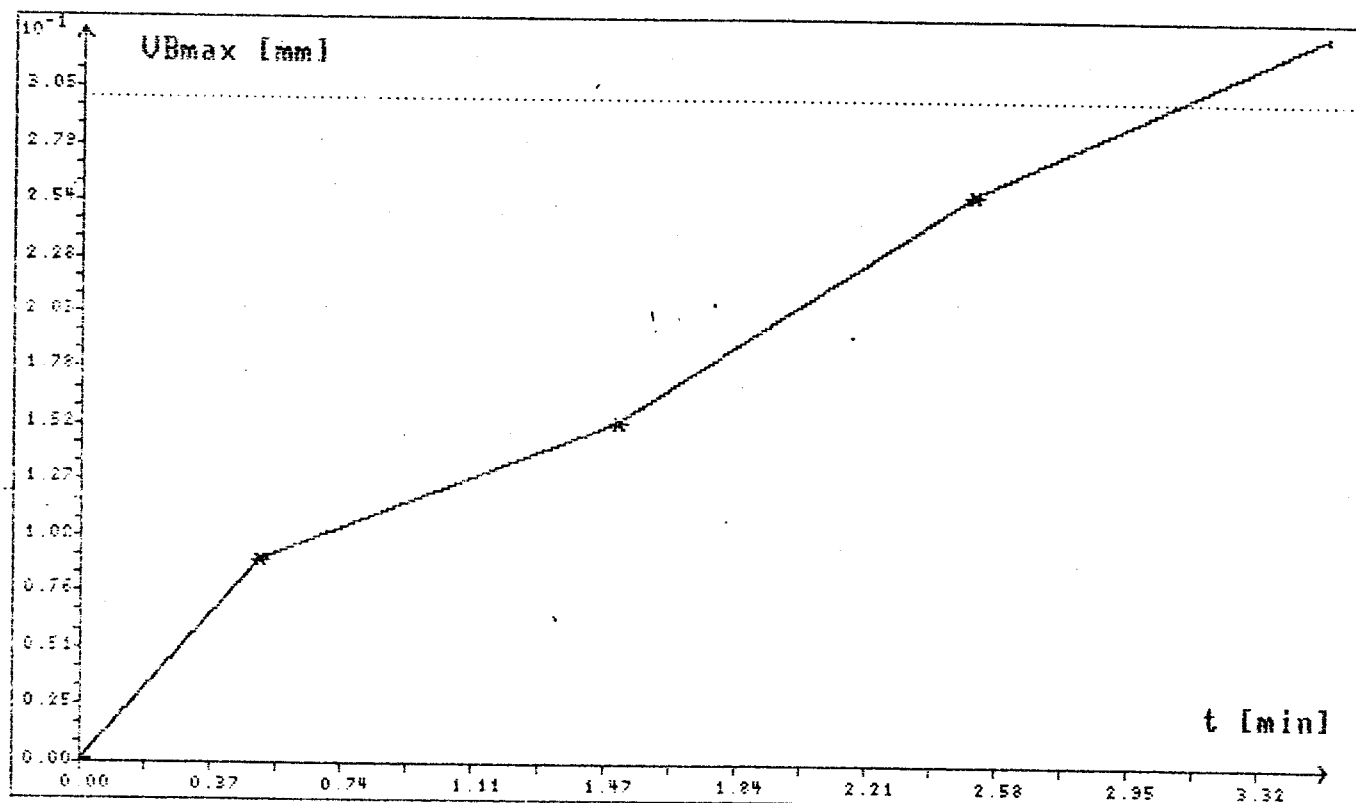
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rm [μm]		TRISKA	Poznanky
1	0.500	0.190	0.525	0.210		0.115						
2	0.000											
3	0.000											
4	0.000											
5	0.000											

PATRI K TABULCE : 1.

OPAKOVANE MERENI : 1.

CASOVY PRUBEH PARAMETRU

UBmax= 0.300[mm]



