

Vysoká škola: **strojná a textilní Liberec**

Katedra: **obrábění a ekonomiky**

Fakulta: **strojná**

Školní rok: **1972/73**

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro **Jiřího Nováka**

odbor **strojírenská technologie**

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: **Porovnání řezivosti keramických břitových destiček
různých výrobců při obrábění litiny**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Vyhledání a studium literatury z oblasti soustružení keramickými břitovými destičkami
- 2) Opatření keramických řezných materiálů. Porovnání vlastností keramických a SK řezných materiálů
- 3) Vypracování metodiky zkoušek řezivosti a jejich provedení
- 4) Zhodnocení řezivosti použitých materiálů a jejich ekonomické výhodnosti

Autorské právo se řídí směrnicemi MŠK pro státní závěrečné zkoušky č. j. 31 727/62-III/2 ze dne 13. července 1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 ze dne 31. 8. 1962 § 19 autorského zákona č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÁ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC - STUDENTSKÁ 8

S
V 21 / 1973
+

Rozsah grafických laboratorních prací: **diagramy a obrázky dle potřeby**

Rozsah průvodní zprávy: **cca 50 stran**

Seznam odborné literatury:

**Hlavaty Jiří: porovnání efektivnosti použití keramických a SK
břitových destiček pro obrábění litiny, DP VŠST 1972**

Vulf A.M: Rezanije metallov miněralokeramičeskimi rezcami, MAŠGIZ, Moskva 1958

Vedoucí diplomové práce: **Prof.Ing.František K ř í s t e k**

Konzultanti: **Ing.Vladimír G a b r i e l**

Datum zahájení diplomové práce: **16. října 1972**

Datum odevzdání diplomové práce: **6.července 1973**



Dras
Prof.Ing.Jaroslav Draský, CSc
vedoucí katedry

Kotšmíd
Prof.Ing.Dr techn. František Kotšmíd
děkan

v **Liberci** dne **16.10.** 196**72**

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 1

<u>OBSAH</u>	list
ÚVOD.	3
1. KERAMICKÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY.	5
1.1. Výroba keramických břitových destiček.	5
1.2. Keramické destičky jako nástrojový ma - teriál.	7
1.3. Konstrukce nožů s keramickými břitovými destičkami.	9
1.4. Podmínky pro práci s keramickými řeznými materiály.	11
1.4.1. Obrobitelnost litin.	13
1.4.2. Podmínky pro obrábění litiny.	14
2. OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ Z KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ.	15
2.1. Prvopočáteční opotřebení.	15
2.2. Otěr břitu.	16
2.2.1. Brusný otěr.	16
2.2.2. Adhezní otěr.	19
2.2.3. Difuzní otěr.	19
2.2.4. Chemický otěr.	19
2.3. Porušení břitu křehkými lomy.	20
2.4. Plastická deformace břitu.	21
2.5. Formy otupení břitu.	22
3. POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ KERAMICKÝCH A SK ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ.	24
3.1. Porovnání fyzikálně - mechanických vlastností SK a keramických řezných materiálů.	24
4. ŘEZIVOST KERAMICKÝCH ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ.	27
4.1. Principy řezivosti nástrojů.	27
4.2. Řezivost nástroje.	27

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 2

4.3. Metodika zkoušky řezivosti keramic - kých destiček.	28
5. ZKOUŠKY PROVEDENÉ V LABORATOŘÍCH VŠST V LIBERCI.	30
5.1. Podmínky zkoušek.	30
5.2. Obráběný materiál.	31
5.3. Použitý stroj a nástroj.	34
5.4. Naměřené hodnoty opotřebení.	37
5.5. Vyhodnocení naměřených hodnot.	42
6. ZHODNOCENÍ ŘEZIVOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ.	
6. 1. Zhodnocení zkoušek.	54
6. 2. Ekonomické zhodnocení.	55
6. 2. 1. Hospodárnost obrábění.	55
6. 2. 2. Vliv keramických nástrojů na produktivitu.	55
6. 2. 3. Ekonomická výhodnost použitých materiálů.	56
7. ZÁVĚR.	60
8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.	62

PŘÍLOHA OBSAHUJE PROGRAM PRO SAMOČINNÝ
POČÍTAČ NA VYROVNÁNÍ REGRESNÍ ZÁVISLOSTI
A ZPRACOVANÉ VÝSLEDKY MĚŘENÍ.

Autorská práva se řídí směnicemi MŠK pro státní
vysoké školy z č. 31 727/62-III/2 ze dne
12. 11. 1962 (Ústřední MŠK, List 24 v. č. 31
31. 8. 1962) a 13. únorového zákona č. 115/63 Sb.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 3

ÚVOD

Obrábění se podílí asi 40% na celkové struktuře strojírenské technologie. Během budoucích let, asi do roku 1980 klesne tento podíl na třicet procent, v důsledku vzrůstu podílu ostatních výrobních metod, ale i tento podíl bude mít na strukturu strojírenské technologie velký vliv.

Z dalším růstem objemu strojírenské výroby se také zvyšují nároky kladené na obrábění, které nelze řešit pouze rozšiřováním výroby, ale musíme se hlavně zaměřit na její zhospořádání, to znamená růst produktivity práce.

Materiál řezného nástroje je jednou z nejdůležitějších složek mající vliv na zvyšování produktivity práce. Jeho vývoj je veden snahou o zvyšování produktivity obrábění. Každý zkvalitativní skok ve vývoji materiálu řezného nástroje znamená současně skok v používaných řezných podmínkách, především řezné rychlosti. Tyto změny v řezných podmínkách mají vliv na změnu celé technologie, konstrukční úpravy nástrojů a obráběcích strojů. Je zřejmé, že vývoj nástrojového materialu má zásadní význam pro vývoj technologie, konstrukci nástrojů i obráběcích strojů.

Vývoj keramických destiček přinesl mnoho výhod oproti všem dřívějším nástrojovým materiálům. Každý nový nástrojový materiál se na začátku představuje přílišnou řeznou rychlostí podle normálních podmínek i přílišnou křehkostí pro široké použití v praxi. Takové to bylo s rychlořeznou ocelí ve dvacátých letech, takové to bylo i s tvrdými slitinami o třicet let později.

V současnosti se analogické argumenty staví proti řezné keramice. Existující řezné destičky z keramiky na základě kysličníku hlinitého se vyznačují vysokou tvrdostí, vyšší než tvrdokovy a umožňují obrábění vysokými řeznými rychlostmi s dostatečně vysokou trvanlivostí nástroje. Přinášejí takové výhody z hlediska třískového obrábění kovů, které nelze dlouho přehlížet.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 4

Nejdůležitější je ten fakt, že náklady na jeho suroviny jsou nepatrné a tvoří jen zlomek procenta nákladů na slinuté karbidy.

Ve světovém vývoji keramických řezných materiálů existují dva základní směry. Prvý směr se zabývá především zvyšováním výkonu nástrojového materiálu bez ohledu na náklady, druhý směr vyvíjí čistě keramický materiál, přičemž se využívá specifických vlastností keramiky ke zvyšování výkonu.

Vývoj keramického řezného materiálu není u nás ani v zahraničí ukončen. Zaměřuje se především na zvýšení ohybové pevnosti, zmenšení křehkosti a omezení rozptylu řezných vlastností.

Výsledky výzkumných prací a výsledky praktického využití keramických destiček jasně dokazují, že keramické řezné materiály zaujaly definitivně místo ve vývoji řezných materiálů i když zavedení tohoto nástrojového materiálu bude pravděpodobně záležitostí nedaleké budoucnosti (ale je třeba mít stále na paměti, že i vývoj slinutých karbidů trval několik desetiletí a že i v současné době se v této oblasti dále intenzivně pracuje.), ale již dnes tento materiál umožňuje rozšířit poznání v oblastech mechaniky řezání a procesů probíhajících v oblasti styku řezné destičky s obráběným materiálem. Nové názory či náhledy jsou podmíněny především kvalitativními parametry, které odlišují řeznou keramiku od všech ostatních nástrojových materiálů.

Úkolem této diplomové práce bylo porovnání řezivosti keramických břitových destiček různých výrobců při obrábění litiny.

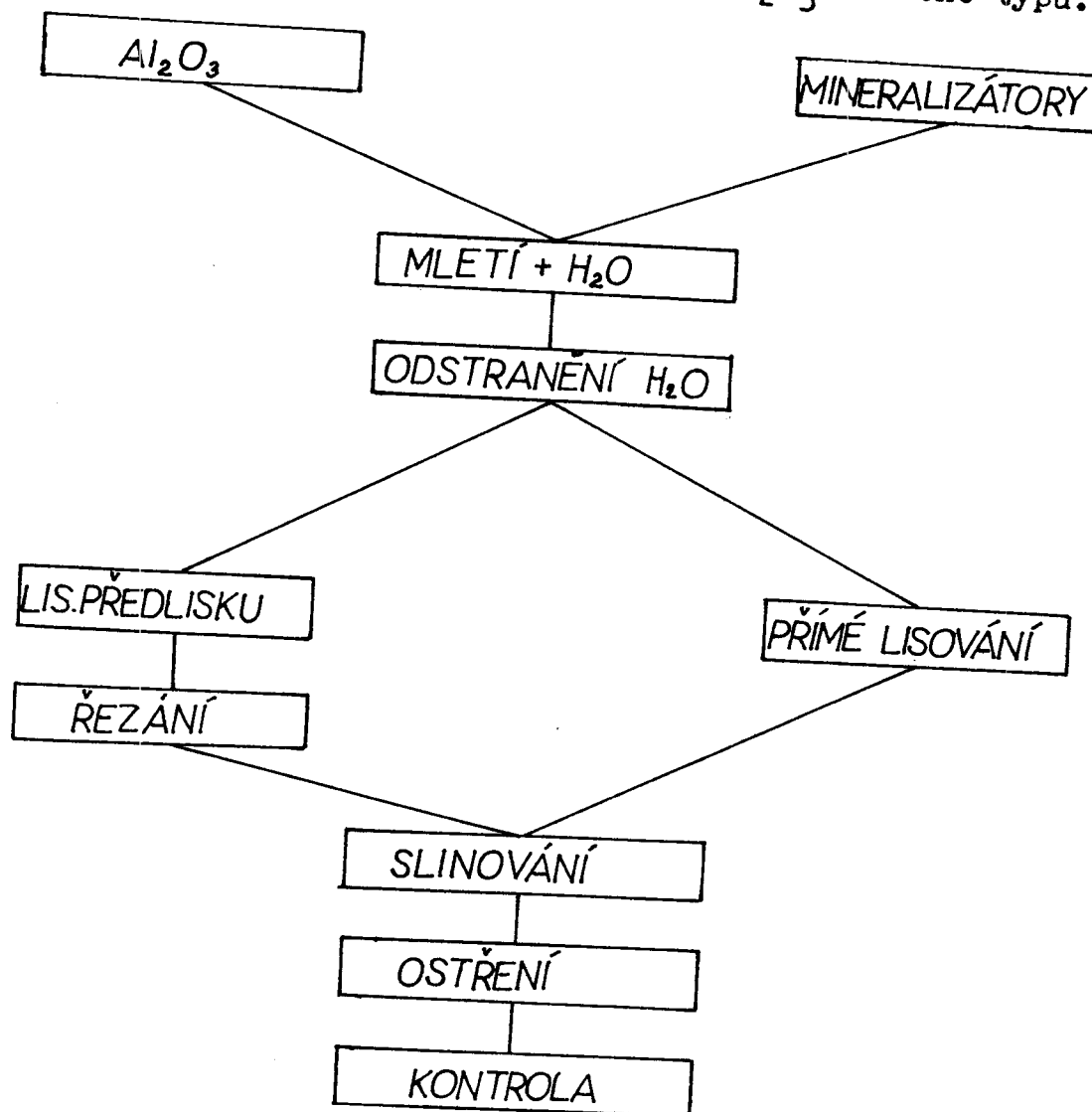
V laboratořích VŠST v Liberci byly provedeny zkoušky při obrábění litinových válců na soustruhu SR 315 keramickými destičkami československé výroby VÚEK, dále východoněmeckými destičkami výrobce VEB Porzellanwerk Auma, západoněmeckými destičkami firmy Feldmühle SPK a švédskými destičkami firmy Degussa.

1. KERAMICKÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY.

1. 1. Výroba keramických břitových destiček.

Výrobci řezné keramiky byli nuceni vytvořit materiál způsobyly odolávat napětí až 17.500 kp/cm^2 vznikajícímu při obrábění velkého množství velice rozšířených materiálů. Po dvaceti letech práce je tohoto cíle dosaženo, to znamená existuje nástrojový materiál, zachovávající si tvrdost při opravdu vysoké řezné rychlosti i dostatečně pevný pro zachycení tlaku řezání.

Základní surovinou pro výrobu keramických břitových destiček je kysličník hlinitý Al_2O_3 různého typu.



obr. 1. Schema výroby keramických břitových destiček

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 6

Postup výroby je schematicky znázorněn na obr. 1.

Jak uvádí (6) při výrobě se ke kysličníku hlinitému přidává nepatrné množství slepovacího pomocného prostředku pro zabránění růstu zrn. Tato směs je za mokra rozemleta, aby bylo dosaženo rovnoměrného rozdělení všech komponent o stejné velikosti práškových zrn. Pro odstranění vody je tato masa doslova za tryskání sušena, při tom se obdrží sypký prášek, který je lisován na polotovary řezných destiček. Po lisování následuje slinování ve speciální peci a po skončeném slinování se tělíška brousí na konečné rozměry.

Mineralizátory obsažené ve směsi se za vyšších teplot přeměňují na kysličníky a řídí růst krystalů během slinovacího procesu. Volba mineralizátorů je pro řezné schopnosti keramických řezných materiálů otázkou prioritní.

Hustota a na ní závislá zbytková porozita keramické destičky je závislá na tlaku při lisování. Pomocí speciální slinovací techniky a použitím pecí vyvinutých speciálně pro slinování keramických destiček lze dosáhnout hustoty 98 - 99 % teoretické hustoty, při průměrné velikosti zrn menších než $3\mu\text{m}$. Ukázalo se, že keramické destičky z hustotou větší než 98,5 % jsou citlivější na rázy a jsou příliš křehké než destičky z hustotou ležící mezi 97,5 - 98,5 %.

V současné době jsou také vyráběny keramické řezné materiály ze směsné keramiky, která je tvořena TiO_2 a Al_2O_3 . Tato řezná keramika je zhotovována podle speciálního postupu rozdílného od výroby "čistého" keramického řezného materiálu.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 7

1. 2. Keramické destičky jako nástrojový materiál.

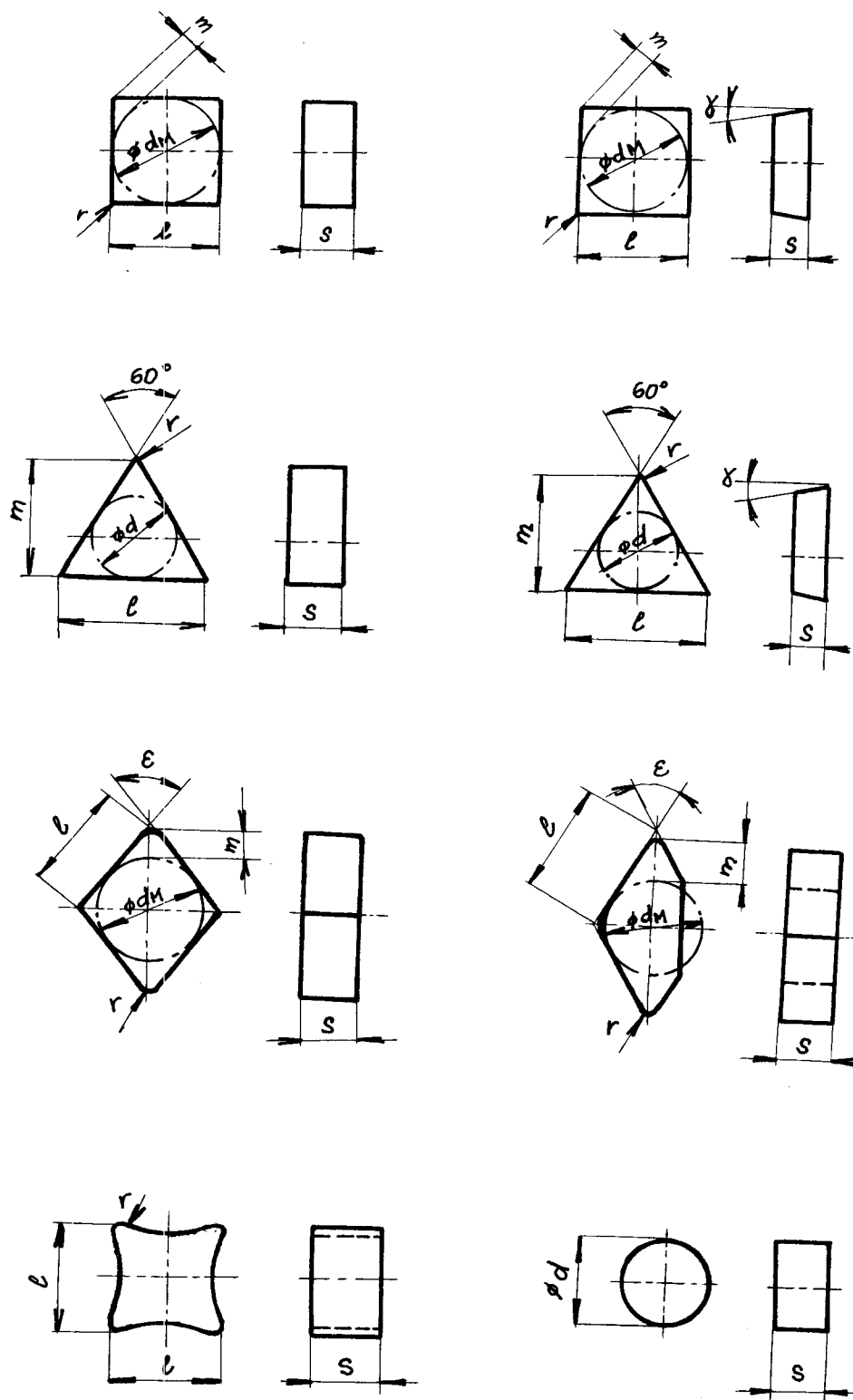
Keramických řezných destiček se používá hlavně k obrábění bez přerušovaného řezu. Pro hoblování, vrtání a j. se keramické destičky dosud nehodí, Nástroji s keramickými destičkami lze obrábět ocel, litinu, neželezné kovy (kromě některých slitin hliníku), umělé hmoty a j.

Použití keramických řezných destiček při různých operacích přináší kladné výsledky, avšak křehkost, malá houževnatost a nestálost řezných i pevnostních vlastností stále brzdí jejich rozšíření v průmyslu. Keramický řezný materiál nenahrazuje slinuté karbidy, tak jako slinuté karbidy nenahradily z celá rychlořeznou ocel, ale keramický řezný materiál je doplnění k současným řezným materiálům. Ještě nevyšel ze stádia zkoušek, ale již nyní můžeme tvrdit, že vytváří novou éru v rychlostním obrábění, čímž klade nové požadavky na technology a konstruktéry. Je velmi důležité a nutné studovat neustále potenciální možnosti keramického nástroje, aby bylo jeho uplatnění v praxi úspěšné. Úspěch bude tím větší, čím dokonaleji bude nástroj konstruován.

Nehledě na zhora uvedené překážky je použití nástroje z řezné keramiky velmi perspektivní, neboť řezná keramika nepotřebuje chlazení, zvyšuje produktivitu v závislosti na zvýšení řezné rychlosti ve srovnání s nejlepšími značkami slinutých karbidů a vyznačuje se stálostí za červeného žáru v pásmu teplot přiměřených teplotě tavení uhlíkové oceli. Řezná keramika se může přeastřovat za pomoci standartních diamantových ostřících kotoučů.

V současné době je vyráběno mnoho druhů a tvarů keramických destiček, přičemž každý tvar má svoji specifickou funkci, která dává destičce použití pro jednotlivé specifické operace nebo pro soubor operací. Dalo by říct, že pro každý soubor prací se používá určitý tvar destičky.

Na obr. 2., jsou znázorněny některé tvary keramických destiček vyráběné firmou Feldmühle.



obr. 2. Některé tvary vyráběných keramických destiček firmy Feldmühle

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 9

1. 3. Konstrukce nožů z keramickými břitovými destičkami

Dle /2/ je nutné při konstrukci keramických nožů dodržovat základní požadavky kladené na konstrukci:

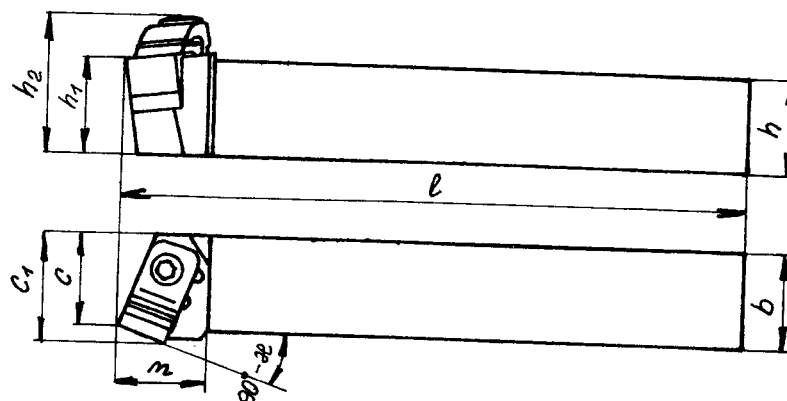
- 1) Dostatečnou pevnost konstrukce.
- 2) Spolehlivé připevnění keramických destiček v kovových držácích.
- 3) Správná metoda geometrie řezné části t.j. taková, která zabezpečuje vysokou výkonost nožů.
- 4) Správná volba tvaru a rozměrů destiček, při které se destičky racionálně využijí.
- 5) Laciná výroba a hospodárnost provozu.

V začátcích byl problém s připevněním keramických destiček v kovovém držáku. Destičky se lepily, ale nevýhodou bylo, že lepený spoj při vysokých teplotách měkl a nebyl spolehlivý. Jiným způsobem připevňování bylo pájení destiček jak holých, tak pokovovaných, které zaručovalo pevný spoj, ale byla tu nevýhoda jako u prvního způsobu, že bylo nutno destičky po otupení přebrousňovat, což bylo velmi nevýhodné a pracné.

Vyvinutím nože s keramickými destičkami upínanými mechanicky, který odstranil nevýhody přeostřování, snadnou výměnou destičky, bylo od obou typů upevňování keramických destiček upuštěno. Nůž tohoto typu je znázorněn na obr. 3.

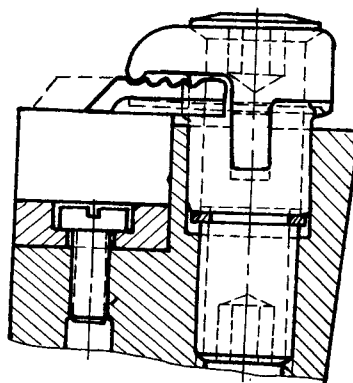
Při konstrukci tohoto typu nože je nutné dodržovat tyto zásady:

- 1) Opěrná plocha pod keramickou destičkou musí být dostatečně tvrdá. Používá se lůžko ze spékaného karbidu, které také lépe odvádí teplo než ocel.
- 2) Opěrné plochy musí být rovinné, aby nedocházelo k lámání destičky.
- 3) Vrchní pritlačná destička musí přiléhat na keramickou destičku rovnoměrně. Tato destička také plní funkci utvařeče třísky.



obr. 3. Nůž s keramickými destičkami upínanými mechanicky.

- 4) Utvařeče mají být zkonstruovány tak, aby se dala měnit vzdálenost od řezné hrany.
- 5) Konstrukce nože má zabezpečit rychlou výměnu opotřeбенé nebo poškozené destičky. Konstrukce má být jednoduchá a laciná. Na obr. 4. je řez upínacího elementu nože.



obr. 4. Řez upínacím elementem nože pro mechanické upínání destiček.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 11

1. 4. Podmínky pro práci s keramickými řeznými materiály.