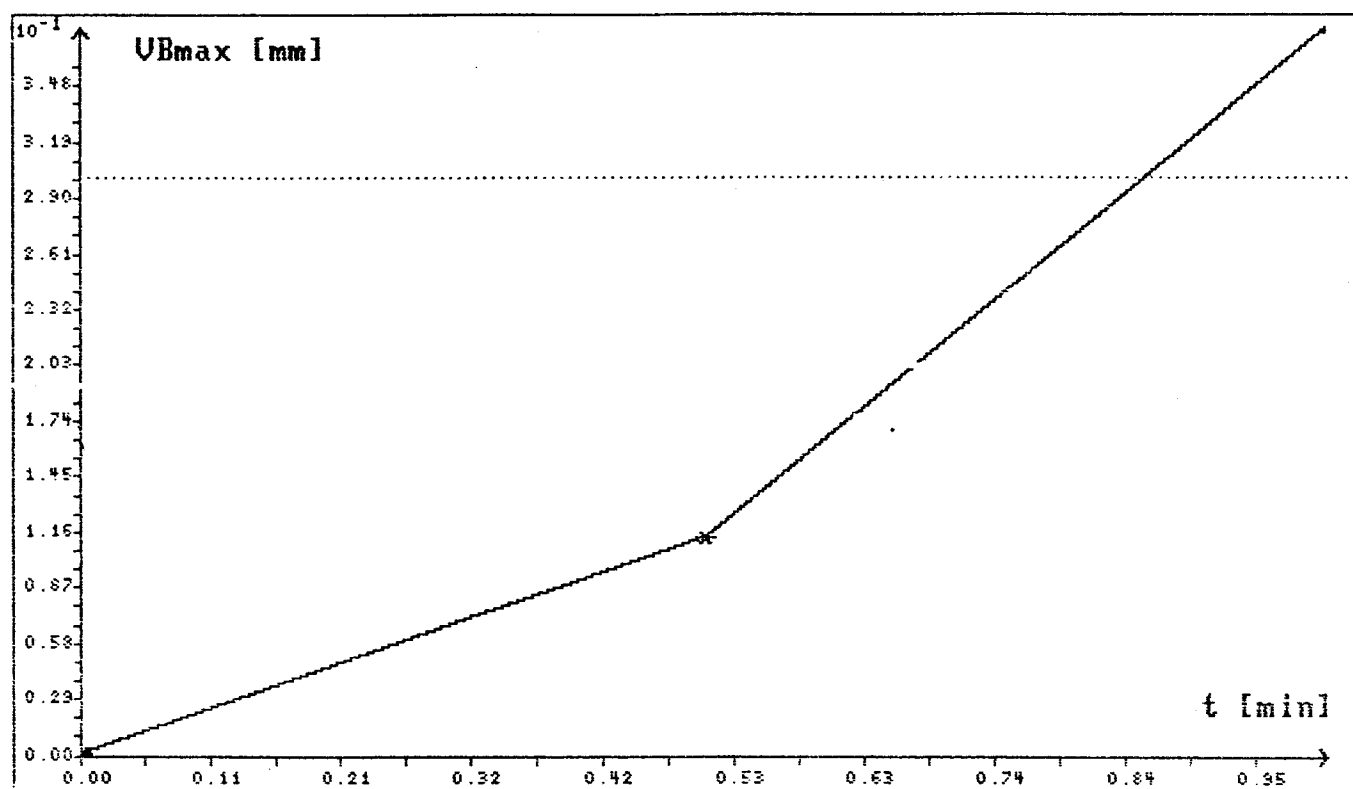
REZNE PODMINKY : $v_c = 100.000 \text{ [m/min]}$

PATRI K TABULCE : 2.

OPAKOVANE MERENI : 2.

CASOVY PRUBEH PARAMETRU

VBmaxk= 0.300[mm]



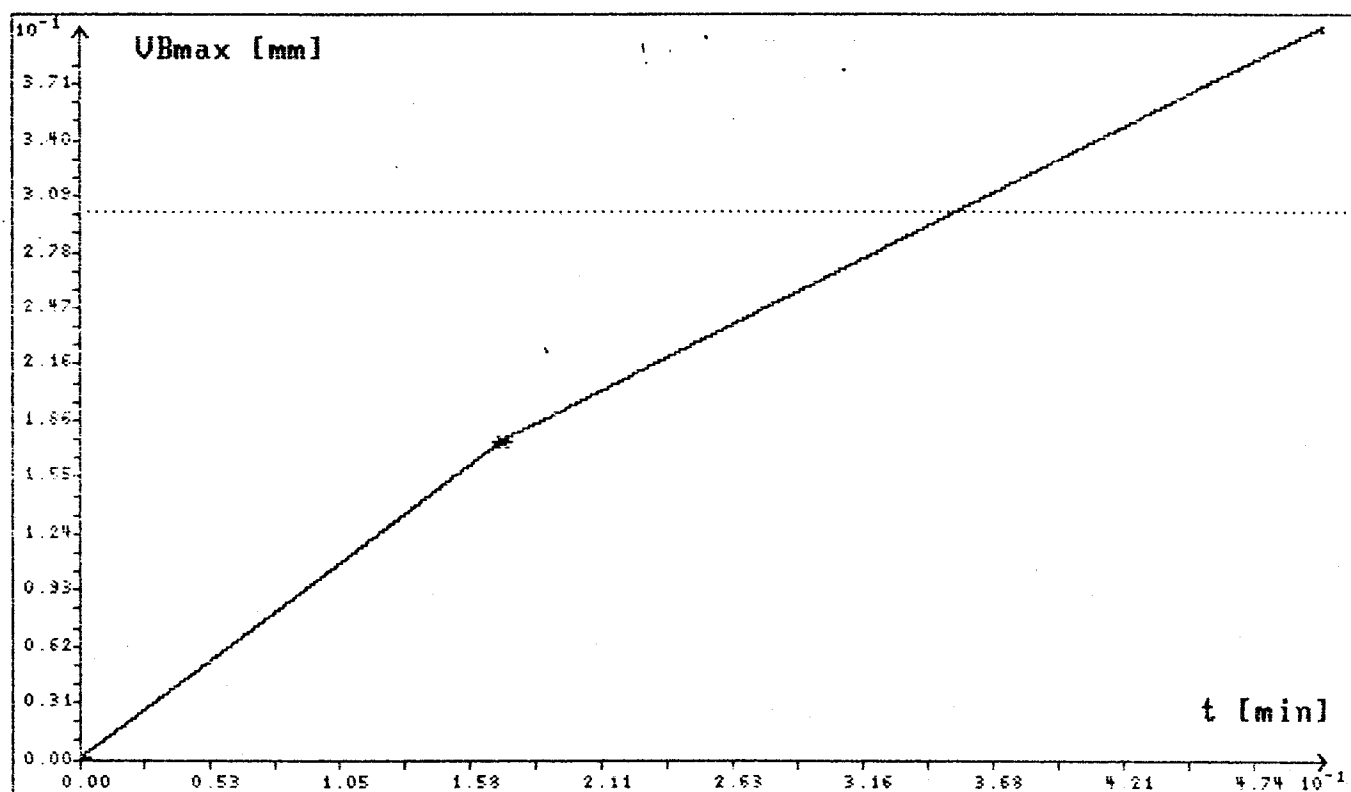
REZNE PODMINKY : vc = 200.000 [m/min]

PATRI K TABULCE : 3.