Při používání keramických nožů je nutné dodržování určitých pravidel, aby byla zabezpečena normální práce keramickými noži.

- 1) Stroj na kterém se má použít keramický nůž musí být dostatečně tuhý, dle /5/ vybavený systémem odstraňujícím vedlejší kmitání, neboť kysličník hlinitý, jako i ostatní nástrojové materiály má stanovenou vibrační pevnost. Je proto důležité, aby keramický nástroj nebyl pod vlivem vysoko frekvenčního kmitání. Tuhostí v tomto případě rozumíme nejen tuhost vodících suportů a včetně stroje, ale i metodu upnutí řezné destičky a vyložení řezné destičky v držáku podmíněné provedením dané operace.

Potřebný příkon hlavního pohonu obráběcího stroje je dán vztahem :

$$P = \frac{F_t \cdot v}{60 : 102 \cdot \eta_c} \quad [kW]$$

Kde F_t je složka řezné síly ve směru řezné rychlosti v [kp]

v - řezná rychlost [m . min⁻¹]

η_c - mechanická účinnost pohonného ústrojí

Z tohoto vztahu vyplývá, (bereme-li v úvahu dle /6/, že řezné síly při obrábění keramickými nástroji nejsou vyšší než při obrábění slinutými karbidy), že potřebný příkon stoupá úměrně zvyšující se řezné rychlosti. Bude tedy potřeba výkonu obráběcího stroje v první řadě podmíněna dosažitelnou řeznou rychlostí a teprve v druhé řadě řeznými silami.

Jak uvádí /5/ bude se v nejbližší době řezná keramika používat na výkonných strojích způsobných

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 12

Zachycovat namáhání přiměřené výkonu hlavního pohonu 22 kW, při obrábění nožem. Přitom větší namáhání budou způsobena zápornými čelními úhly nástroje, tak jako při prvním zavedení nástrojů ze slinutých karbidů.

- 2) Obráběný kus musí být dostatečně tuho upnutý a při upínání do sklíčidel je nutné obráběný kus dobře vyvážit. Excentricita obráběného kusu má za následek nerovnoměrné přídavky na obrábění, které způsobují předčasné poškození ostří keramického nože.
- 3) Jelikož se při práci s keramickými noži používají vysoké řezné rychlosti, je nutno používat otočných hrotů, které nesmějí mít vůli. V opačném případě vzniká chvění a destičky se intenzivněji opotřebují a poškodí.
- 4) Nůž je nutno upínat do nožové hlavy s malým vyložením, aby se vyloučila náchylnost ke chvění a nebyla tak narušena tuhost stroje.
- 5) Hrot nože se musí upnout na úroveň osy obrábění obráběného kusu a použijeme-li k podložení držáku podložky, je snahou používat jich co nejméně a větší tloušťky, neboť větší počet a tenké snižují tuhost upnutí a zapříčiňují chvění.
- 6) Během práce je nutné kontrolovat upnutí nástroje i součásti.
- 7) Musíme dodržovat kritérium opotřebení keramického nože, které je stanoveno dle /7/; pro obrábění na čisto je kritérium opotřebení hřbetu $a_h = 0,3 \text{ mm}$ a pro hrubování $a_h = 0,6 \text{ mm}$.

Při obrábění s keramickými destičkami musí však být věnována daleko větší pozornost průběhu práce než při obrábění s tvrdokovy, neboť mnohotvárnost druhů tvrdokovů umožňuje přizpůsobit se obrobku a stroji do konce při relativně nepříznivém pracovním průběhu. Jiné jsou poměry při obrábění řeznou keramikou, protože zde je všeobecně jedna kvalita a určitá geometrie k dispozici.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 13

1. 4. 1. Obrobitelnost litin

Jak uvádí /1/ závisí obrobitelnost litin na jejich chemickém složení, způsobu výroby a jejich struktuře.

Na obrobitelnost všech druhů litin působí z prvků tvořících jejich chemické složení především uhlík a forma, v jaké je v litině obsažen. U šedé litiny má převážná část uhlíku formu grafitu, který má na její obrobitelnost příznivý vliv. Obrobitelnost šedé litiny je tím lepší, čím větší jsou rozměry a počet částic grafitu. Výhodnou strukturu grafitu z hlediska obrobitelnosti dostaneme žháním litiny při teplotě 850° - 900°C, zhorší se tím však poněkud jejich mechanické vlastnosti.

Přítomnost křemíku v litině zlepšuje obrobitelnost litiny, poněvadž křemík způsobuje grafitizaci uhlíku.

Síra a mangan ve formě sirníku manganatého MnS , rozptýleného v kovové mase zlepšují obrobitelnost litin.

Mikrostruktura litin má značný vliv na obrobitelnost, je závislá na podmínkách lití, tuhnutí, tepelném zpracování a chemickém složení.

Litina s grafitickou strukturou - grafit v základní hmotě feritu - je dobře obrobitelná především z hlediska trvanlivosti břitů, ferit totiž způsobuje nalepování třísek na břit a zhoršuje jakost obrobenej plochy. Struktura perlitická naopak obrobitelnost zhoršuje. Výhodnější je struktura zrnitého perlitu.

Chemické složení a vlivy mikrostruktury určují obrobitelnost jednotlivých druhů litin.

Šedá litina je obecně dobře obrobitelná, její třísky jsou zpravidla elementární. Stupeň obrobitelnosti závisí na struktuře a tloušťce stěn odlitku. Se zmenšující se tloušťkou stěn se obrobitelnost zhoršuje.

Tvrzená litina je na povrchu nesnadno obrobitelná.

Temperovaná litina je v důsledku své mikrostruktury - ferit, grafit, popř. perlit - dobře obrobitelná.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 14

Tvárná litina je v důsledku vyšší pevnosti a houževnatosti hůře obrobitelná než šedá litina a temperovaná litina.

Bílá litina je nesnadno obrobitelná vlivem cementitu a perlitu.

1. 4. 2. Podmínky pro obrábění litiny.

Každý výrobce řezné keramiky zjišťuje a stanovuje pro svoje výrobky vhodné řezné podmínky, aby jeho výrobky mohly spolehlivě pracovat.

Jako příklad jsou uvedeny podmínky pro obrábění šedé litiny, výrobců řezné keramiky, jejíž výrobky byly zkoumány při vypracovávání této diplomové práce.

Výrobce VEB Porzellanwerk Auma doporučuje pro své výrobky tyto řezné podmínky:

řezná rychlost $v = 100 - 300 \text{ m/min}$

posuv $s = \text{do } 0,5 \text{ mm/ot}$

hloubka záběru $t = \text{do } 6 \text{ mm}$

Výrobce DEGUSSA uvádí:

$v = 400 - 200 \text{ m/min}$

$s = 0,1 - 0,3 \text{ mm/ot}$

pro neuváděnou hloubku záběru.

Československý výrobce řezné keramiky VÚEK Hradec Králové, který zatím vyrábí destičky laboratorně neuvádí doporučené podmínky.

Firma Feldmühle uvádí pouze řeznou rychlost a to $v \approx 350 - 500 \text{ m/min}$. Mj. doporučuje, aby řezné destičky pro obrábění litiny byly opatřeny zápornou fazetkou $f = 0,1 - 0,2 \text{ mm}$, aby nedocházelo k velkému vyštipování a vytrhávání ostří.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 15

2. OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ Z KERAMICKÝCH MATERIÁLŮ.

Způsob otupování řezných nástrojů závisí kromě řezných podmínek na fyzikálních vlastnostech a chemickém složení materiálu břitu. Z fyzikálních vlastností řezných materiálů ovlivňuje způsob otupování tvrdost a houževnatost, zejména však závislost tvrdosti keramických materiálů na teplotě.

Břity z keramických řezných materiálů se otupují jednak brusným otěrem mikročástic rozrušeného povrchu břitu, jednak křehkým lomem lasturového tvaru větších objemů materiálu. Vzniku křehkého lomu napomáhá malá tepelná vodivost těchto materiálů (vznik tepelných pnutí) a jejich velká křehkost.

Na otupování břitu nástrojů z keramických materiálů se určitou měrou podílí také adhezní a chemický otěr. Adhezní otěr podporuje vysoká teplota stykových míst. Dochází zde k nalepování částic třísky,

Z hlediska limitní pracovní teploty t.j. teploty při níž tvrdost řezného materiálu neklesne pod únosnou mez patří keramické řezné materiály do druhé skupiny t.j. o limitní teplotě nad 650°C , s převládajícím otěrem fyzikálně-chemickým.

Z výzkumů provedených během posledních dvaceti let vyplývají důležité teze, týkající se procesu řezání nezávisle na druhu nástroje. Jednou z důležitých tezí je, jak se uvádí v /5/ "koncepce o prvopočátečním opotřebení", dlouho předpokládaná, ale nikdy dříve neurčená.

2. 1. Prvopočáteční opotřebení.

Podle /5/ jsou na řezných hranách naostřeného nástroje mikroskopické výstupky, které nemohou čelit řezným silám. V okamžiku, kdy řezná hrana nástroje vnikne do materiálu, tyto měkké výstupky se odlamují a jsou unášeny třískou. I když změna tvaru a rozměru nástroje je natolik malá, aby ji bylo možné změřit, přesto už během několika otáček obráběného předmětu dochází k prvopočátečnímu opotřebení, které se zpomaluje ve chvíli, kdy se na řezné hraně objeví úzký pásek opotřebení.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 16

Z výše uvedeného vyplývá, že menší otupení nástroje vzniká tehdy, když drsnost řezných ploch je po naostření neznatelná, toto se hlavně týká přední plochy, která je namáhána osovým zatížením při řezání.

2. 2. Otěr břitu.

Proces otírání břitu je v podstatě výslednicí komplexu jevů zahrnující děje fyzikální a chemické. Podle druhu materiálu břitu a obrobku a použitých řezných podmínek probíhají tyto jevy buď současně, při čemž může účinek některého z nich převažovat, a nebo je otěr důsledkem pouze fyzikálního jevu způsobujícího otěr (do této skupiny patří brusný účinek a adheze), nebo chemického jevu (sem patří difuze a vytváření chemických sloučenin na stykových místech břitu).

2. 2. 1. Brusný otěr.

Podle teorie (která vysvětluje vznik brusného otěru) vzniká brusný otěr tím, že tvrdé částice materiálu třísky popřípadě na povrchu plochy řezu, vytvářejí mikrorýhy na stykových místech břitu s třískou a plochou řezu.

Předpokladem ke vzniku brusného otěru je, aby tvrdost některých mikročástic materiálu třísky a obrobku převyšovala tvrdost určitých částic materiálu břitu.

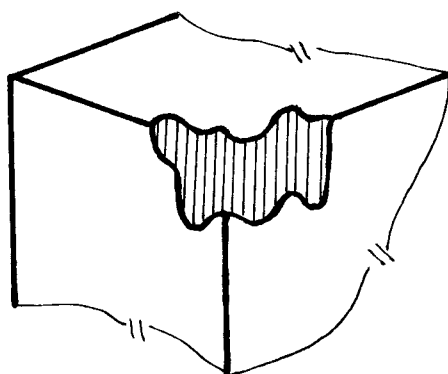
Sekundárním jevem brusného otírání břitu je, že zvyšuje napětí v mezní vrstvě materiálu břitu, a tím i pravděpodobnost odtržení jeho částice.

Brusný otěr vyvolávají také vysoce zpevněné částice třísky a částice na vnějším okraji plochy řezu, které spolu s oxidy tvořícími se na okrajích stykových ploch vytvářející na okrajích otřených ploch na hřbetě a čele hluboké rýhy. (obr. 5.)

Při analýze podstaty typického opotřebování keramických destiček převládá postupné vydrolování drob-
ných krystalických částic Al_2O_3 z aktivní části nástroje.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 17

Jednotlivá zrna Al_2O_3 výrazně vynikají ve struktuře keramických destiček a zdá se, jako by byly uloženy v určité základní látce. Taková základní látka (jako je například keramická nebo kovová vazba brusného nástroje) ve struktuře keramické destičky není. Zrníčka Al_2O_3 jsou v keramické destičce udržovaná vzájemnou



obr. 5. Rýhy na břitě vytvořené zpevněnými částicemi materiálu obrobku.

vazbou jednotlivých krystalků a zrníček a pevnost této vazby záleží na kvalitě slinutí.

Proces řezání je vždy provázen chvěním soustavy stroj - nástroj - obráběný předmět, jehož intenzita je různá. V důsledku chvění technologické soustavy je řezný nástroj vystaven účinkům dynamických rázů. Nárazy na keramickou destičku mají podobný účinek jako nárazy na brusný nástroj. Dochází k vylupování drobných částíček a krystalků kysličníku hlinitého z keramické destičky.

Na brusné opotřebení keramické destičky má vliv její struktura. Nástroj s jemnozrnou strukturou má větší odolnost proti opotřebení než hrubozrný, viz obr. 6. a 7., protože dochází ke zvětšení celkové stykové plochy zrn, jehož výsledkem je zvětšení soudržné síly mezi zrna.

Drobné vydrolení částic, vzniklé původně na ostří se rozšířilo a vytváří hrubé nepravidelné otupení na hřbetě. Toto otupení je způsobeno postupným vydrolováním.

Rovnoměrné otupení hřbetu viz obr. 7. vzniká u keramických destiček s jemnou strukturou. Otěr na hřbetě vzniká plynule a ostří se tak rychle nezablouje.



obr. 6. Nerovnoměrné otupení hřbetu keramické destičky s hrubou strukturou.
Zvětšení 25 x , T = 30 min



obr. 7. Rovnoměrné otupení hřbetu keramické destičky s jemnou strukturou.
Zvětšení 25 x , T = 30 min

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 19

2. 2. 2. Adhezní otěr.

Adhezní otěr se na celkovém otupení keramické destičky podílí malou měrou. Adhezní otěr je podporován vysokou teplotou stykových míst, přičemž dochází dle /1/ k nalepování částic třísky. U keramické destičky však nelze mluvit o vzniku nějaké slitiny ocelí a kysličníku hlinitého ani o okysličení nástrojového materiálu a tím o možnosti narušení jeho struktury, jako to platí pro slinuté karbidy. U keramické břitové destičky je vyloučena možnost svařování kysličníku hlinitého s odcházející třískou.

2. 2. 3. Difuzní otěr.

Difuzní otěr patří do kategorie chemického otěru. Vyskytuje se u materiálů jehož prvky mají disociační teplotu 680°C - 1200°C . Z této skutečnosti vyplývá, že se může vyskytnout prakticky jen u SK a keramických materiálů, teoretické podklady pro jeho vznik u keramických materiálů však nejsou žádné.

2. 2. 4. Chemický otěr.

Chemickým otěrem označujeme vytváření defektní vrstvy na pracovních místech břitu v důsledku jejich oxidace popř. vytvářením chemických sloučenin z prvků řezného materiálu a řezného prostředí.

Jak uvádí /5/ je opotřebení řezné keramiky podmíněno především chemickou reakcí mezi kysličníky obráběného materiálu (tvoří se jako výsledek reakce mezi kyslíkem vzduchu a obráběným materiálem) a kysličníkem nástrojového materiálu. Výsledkem tohoto vzájemného působení se tvoří dvojité kysličníky, které jsou charakteristické nízkou teplotou tavení. Výzkumy ukázaly, že toto chemické opotřebení má místo v určité vzdálenosti od vrcholu nástroje (v závislosti na hloubce řezání), kde se tříska odděluje od povrchu nástroje za přístupu vzduchu.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 20

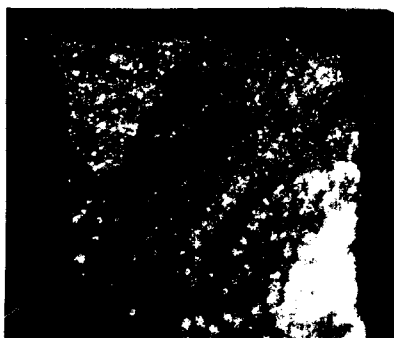
2. 3. Porušení břitu křehkými lomy.

Porušení břitu křehkými lomy se nejvýrazněji projevuje při práci nástroje, to znamená v makroobjemech, zatím co při ostření břitu dochází k porušení břitu v mikroobjemech v daleko menší míře.

Překročíme-li na některém místě břitu pevnost materiálu v ohybu, dochází k porušení břitu křehkými lomy. Příčinou přetížení může být ráz při přerušovaném řezu, okamžité zvýšení řezného odporu v důsledku tvrdého vměstku v materiálu obrobku (při obrábění litiny může jít o zakalené zrnko litiny tzv. "pecku"), neúměrně velký průřez odřezávané vrstvy materiálu, popřípadě i tepelný ráz.

Vznik křehkých lomů je také podporován mikrotrhlinkami v materiálu břitu, které se vytvoří v povrchové vrstvě při ostření nástroje za nevhodných podmínek.

Velký teplotní spád mezi povrchovou vrstvou a ostatním materiálem nástroje a vnitřní pnutí tím způsobené jsou příčinou vzniku mikrotrhlin. Mikrotrhliny vytvořené v těsné blízkosti ostří značně podporují vznik křehkých lomů. Ke vzniku křehkých lomů dochází u materiálů málo houževnatých jako jsou slinuté karbidy a keramické materiály, než u materiálů s vyšší houževnatostí jako jsou nástrojové rychlořezné oceli.



obr. 8. Lom keramické destičky.
Zvětšení 20 x.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 21

U keramických řezných nástrojů je hlavní příčinou vzniku křehkých lomů spojitá mechanická a teplotní namáhání spojené s malou ohybovou pevností, křehkostí a tedy malé odolnosti proti namáhání řeznou silou.

Gradient teplotního pole keramického nože je pro špatnou tepelnou vodivost velký. Vznikající teplo v řezném procesu se pak soustřeďuje převážně do oblasti aktivních částí nástroje, ve kterých vznikají tepelná napětí. Při velkém tepelném napětí způsobuje dynamické působení třísky a obráběného předmětu na keramický nástroj, křehký lom.

2. 4. Plastická deformace břitu.

Podstatou této formy otupování břitu je kontinuální přesun plasticky deformované vrstvičky materiálu břitu o tloušťce několika desítek Å na stykových plochách břitu. Na čele se posouvá materiál ve směru relativního pohybu hřbetu proti ploše řezu. Předpokladem pro vznik této formy otupení je určitý stupeň plasticity povrchových vrstev materiálu břitu. Plasticita je vyvolána mechanickým zatížením spolu se zahřátím této vrstvy.

U keramických nástrojů může dojít k této plastické deformaci vlivem malé tepelné vodivosti, která zapříčiňuje koncentraci tepla v povrchových vrstvách břitu, což spolu se všestranným stlačením zvyšuje jejich plasticitu. Dle [3] byla plastická deformace špičky keramické destičky pozorována při obrábění oceli o vysoké pevnosti, vysokými rychlostmi.



obr. 9. Plastická deformace břitu nástroje.

Vlivem velkého zatížení rozžhavená špička nože trochu klesá a lehce se posune dopředu. Je to zřejmě způsobeno tím, že teplota vzroste na takovou hodnotu, že pojivo obklopující zrna Al_2O_3 měkne a přitom dochází ke klesání nejvíce zatížené části nástroje - špičky nože. Výsledkem plastické deformace je změna geometrie řezného klínu. Vzniká, nebo roste záporný úhel čela. Současně se zlepšuje svinování i odchod třísky při obrábění s nevelkou hloubkou řezu. Někdy se vlivem plastické deformace zhoršuje drsnost povrchu, protože na hřbetě vzniká téměř neznatelný výstupek, ten se ale za určitou dobu opotřebuje a jakost povrchu se zlepší.

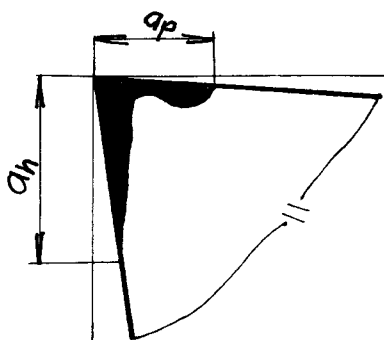
2. 5. Formy otupení břitů.

Břit je při obrábění vystaven intenzivnímu tepelnému a mechanickému namáhání, což vede za určitou dobu k opotřebení funkčních ploch. Jestliže otupení dosáhne určité hodnoty, nástroj se stane neschopným další práce, neboť vlivem vzrůstajícího otupení se mění rozměr obrobku i jakost obrobeného povrchu, která se zhoršuje.

Obvykle dochází k těmto typům otupení:

- a) opotřebení hřbetu a čela otěrem viz obr. 10.,
- b) vylamování ostří nebo lom celé břitové destičky (obr. 8.).

Velmi často se vyskytuje mechanické poškození - vydrolení ostří a lom břitové destičky, jež vzniká při mechanickém přetížení nebo při rázovém zatížení břitu.



obr. 10.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 23

Při obrábění litiny, kde se tvoří krátká lámavá tříška, otupuje se břit v rozsahu používaných řezných podmínek převážně na hřbetě. Na čele korundového nástroje vzniká opotřebení ve tvaru výmolu jen za určitých podmínek. (viz obr. 11.)



obr. 11. Opotřebení keramické destičky na čele.

Vznik výmolu lze vysvětlit do jisté míry ulomením nebo ustřižením výčnělků mechanickými silami v místě styku třísky s čelem. Nelze přitom zanedbat vliv teploty. Za příčinu výmolu můžeme považovat vznik mikroskopických trhlin ve skelné fázi působením rozdílných tepelných roztažností skelné fáze a kysličníku hlinitého.

Zvětšováním řezné rychlosti se nutně ~~se~~ musí zvětšovat i příkon, a tím i nejvyšší teplota na břitu, neboť nejvyšší část dodané energie se přeměňuje v teplo. Vytvořené mikroskopické trhliny za současného působení tlaku třísky, který je řádově desetitisíce atmosfér, jsou příčinou uvolňování částic destičky a jejich odnášení za vzniku výmolu.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	List 24
Fakulta strojní		DP ST 981/73	

3. POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ KERAMICKÝCH A SK ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ.

Při obrábění kovů keramickými destičkami je nutné si uvědomit a mít stále na mysli rozdílnost vlastností keramických destiček vzhledem ke slinutým karbidům. Racionálně můžeme řešit problémy plynoucí se zaváděním keramických destiček do výroby jen tehdy budeme-li tyto rozdíly dobře znát.

Pro porovnání SK a keramických řezných materiálů jsou vzaty fyzikálně-mechanické vlastnosti těchto materiálů přičemž hodnoty a údaje jsou převzaty z literatury /2/.

3. 1. Porovnání fyzikálně-mechanických vlastností SK a keramických řezných materiálů.

Tepelná vodivost keramického řezného materiálu je v porovnání se slinutým karbidem přibližně 10 - 40 krát horší. Toto se projevuje ve zvýšeném zahřívání řezné špičky keramického nástroje a ve větším zahřívání obráběného materiálu, protože v důsledku horší tepelné vodivosti keramiky se podstatná část tepla vyvinutého při řezání odvádí obráběným kusem a třískou. Teoretické závěry dle literatury /3/ ukazují, že teplota deformace obráběného materiálu v oblasti řezání je nižší u keramického materiálu při srovnání s SK. Zde se projevuje menší deformace třísky. Teplota tření je naopak nižší u SK, který má velkou tepelnou vodivost. Nízká tepelná vodivost keramického materiálu je příčinou toho, že teplota řezání se koncentruje do místa styku obrobku s nástrojem a způsobuje na špičce nástroje plastickou deformaci. Přitom řezné schopnosti nástroje se nemění vzhledem k jeho vysoké stálosti za červeného žáru. Ale velmi vysoký tepelný gradient, specifický keramickému nástroji, způsobuje tepelný ráz, který rozrušuje břit nástroje. Efekt tepelného rázu může vzrůst při malé ploše styku třísky s nástrojem.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 25

Specifické teplo keramických destiček je přibližně pětikrát vyšší než u SK. Z toho vyplývá, že na zahřátí jednotkového objemu keramických destiček je potřebné větší množství tepla, než na zahřátí jednotkového objemu SK, čímž se nepatrně kompenzuje vliv špatné tepelné vodivosti na vnitřní napětí keramických nástrojů.