OPAKOVANE MERENI : 3.

CASOVY PRUBEH PARAMETRU

VBmaxk= 0.300[mm]



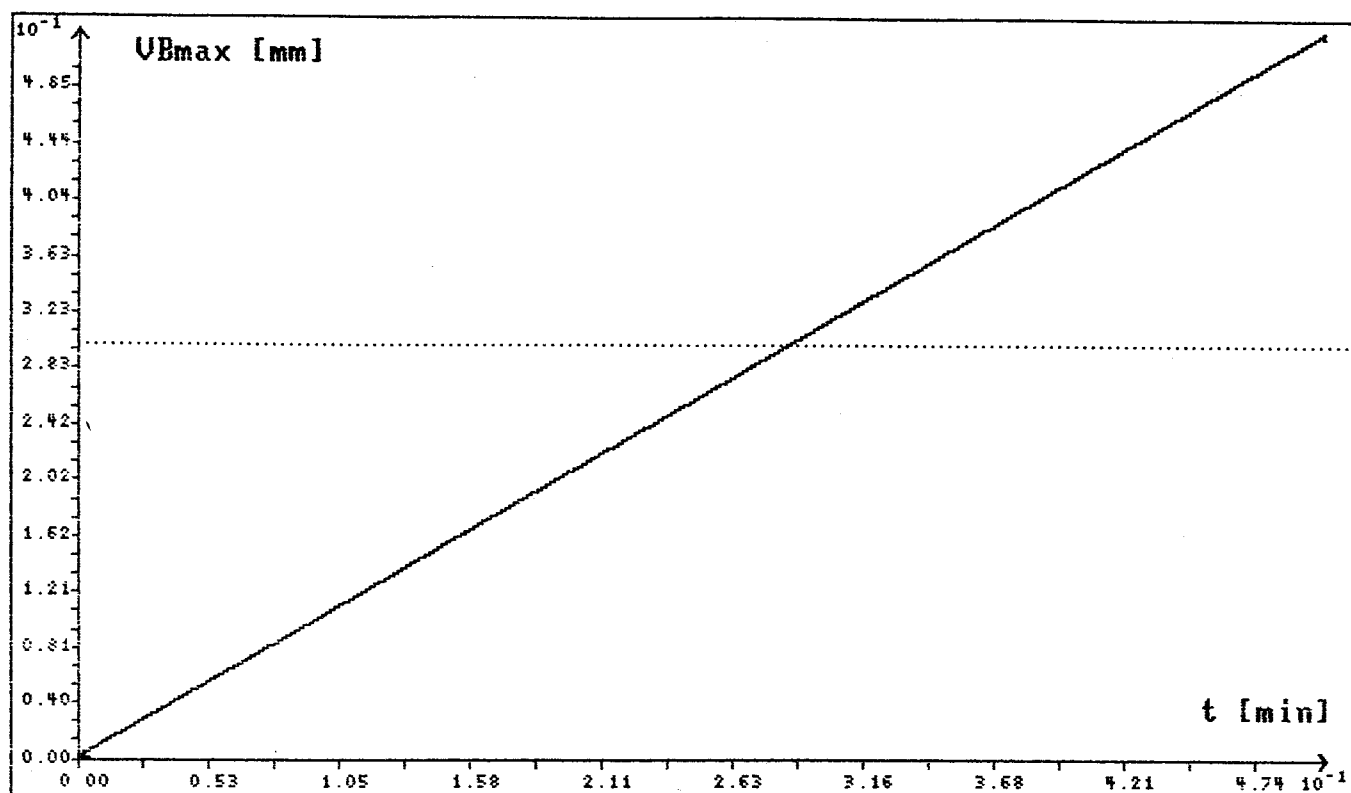
REZNE PODMINKY : vc = 250.000 [m/min]

PATRI K TABULCE : 4.

OPAKOVANE MERENI : 4.

CASOVY PRUBEH PARAMETRU

$VB_{maxk} = 0.380 [mm]$



REZNE PODMINKY : $v_c = 300.000 [m/min]$

NAZEV EXPERIMENTU : Ocel Si3N4

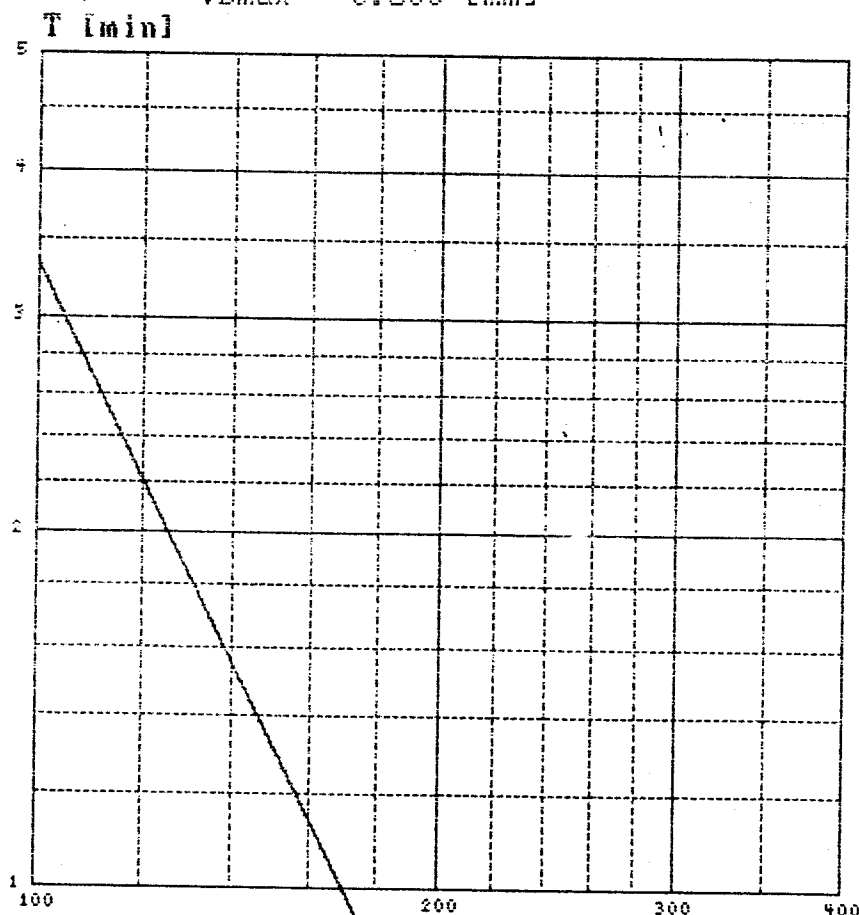
REGRESNI ANALYZA

Regresni model : $T = CT / v^m$

X...vc [m/min]		Y...T [min]				
c.m.	X	Ymer	Yvyp	diference	%	Koeficienty
1.	100.000	3.889	3.239	0.150	4.64	CT = 9.1136E+04 m = 2.2246E+00
2.	200.000	0.854	0.693	-0.161	23.22	
3.	250.000	0.353	0.422	0.069	16.32	So = 0.053 S = 0.163
4.	300.000	0.286	0.281	-0.005	1.70	

PLATI PRD : vc = 100.000 - 300.000 [m/min]

VBmax = 0.300 [mm]



NAZEV EXPERIMENTU :

Ocel Si3N4

REZNE POCHINKY :

vc = 100.000 - 300.000 [m/min]

KRITERIA OPOTREBENI :

VBMAX = 0.300 [mm]

ODHAD RESIDUAL. ROZPTVLU S2 = 0.027

ODHAD SHERODATNYCH CHVB S = 0.163

KONSTANTY :

CT = 9.1136E+04

m = 2.2246E+00

vc [m/min]

Hodnoty opotřebení ocel-Si₃N₄-argon[illegible][illegible]

Hodnoty opotřebení ocel-Si₃N₄-chl. kapalina

[illegible]

[illegible]

PODMINKY: 1. $v_c = 200.000$ [m/min]

Cislo opak. mereni: 4

Zakl. tabulka číslo: 2

[illegible]

Hodnoty opotřebení ocel- $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$ 20%

TABULKA NAMERENYCH HODNOT												
PODMINY: 1. $v_c = 200.000$ [m/min]										Cislo opak. mereni: 1		
										Zakl. tabulka cislo: 1		
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VB _{max} [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [µm]	Rz [µm]	Rm [µm]		TRISKA	Poznanky
1	3.000	0.093	0.138	0.250								
2	5.000	0.134	0.145	0.140								
3	8.000	0.147	0.187	0.197								
4	10.000	0.157	0.197	0.198								
5	15.000	0.166	0.292	0.173								
6	17.000	0.170	0.300	0.195								

[illegible]

[illegible][illegible]