Tepelná roztažnost mají SK menší ve srovnání se slinutými korundy. Tato vlastnost keramického materiálu se může při výrobě keramických nožů projevit příznivěji než při výrobě nožů SK. Napětí v keramické destičce (jako následek například zahřátí při pájení), může způsobit na destičce trhlinky a destička se může při broušení zlomit. Toto nebezpečí je však menší než u nožů ze SK.

Srovnání specifických vah ukazuje, že specifická váha keramických destiček je asi čtyřikrát nižší než u SK. Za povšimnutí však stojí, že specifická váha keramických destiček je nižší než je specifická váha syntetického korundu. To znamená, že mezi jednotlivými zrníčky kysličníku hlinitého v tělese destičky jsou póry. Pórovitost keramických destiček má velký vliv na jejich řezné a mechanické vlastnosti. Čím je pórovitost menší, to znamená čím vyšší je hustota keramických destiček tím lepší jsou řezné a mechanické vlastnosti.

Tvrдость je jednou z důležitých vlastností každého řezného materiálu. Je proto žádoucí, aby měla co nejvyšší hodnoty. Pokles tvrdosti keramického řezného materiálu za zvýšených teplot, je mnohem pomalejší než u slinutého karbidu. Tvrдость se udává odporem, který klade měřený materiál proti vnikání cizího, tvrdšího tělesa. K měření tvrdosti keramických materiálů byla zvolena jako nejvhodnější metoda Rockwellova, která se vztahuje ke zjištění tvrdosti houževnatých materiálů (SK vzhledem na kobaltovou vazbu můžeme v určitém smyslu za houževnatý materiál považovat). Naproti keramické destičce jsou velmi křehké a naměřené hodnoty tvrdosti

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 26

dávají jen obraz o odporu proti vnikání diamantového kužele, který keramické destičky kladou vzhledem ke své soudržnosti a k vazbě mezi jednotlivými krystalky kysličníku hlinitého. Z toho můžeme usoudit, že skutečná tvrdost keramické destičky bude vyšší než naměřená.

Na měřenou tvrdost má vliv též pórovitost destiček. Póry v místě měření tvrdosti jsou příčinou vydrolování, naměřená hloubka vtisku je větší, a tím je zjištěná hodnota tvrdosti menší. Dále bylo zjištěno, že čím je větší velikost zrna, tím nižší jsou naměřené hodnoty tvrdosti, ale sama vysoká tvrdost není ještě dostatečným měřítkem pro hodnocení keramických destiček pro účely obrábění.

Ohybová pevnost keramických řezných destiček je přibližně 5 - 7 krát nižší než je pevnost SK. Velmi příznivou vlastností keramiky je však to, že na její pevnost nemají vysoké teploty prakticky vliv. Z výsledku dosavadních prací plyne, že čím je větší zrno ve struktuře keramických destiček, tím menší je ohybová pevnost. Protože lomy keramických destiček byly dosud nejčastější příčinou neúspěchu při jejich provozním použití, byl požadavek na ohybovou pevnost zvýšen.

Závěrem lze říct, že ve všech hodnotách fyzikálně-mechanických vlastností keramických destiček je zřejmý velký rozptyl.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 27

4. ŘEZIVOST KERAMICKÝCH ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ.

4. 1. Principy řezivosti nástrojů.

Princip obrábění je vlastně odstraňování přebytečného materiálu z materiálu výchozího tím, že nástroj ve tvaru klínu vniká do materiálu a přebytečný materiál odstraňuje ve tvaru třísek. Principiálním požadavkem je tedy zachování nástroje ve vhodném tvaru. Tento požadavek může být splněn buď vhodnou vlastností nástroje (tzv. jeho řezivostí), nebo vhodnou zhlédiska procesu obrábění vlastností materiálu obráběného (tzv. obrobitelností),

Řezivost nástroje a obrobitelnost materiálu nejsou vlastně dvě samostatné vlastnosti a nemůžeme je tedy měřit absolutně, nýbrž jen ve vzájemném poměru. Je ovšem přirozené, že každá z nich je určována zcela odlišnými faktory, a proto je obvykle posuzujeme odděleně, ale vždy tak, že je musíme vztahovat k určité vlastnosti druhé.

4. 2. Řezivost nástroje.

Jak bylo uvedeno, vyžadujeme pro proces řezání určitý tvar nástroje. V důsledku jevů vznikajících při obrábění (silových, tepelných, chemických a pod.) nástroj se opotřebovává a tím dochází k jeho otupení, t.j. k takové změně tvaru, že další proces řezání není možný. Přicházíme zde k jednomu ze základních pojmů pro řezivost nástroje "kritérium opotřebení".

Tato kritéria opotřebení byla zavedena k porovnání řezivosti nástrojových materiálů a nástrojů bez ohledu na okamžité jakostní parametry obrobku. Opotřebení nástroje se nejčastěji měří:

- 1) měří se lineárně rozměry opotřebovaných ploch činné části nástroje,
- 2) geometricky se určuje objem opotřebovaného materiálu nástroje,
- 3) stanovuje se váha úbytku nástroje vlivem opotřebení.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 28

Pro keramické řezné materiály je nejvíce užívané kritérium opotřebení, které je dáno určitou mezní hodnotou šířky opotřebené plochy na hlavním hřbetu nástroje.

Můžeme říci, že řezivost nástrojového materiálu je schopnost udržet za podmínek obráběcího pochoďu původní tvar v určitých mezích po delší či kratší dobu.

Obecnou měrou řezivosti je doba, která je označována jako trvanlivost nástroje, přičemž trvanlivostí nástroje rozumíme dobu mezi počátkem práce nástroje a okamžikem, kdy průměrná šířka opotřebení hlavního hřbetu dosáhne mezní hodnoty a_h . Se vrůstající trvanlivostí za daných podmínek, zlepšuje se řezivost nástroje a naopak.

4. 3. Metodika zkoušky řezivosti keramických destiček.

Pro zkoušku řezivosti je nutné vybrat minimálně čtyři řezné rychlosti, odstupňované pro řeznou keramiku řadou R10. Tímto odstupňováním dosáhneme pro dvě sousední rychlosti v řadě toho, že trvanlivost nástroje při vyšší řezné rychlosti klesne oproti trvanlivosti nižší řezné rychlosti zhruba na polovinu, přičemž trvanlivost nejvyšší zvolené rychlosti nemá klesnout pod pět minut.

Řeznou rychlost nastavujeme pro povrch obrobku před obráběním ne pro povrch vzniklý po obrábění.

Za těchto podmínek obrábíme po určitou dobu, potom změříme opotřebení hlavní plochy hřbetu a_h a není-li dosaženo kritéria opotřebení, pokračujeme ve zvolených intervalech v obrábění tak dlouho, až je kritéria opotřebení dosaženo.

Sestrojíme časový průběh opotřebení $a_h = f(T)$, viz obr. 12a., při daných řezných rychlostech a při ostatních konstantních řezných podmínkách.

Pro zvolené kritérium opotřebení (pro obrábění na čisto $a_h = 0,3 \text{ mm}$) vyneseme příslušné hodnoty T a odpovídající hodnoty řezné rychlosti v do souřadnic $\log T - \log v$ (obr. 12b.) a takto získaný graf matematicky zpracujeme a určíme C_T a exponent m .

Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti je vyjádřena empirickým vzorcem:

$$T = \frac{C_T}{v^m}$$

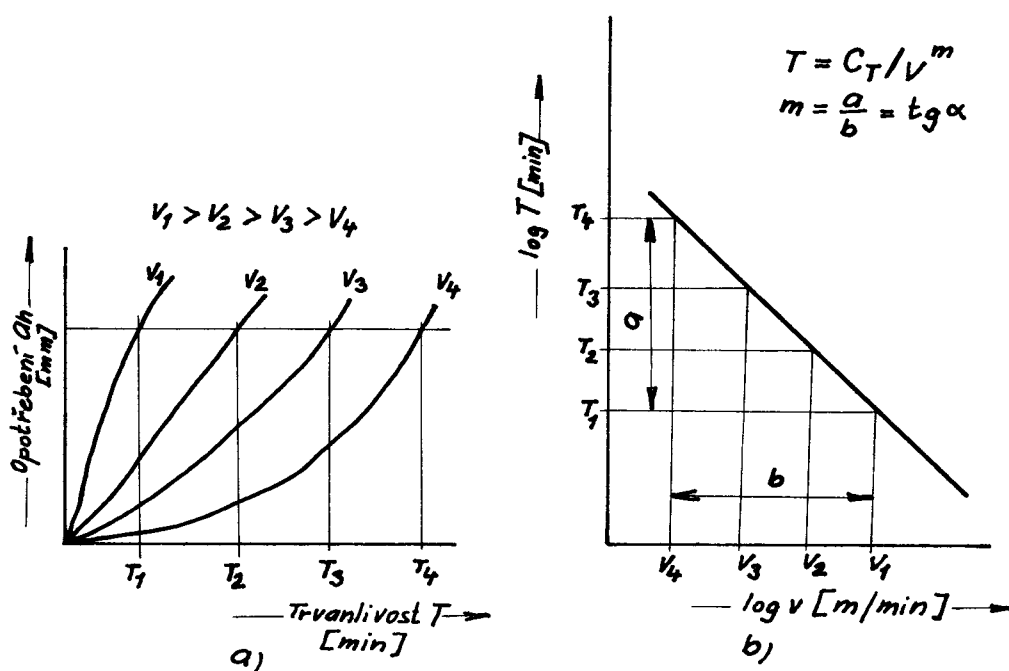
T trvanlivost břitu

C_T konstanta, jejíž hodnota je velikost úsečky na ose $\log T$

v řezná rychlost

m exponent, který vyjadřuje citlivost materiálu nástroje vůči řezné rychlosti

Hodnota m závisí na druhu použitého materiálu nástroje a pro keramické řezné destičky se pohybuje dle /1/ v rozmezí 1,2 - 2,5.



obr. 12. Schema dlouhodobé zkoušky trvanlivosti.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 30

5. ZKOUŠKY PROVEDENÉ V LABORATOŘÍCH VŠST

5. 1. Podmínky zkoušek.

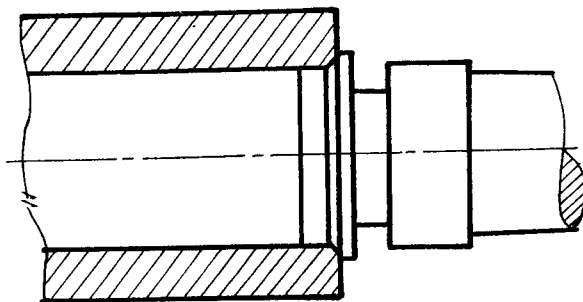
V laboratořích VŠST byla sledována závislost opotřebení hřbetu na trvanlivosti tak, jak je to popsáno v kapitole 4. 3..

Jednotlivé zkoušky probíhaly za těchto podmínek:

- 1) hloubka řezu $t = 1 \text{ mm}$
- 2) posuv $s = 0,313 \text{ mm/ot}$
- 3) jako nejvyšší řezná rychlost byla stanovena rychlost $v_1 = 500 \text{ m/min}$ a směrem dolů dle řady R10 (což odpovídá dle /7/ pro zkoušky keramických řezných materiálů) byly odstupňovány další rychlosti a to $v_2 = 400 \text{ m/min}$, $v_3 = 315 \text{ m/min}$, nyní byly vynechány dva stupně z řady (250 a 200 m/min) a čtvrtá rychlost měla hodnotu $v_4 = 157,5 \text{ m/min}$.

Hodnoty t a s zůstávaly pro všechny rychlosti konstantní.