NAZEV EXPERIMENTU : Ocel - SiC 20%

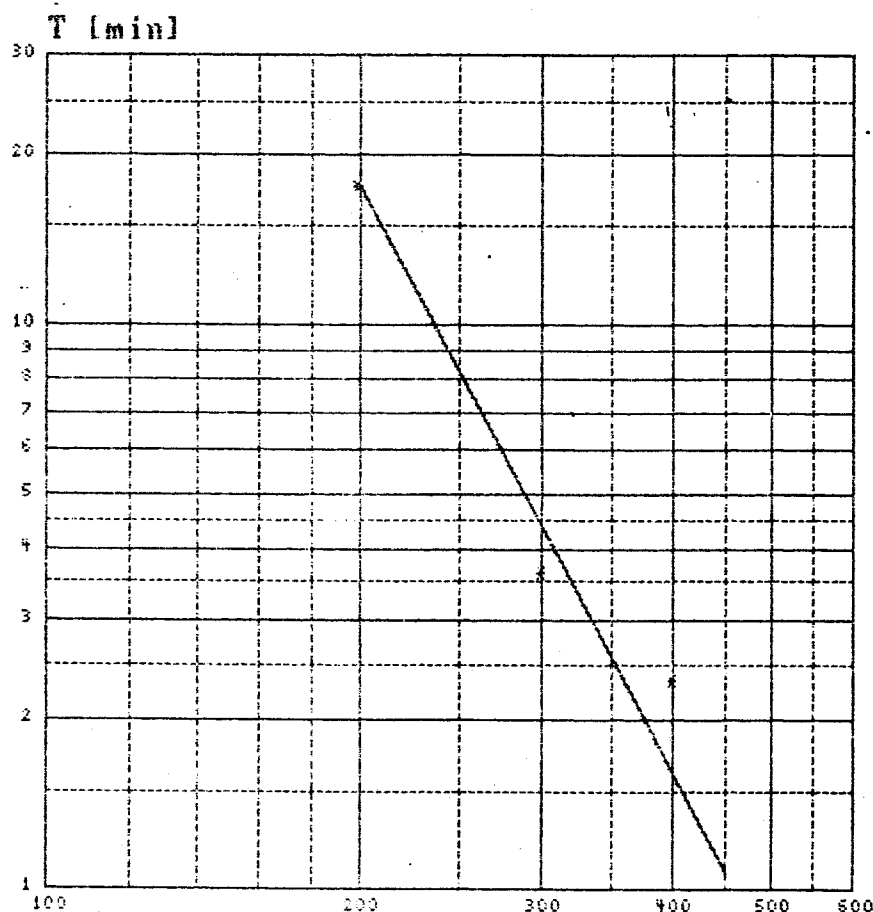
REGRESNI ANALYZA

Regresni model : $T = CT / v^m$

X...vc [m/min]		Y...T [min]				
c.m.	X	Ymer	Yvyp	diference	%	Koeficienty
1.	200.000	17.000	16.602	-0.398	2.39	CT = 1.0003E+09 m = 3.3811E+00
2.	300.000	3.588	4.215	0.627	14.87	
3.	400.000	2.357	1.594	-0.763	47.91	So = 1.192 S = 0.772
4.	450.000	0.830	1.070	0.240	22.44	

PLATI PRO : vc = 200.000 - 450.000 [m/min]

VBmax = 0.300 [mm]



NAZEV EXPERIMENTU :
Ocel - SiC 20%

REZNE PODMINKY :
vc = 200.000 - 450.000 [m/min]

KRITERIA OPOTREBENI :
VBmax = 0.300 [mm]

ODHAD RESIDUAL, ROZPTYLU S2 = 0.536
ODHAD SHERODATNYCH CHVS S = 0.772

KONSTANTY : CT = 1.0003E+09
m = 3.3811E+00

vc [m/min]

Hodnoty opotřebení ocel - $\text{Al}_2\text{O}_3 + 10\% \text{SiC}$

TABULKA NAMERENYCH HODNOT												
PODMINKY: 1. $v_c = 200.000 \text{ [m/min]}$										Cislo opak. mereni: 1		
										Zakl. tabulka cislo: 1		
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rm [μm]		TRISKA	Poznanky
1	3.000	0.082	0.095	0.105								
2	8.000	0.107	0.125	0.125								
3	13.000	0.119	0.132	0.149								
4	20.000	0.129	0.161	0.162								
5	30.000	0.149	0.190	0.225								
6	45.000	0.175	0.297	0.322								

TABULKA NAMERENYCH HODNOT												
PODMINKY: 1. $v_c = 300.000 \text{ [m/min]}$										Cislo opak. mereni: 1		
										Zakl. tabulka cislo: 2		
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rm [μm]		TRISKA	Poznanky
1	2.000	0.097	0.099	0.145								
2	4.000	0.110	0.116	0.205								
3	8.000	0.145	0.197	0.195								
4	13.000	0.162	0.340	0.205								
5	0.000											

TABULKA NAMERENYCH HODNOT												
PODMINKY: 1. $v_c = 400.000 \text{ [m/min]}$										Cislo opak. mereni: 1		
										Zakl. tabulka cislo: 3		
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Rm [μm]		TRISKA	Poznanky
1	1.000	0.100	0.104	0.085								
2	1.500	0.119	0.135	0.102								
3	3.000	0.129	0.205	0.116								
4	4.000	0.130	0.235	0.141								
5	6.000	0.179	0.325	0.166								

TABULKA NAMERENYCH HODNOT	

PCDMINKY: 1. vc = 450.000 [m/min] Cislo opak. mereni: 1

Císlo opak. měření: 1

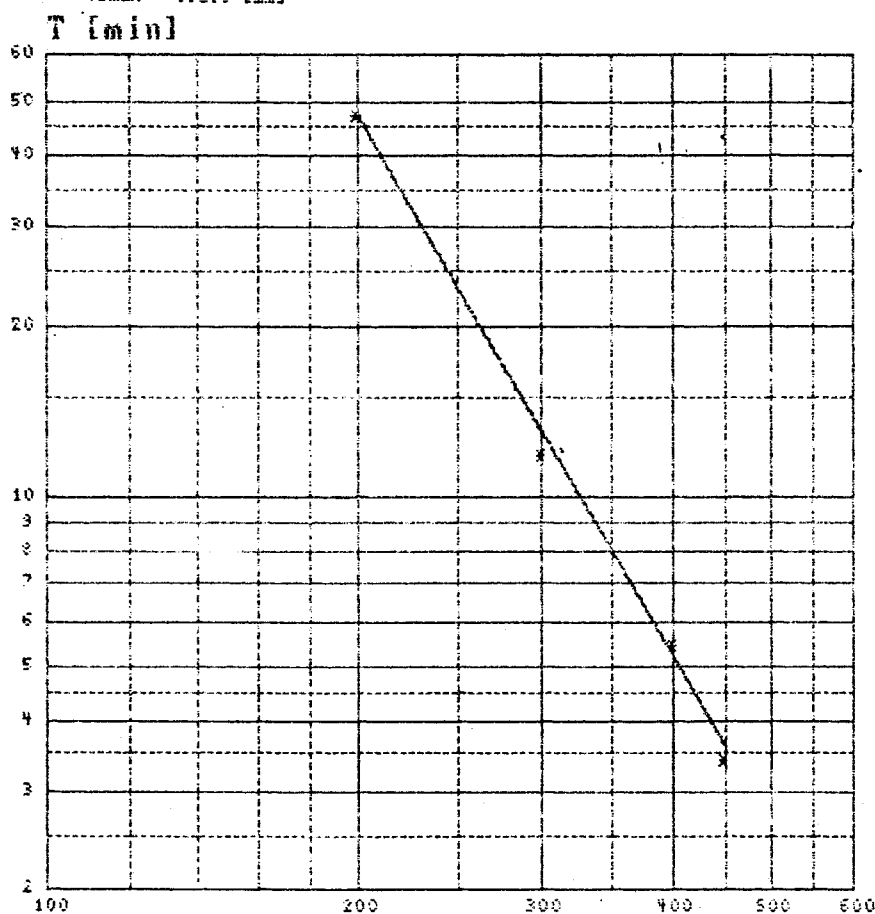
Zakl. tabulka číslo: 4

[illegible]

Regresni model : $T = CT / v^m$

X...vc [m/min]		Y...T [min]				
c.m.	X	Ymer	Yvyp	diference	%	Koeficienty
1.	200.000	45.000	44.007	-0.993	2.26	CT = 6.3394E+08 m = 3.1110E+00
2.	300.000	11.693	12.465	0.772	6.20	
3.	400.000	5.444	5.093	-0.351	6.88	So = 1.713 S = 0.925
4.	450.000	3.444	3.531	0.087	2.46	

PLATI PRO : vc = 200.000 - 450.000 [m/min]

V_{Bmax} = 0.300 [mm]NAZEV EXPERIMENTU :
Ocel- SiC 10%REZNE PODMINKY :
vc = 200.000 - 450.000 [m/min]KRITERIA UPOTREBY :
VBMAX = 0.300 [mm]ODHAD RESIDUAL. ROZPTVLU S2 = 0.856
ODHAD SRODOKATNYCH CHVB S = 0.925KONSTANTY : CT = 6.3394E+08
m = 3.1110E+00

vc [m/min]

Hodnoty opotřebení ocel - D100

TABULKA NAMERENYCH HODNOT											Cislo opak. mereni: 1	
PODMINKY: 1. $v_c = 200.000$ [m/min]											Zakl. tabulka cislo: 1	
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Ra [μ m]		TRISKA	Poznamky
1	5.000	0.105	0.095	0.145								
2	10.000	0.212	0.220	0.210								
3	15.000	0.214	0.211	0.215								
4	25.000	0.278	0.275	0.205								
5	30.000	0.305	0.326	0.205								

TABULKA NAMERENYCH HODNOT											Cislo opak. mereni: 1	
PODMINKY: 1. $v_c = 300.000$ [m/min]											Zakl. tabulka cislo: 2	
Cislo mereni	T [min]	VB [mm]	VBmax [mm]	VC [mm]	VN [mm]	KT [mm]	Ra [μ m]	Rz [μ m]	Ra [μ m]		TRISKA	Poznamky
1	5.000	0.138	0.149	0.125								
2	10.000	0.127	0.171	0.142								
3	14.000	0.224	0.245	0.195								
4	20.000	0.235	0.270	0.221								
5	25.000	0.302	0.325	0.275								

NAZEV EXPERIMENTU : Ocel D100

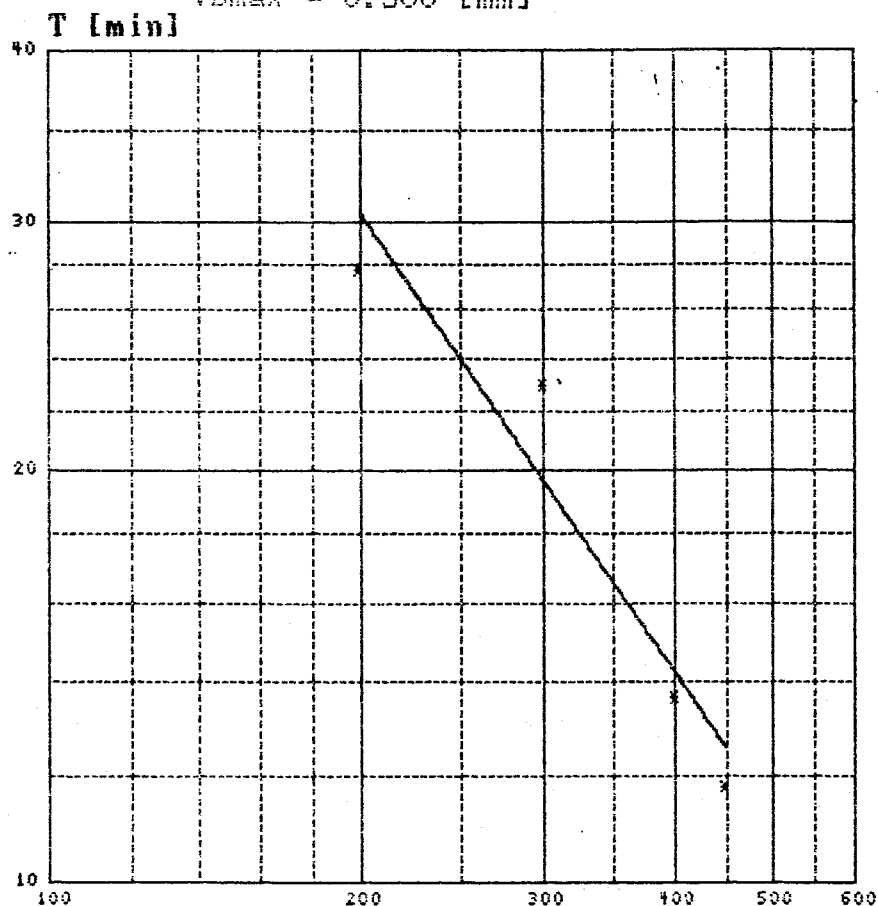
REGRESNI ANALYZA

Regresni model : $T = CT / v^m$

X...vc [m/min]		Y...T [min]				
c.m.	X	Ymer	Yvyp	diference	%	Koeficienty
1.	200.000	27.451	29.683	2.232	7.52	CT = 8.5549E+03 m = 1.0690E+00
2.	300.000	22.727	19.243	-3.484	18.11	
3.	400.000	13.667	14.149	0.482	3.41	So = 17.776 S = 2.981
4.	450.000	11.824	12.475	0.651	5.22	