Zkouška se prováděla na litinových válcích, které se upínaly do čelistí soustruhu a na protilehlém konci byly opírány do speciálně upraveného hrotu, schematicky znázorněného na obr. 13..



obr. 13.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 31

Každý válec byl před započítím zkoušky ohru-
bován z $\phi 250$ mm na $\phi 240$ mm, aby byl odstraněn
vliv zpevnění licí kůry na průběh zkoušky při obrá-
bění na čisto.

Okraje válce byly sraženy pod úhlem 45° , aby
nůž vcházel do záběru plynule a byl tak vyloučen vliv
případného rázu, způsobený nepravidelným okrajem válce.

Obrábění válce při samotné zkoušce, bylo
ukončeno z bezpečnostních důvodů na průměru 170 mm.

5. 2. Obráběný materiál.

Obráběným materiálem byly litinové válce ze
šedé litiny 42 2425, jejíž chemické složení se
nepředepisuje. Válce byly odlity speciálně pro
zkoušky řezivosti. Na obr. 14. je zobrazen zkoušený
válec s okótovanými nejpodstatnějšími rozměry.

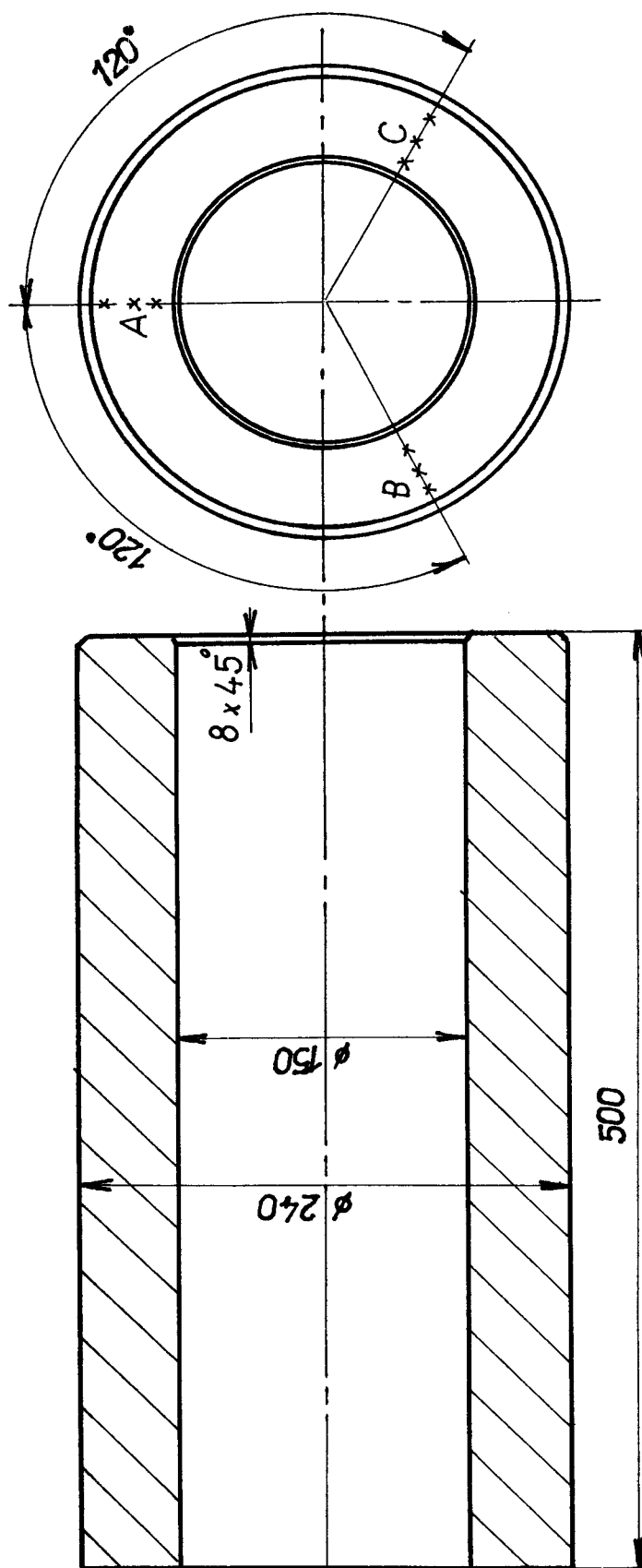
Pro posouzení materiálových vlastností byl
proveden metalografický výbrus a změřena tvrdost.
Tvrdost byla měřena pro obtížnost pouze orientačně
Poldiho kladívkem na čelech všech osmi obráběných
válců, vždy ve stejných místech. Uvedené hodnoty
na obr. 14. jsou již hodnotami průměrnými ze všech
měření. Z obrázku plyne, že tvrdost válců se pohybo-
vala v rozmezí 182 - 190 HB.

Metalografický výbrus byl proveden na vzorku,
vyříznutém z obráběného válce dle schematu na obr.
15. tak, že rovina výbrusu vzorku je kolmá na osu
otáčení obrobku.

Posuzovaná struktura je na obr. 16..

Grafit je lístkový, ojediněle se sklonem k
mírné hnízdovitosti. Maximální délka grafitového vměst-
ku je $100\ \mu\text{m}$.

Základní struktura je perlitická s perlitem
jemným, lamežárním. Množství feritu je v průměru asi
10 %, v místech hnízdovitého vyloučení grafitu stoupá
množství asi na 20 %.

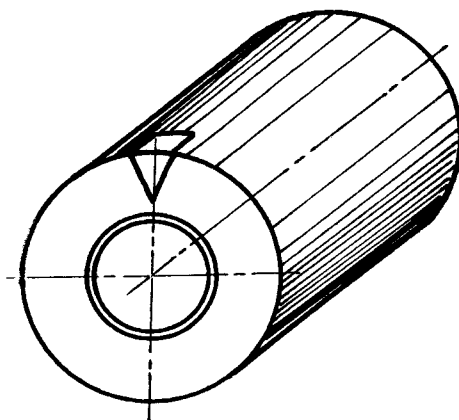


ZMĚŘENÁ TVRDOT : MÍSTO A - 187, 185, 182 HB
 —" B - 190, 185, 185 HB
 —" C - 185, 190, 182 HB

obr. 14.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 33

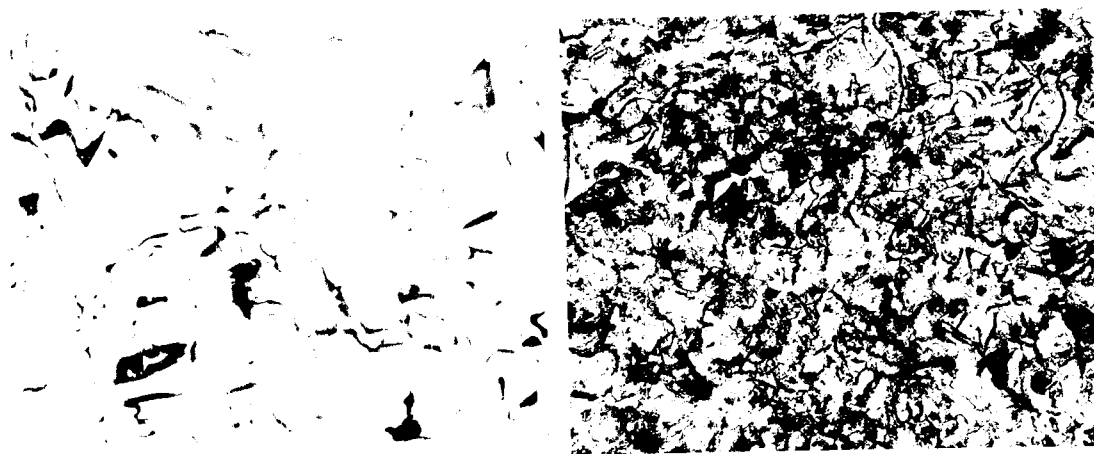
Fosfidy jsou vyloučeny v jednotlivých útva-
rech, stav odpovídá nízkému obsahu fosforu v šedé
litině (do 0,1 %).



obr. 15.

Dále se ve struktuře ojediněle vyskytuje
MnS a další drobné vměstky, z toho vyplývá, že
nebyly zjištěny zvláštní vnitřní vady odlitku -
- staženiny.

Stav zjištěné struktury odpovídá běžnému
stavu dle ČSN.



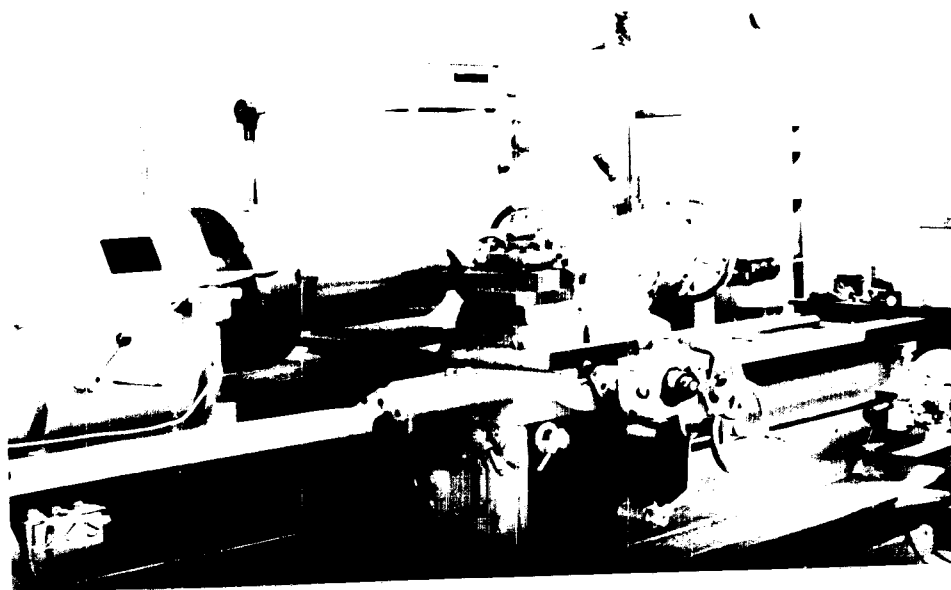
obr. 16. Zvětšeno 50x - nital

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 34

5. 3. Použitý stroj a nástroj.

Litínové válce byly obráběny podélným soustružením na soustruhu SR 315 s přídatným zařízením pro plynulou změnu otáček. Nastavování plynulé změny otáček bylo prováděno pomocí elektronického řízení otáček soustrojí Ward - Leonard a pomocí čítače Universál - Counter BM 445E, měřícího čas jedné otáčky v milisekundách.

Pracoviště je znázorněno na obr. 17.



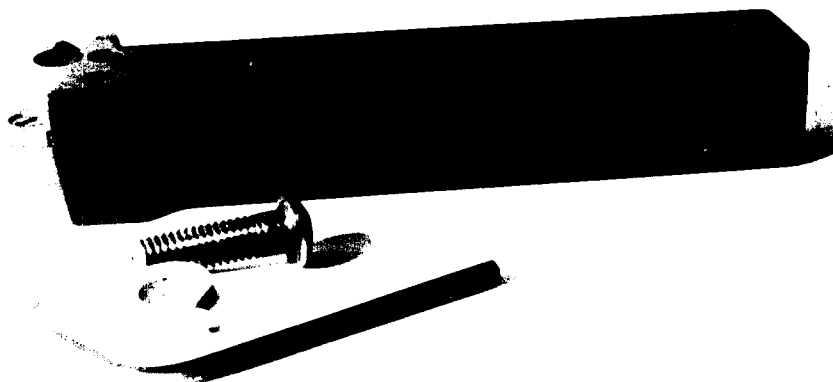
obr. 17.

Jako nástroje bylo použito soustružnického nože ENA 207 (kopie nože firmy Feldmühle), vyrobeného v Autobrzdý Jablonec n.p. Jablonec nad Nisou, s mechanickým upínáním břitové destičky s těmito parametry:

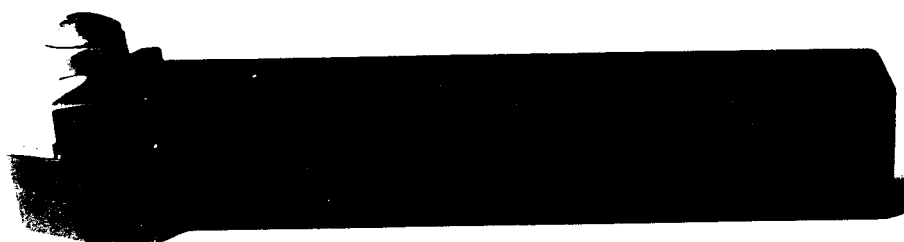
$$\gamma = -6^\circ, \alpha = 6^\circ, \lambda = -4^\circ, \kappa = 70^\circ$$

Nástroj je znázorněn na obr. 18. a 19.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 35



obr. 18.



obr. 19.

Zkoušené keramické destičky pro obrábění na čisto byly těchto typů:

- 1) Firma Feldmühle SPK - SN 56
se zápornou fazetkou o šířce $f = 0,2 \text{ mm}$
a s poloměrem špičky $R 0,4$.
- 2) Firma Degussa Degussit S1 - 12
se zápornou fazetkou o šířce $f = 0,2 \text{ mm}$
a poloměrem špičky $R 0,4$.

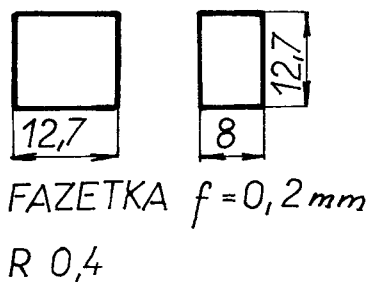
VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981/73	List 36

3) Výrobce VEB Porzellanwerk Auma

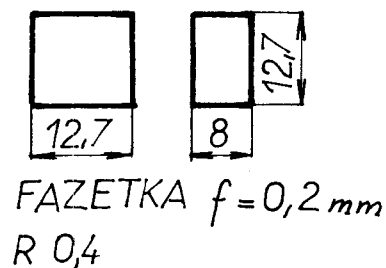
... KA 128 - 0,5 HC 20 - M, Kawenit
bez fazetky, s poloměrem špičky R 0,5.

4) Výrobce VÚEK Hradec Králové, bez označení,
bez fazetky s poloměrem špičky R 1.

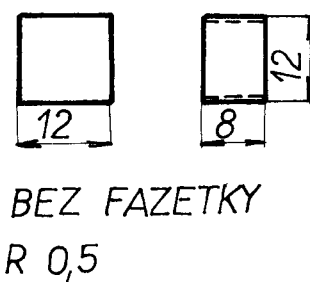
Jednotlivé destičky jsou znázorněny na obr. 20.



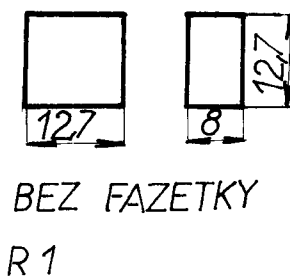
a)



b)



c)



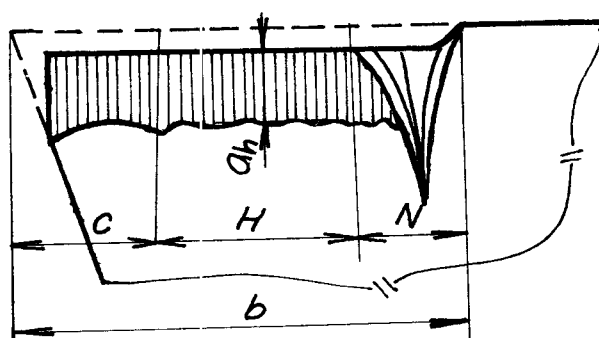
d)

obr. 20. Rozměry zkoušených keramických
destiček.

- a - SPK - SN 56, b - Degussit Sl - 12
c - KA 128 - 0,5 HC 20 - M, Kawenit
d - VÚEK

5. 4. Naměřené hodnoty opotřebení.

Vyhodnocení opotřebení bylo provedeno tak, že celková délka opotřebení b se rozdělila dle /7/ na tři zóny viz obr.21. a za míru otupení byla brána výška rovnoplochého obdélníka, který vznikl přeměnou plochy otupení nože na hřbetě v oblasti H , přičemž oblasti C a N se nebraly v úvahu.



- C - opotřebení na špičce nástroje
- H - běžné opotřebení nástroje
- N - opotřebení od třísky ($= b/4$)

obr. 21. Charakter opotřebení.

Opotřebení na hřbetě a_h bylo měřeno na dílenském mikroskopu Zeiss Jena. Opotřebené plochy zkoušených destiček byly fotografovány na mikroskopu Neophot.

Jako kritérium opotřebení pro práci na čisto byla stanovena hodnota dle /7/ $a_h = 0,3$ mm.

Hodnoty opotřebení jednotlivých destiček pro měřené řezné rychlosti, jsou sestaveny do tabulek I - IV, přičemž destičky jsou označeny takto:

- destička A SPK SN 56
- destička B Degussit S1 - 12
- destička C KA 128 - 0,5HC 20 - M, Kawenit
- destička D VÚEK

Tabulka - I Naměřené hodnoty opotřebení

$s = 0,313 \text{ mm / ot}$

$t = 1 \text{ mm}$

D E S T I Č K A A

$v_1 = 500 \text{ m / min}$		$v_2 = 400 \text{ m / min}$	
T [min]	a_h [mm]	T [min]	a_h [mm]
0,5	0,03	1	0,04
1	0,10	2	0,08
2	0,16	4	0,14
3	0,18	6	0,16
4	0,20	8	0,20
5	0,22	10	0,24
6	0,23	12	0,26
7	0,25	14	0,27
8	0,27	16	0,285
9	0,28	18	0,305
10	0,29		
11	0,30		
$v_3 = 315 \text{ m / min}$		$v_4 = 157,5 \text{ m / min}$	
T [min]	a_h [mm]	T [min]	a_h [mm]
2	0,06	2	0,01
5	0,08	5	0,025
10	0,11	10	0,05
15	0,15	20	0,08
20	0,20	40	0,16
25	0,22	60	0,21
30	0,25	80	0,24
35	0,28	100	0,26
40	0,31	120	0,30

Tabulka - II Naměřené hodnoty opotřebení

$$s = 0,313 \text{ mm / ot}$$

$$t = 1 \text{ mm}$$

D E S T I Č K A B

$v_1 = 500 \text{ m / min}$		$v_2 = 400 \text{ m / min}$	
T [min]	a_h [mm]	T [min]	a_h [mm]
0,5	0,06	1	0,03
1	0,10	3	0,05
2	0,15	5	0,07
3	0,19	7	0,10
4	0,24	8	0,15
5	0,27	10	0,24
6	0,29	12	0,28
7	0,305	14	0,31
$v_3 = 315 \text{ m / min}$		$v_4 = 157,5 \text{ m / min}$	
T [min]	a_h [mm]	T [min]	a_h [mm]
1	0,05	3	0,04
3	0,06	6	0,07
5	0,08	10	0,09
7	0,09	15	0,12
10	0,10	20	0,15
14	0,12	25	0,20
18	0,15	30	0,25
22	0,175	35	0,27
26	0,24	40	0,28
30	0,305	45	0,29
		50	0,31

Tabulka - III Naměřené hodnoty opotřebení

$$s = 0,313 \text{ mm / ot}$$

$$t = 1 \text{ mm}$$

D E S T I Č K A C

$v_1 = 500 \text{ m / min}$		$v_2 = 400 \text{ m / min}$	
T [min]	a_h [mm]	T [min]	a_h [mm]
0,5	0,06	1	0,11
1	0,12	2	0,15
2	0,17	4	0,20
3	0,20	6	0,24
4	0,22	8	0,28
5	0,24	10	0,31
6	0,26		
7	0,29		
8	0,31		
$v_3 = 315 \text{ m / min}$		$v_4 = 157,5 \text{ m / min}$	
T [min]	a_h [mm]	T [min]	a_h [mm]
2	0,10	2	0,09
4	0,12	5	0,12
6	0,14	8	0,15
8	0,18	12	0,17
10	0,19	16	0,19
12	0,22	20	0,21
14	0,24	25	0,23
16	0,26	30	0,25
18	0,29	35	0,27
20	0,31	40	0,29
		45	0,31

$v_1 = 500 \text{ m / min}$		$v_2 = 400 \text{ m / min}$	
T [min]	a_h [mm]	T [min]	a_h [mm]
0,5	0,08	1	0,11
1	0,18	2	0,15
2	0,21	3	0,19
3	0,24	4	0,21
4	0,26	5	0,23
5	0,32	6	0,24
		7	0,26
		8	0,29
		9	0,31
$v_3 = 315 \text{ m / min}$		$v_4 = 157,5 \text{ m / min}$	
T [min]	a_h [mm]	T [min]	a_h [mm]
2	0,09	2	0,05
5	0,16	5	0,08
8	0,21	10	0,115
11	0,24	15	0,155
12	0,27	20	0,18
15	0,29	25	0,22
18	0,31	30	0,24
		35	0,27
		40	0,30

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 42

5. 5. Vyhodnocení naměřených hodnot.

Na základě naměřených hodnot opotřebení a trvanlivosti, z tabulek I - IV, byly sestrojeny závislosti " $a_h - T$ ", pro jednotlivé řezné rychlosti, obr. 22 - 25..

Jelikož nelze tvrdit, že pro počátek křivky závislosti " $a_h - T$ " platí obecně nějaká parabolická, či exponenciální závislost, ale jde zde spíše o nějakou přechodovou křivku, byly příslušné body měření spojeny úsečkami. Z takto získaných křivek, byly pro kritérium $a_h = 0,3$ mm a jednotlivé řezné rychlosti, odečteny odpovídající hodnoty trvanlivosti.

Na samočinném počítači, byla vyrovnána regresní závislost $T = C_T \cdot v^m$, metodou nejmenších čtverců. Bylo provedeno přímé vyrovnaní regresní závislosti a vyrovnaní ve dvojité logaritmické síti, dále byly vypočteny konstanty C_T a exponenty m jednotlivých závislostí " $T - v$ ".