PLATI PRO : vc = 200.000 - 450.000 [m/min]

VBmax = 0.300 [mm]



NAZEV EXPERIMENTU :
Ocel D100

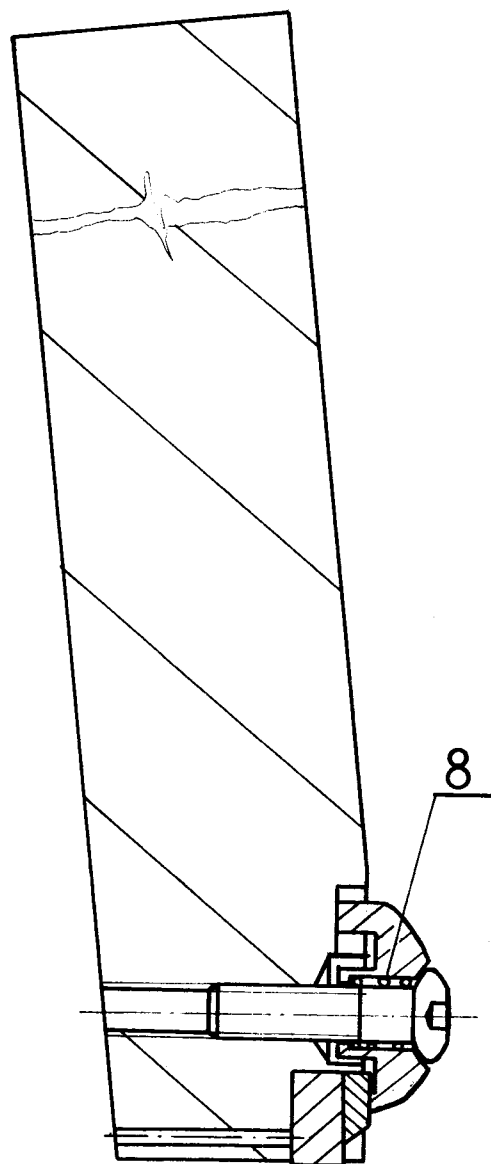
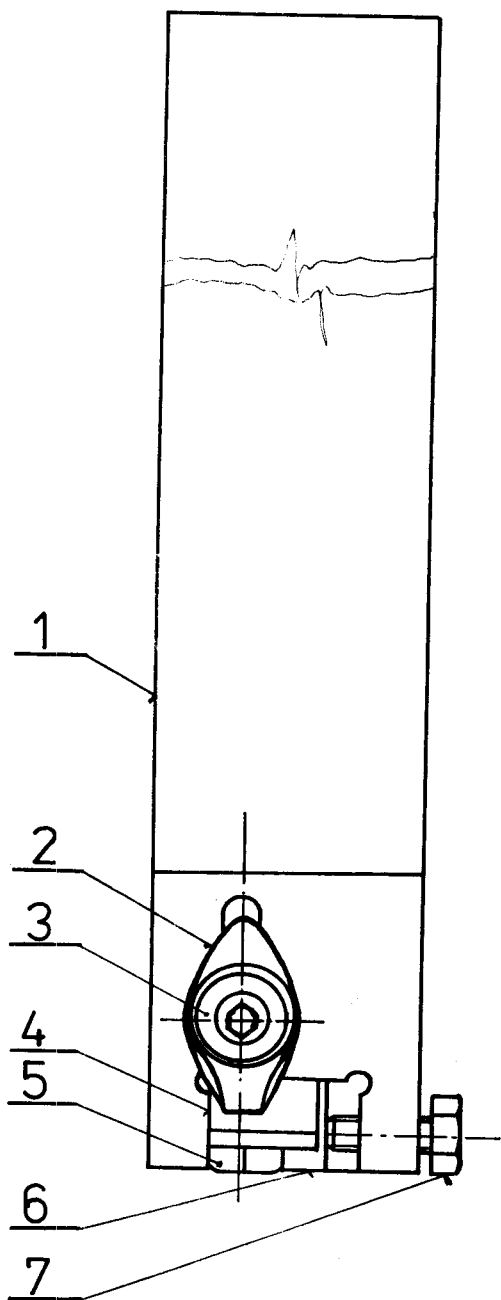
REZNE PODMINKY :
vc = 200.000 - 450.000 [m/min]

KRITERIA OPOTREBENI :
VBmax = 0.300 [mm]

ODHAD RESIDUAL, ROZPTVLU S2 = 8.888
ODHAD SHERODATNYCH CHVB S = 2.981

KONSTANTY :
CT = 8.5549E+03
m = 1.0690E+00

vc [m/min]



Urbánek

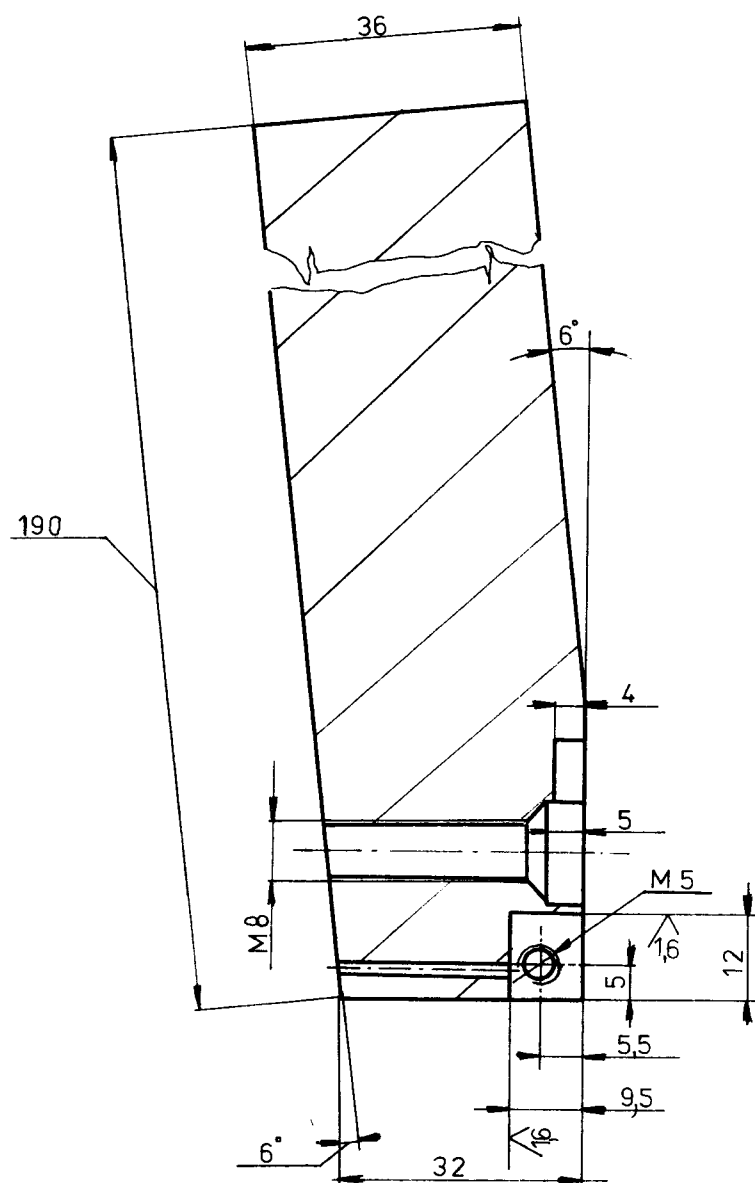
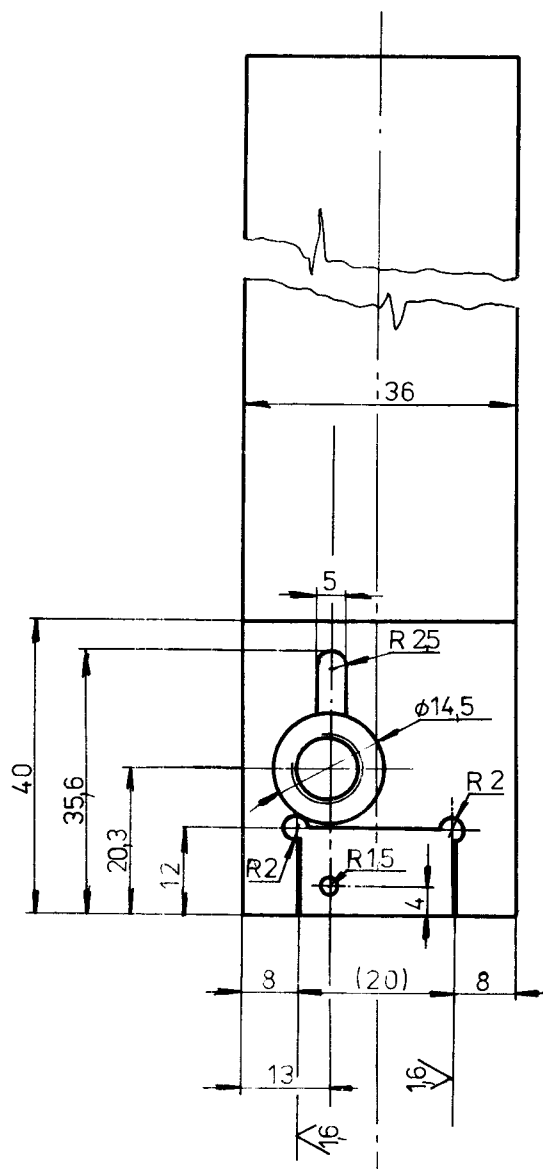
NŮŽ

2

1:1

3-01

32 / (16)



ČSN 12 050
36×36×200

Urbánek

2

1:1

TĚLESO NOŽE

3-02

1	Těleso nože	36x36x200	10 050	12050	2	3/02	1
1	Upínka	NAREX	UP 03				2
1	Šroub	NAREX	SR01				3
1	Utržeč	NAREX	CD 12 5,5				4
1	Břít. destička	D40C					5
1	Přítl. destička	5x7x12	11600				6
1	Šroub	M5x13 ČSN02 1101					7
1	Pružina	NAREX	PR 06				8

Uchvat

NŮŽ

3-03