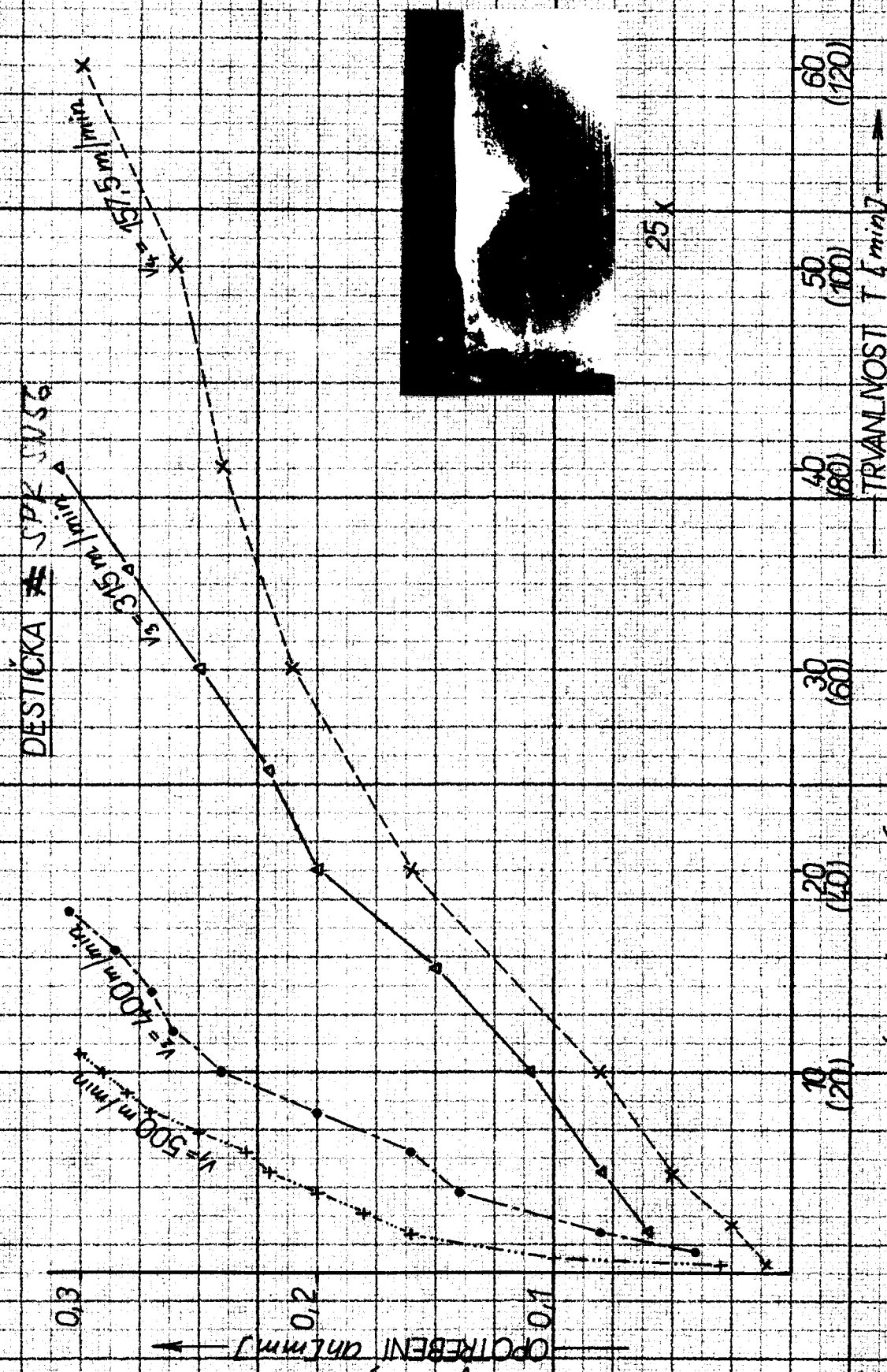
Výsledky ze samočinného počítače jsou zpracovány v grafu závislosti $\log T - \log v$.

Program pro vyrovnaní regresní závislosti je společně s výsledky uveden v příloze.

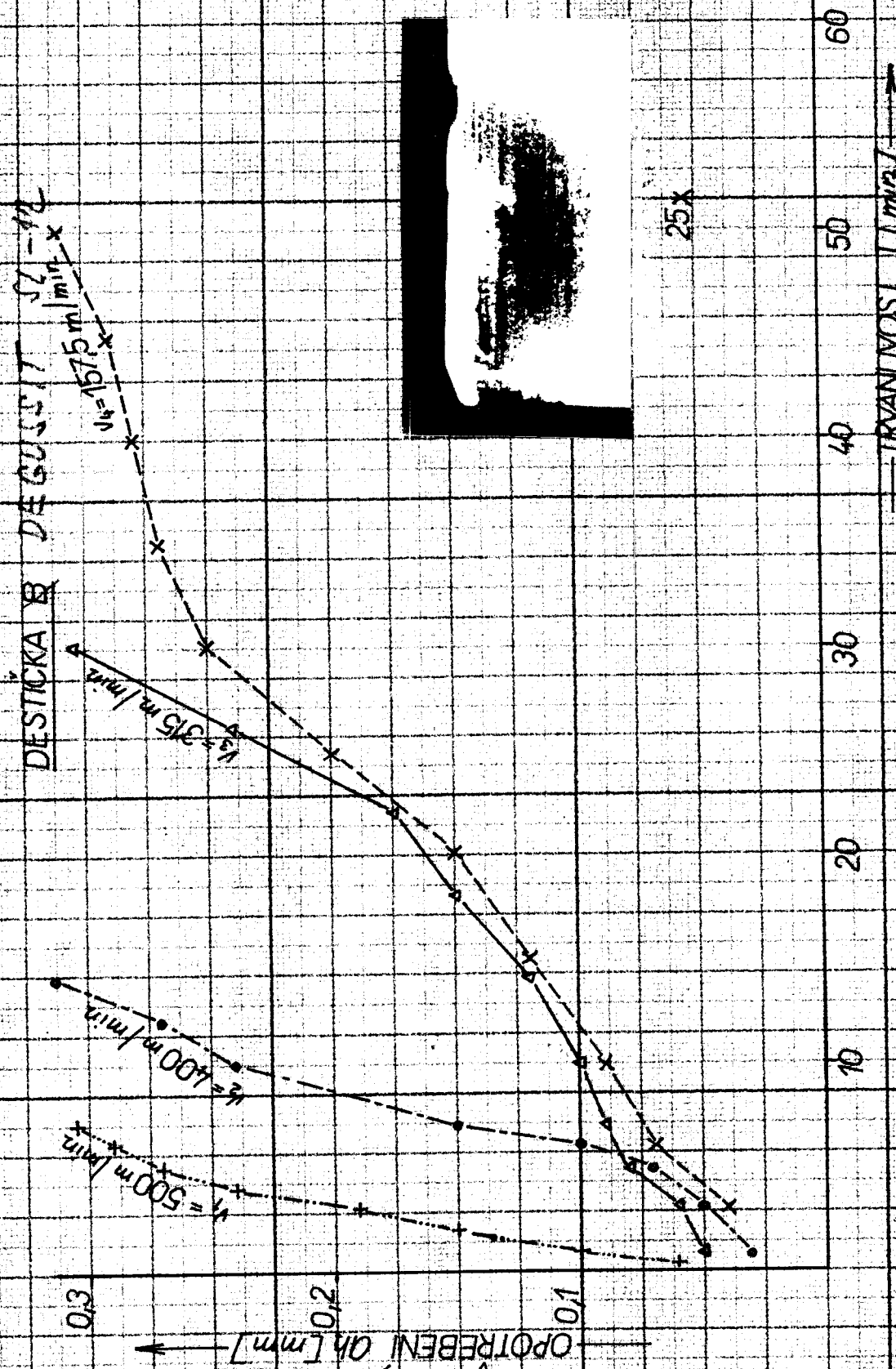
Výsledky ze samočinného počítače jsou zpracovány na obr. 26 - 32., přičemž na obr. 28. je závislost " $T - v$ " zpracována v lineárních souřadnicích, aby mohly být lépe posouzeny obě metody použité při vyrovnaní regresní závislosti.

Jak plyne z výsledků uvedených v příloze je metoda přímého vyrovnaní regresní závislosti přesnější, výsledky získané touto metodou jsou dále brány v úvahu.

Křivky provedené v grafech na obr. 26. - 30. čárkovaně jsou zpracované z výsledků získaných vyrovnaním regresní závislosti ve dvojité logaritmické síti a křivky provedené plnou čarou jsou výsledkem přímého vyrovnaní regresní závislosti na samočinném počítači.

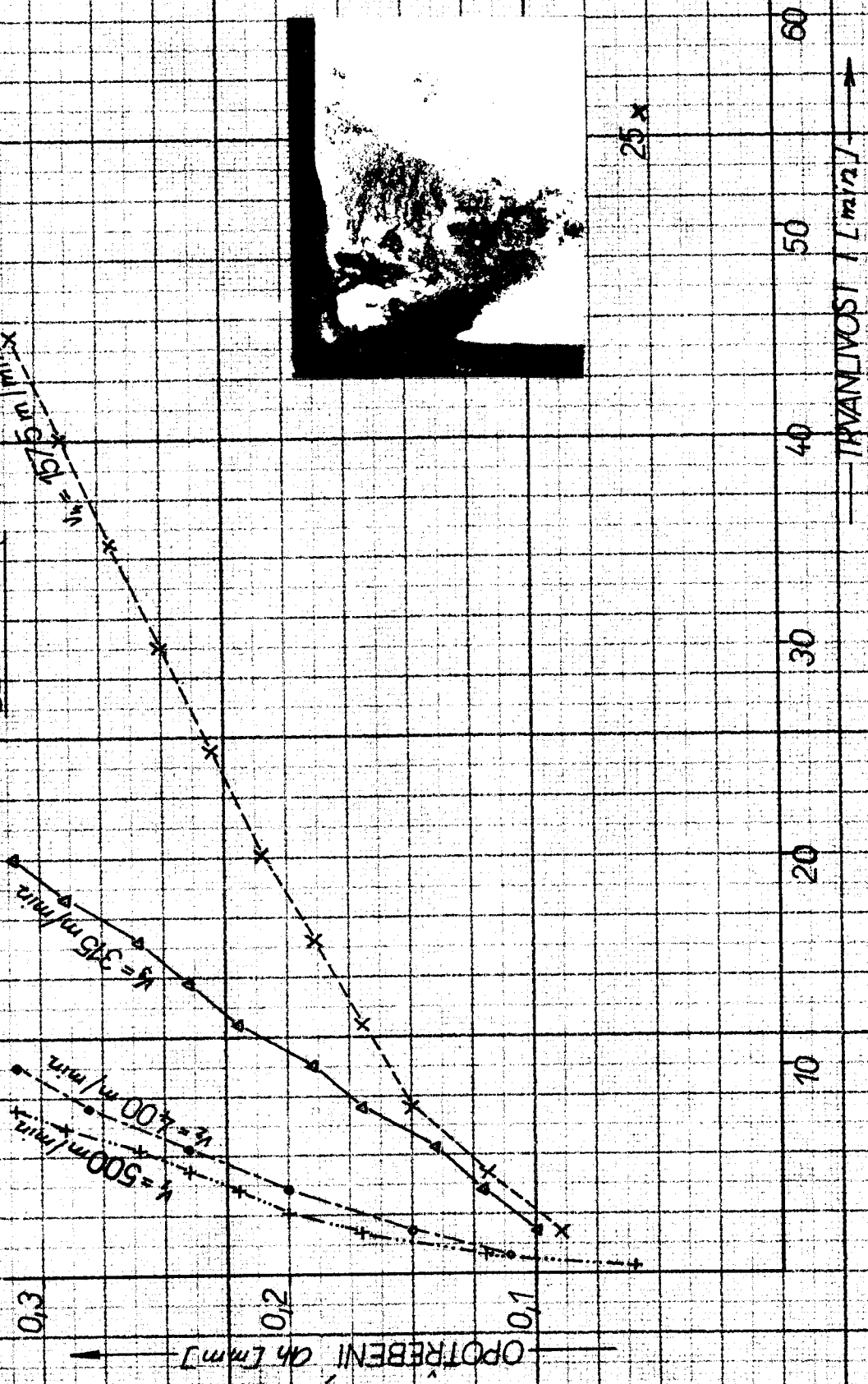


HODNOTY V ZÁVORKÁCH PLATÍ PRO $v_k = 157,5 \text{ m/min}$
obr. 22.

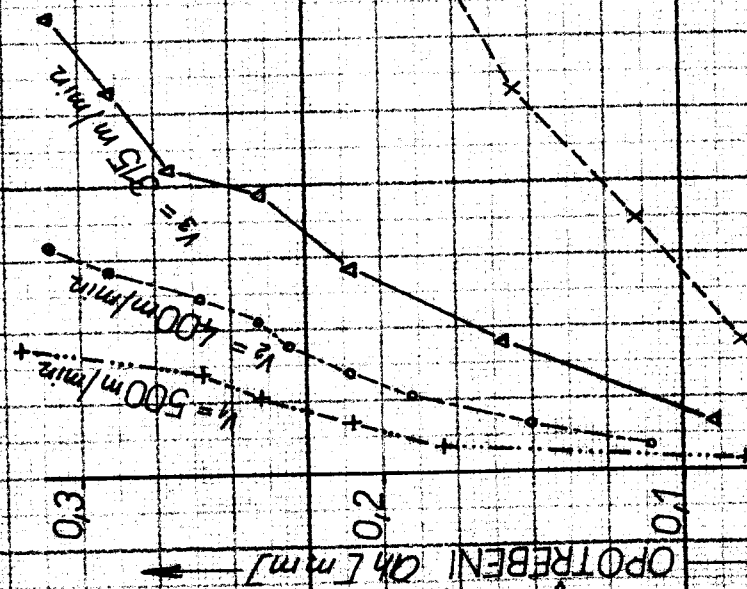


obr. 23.

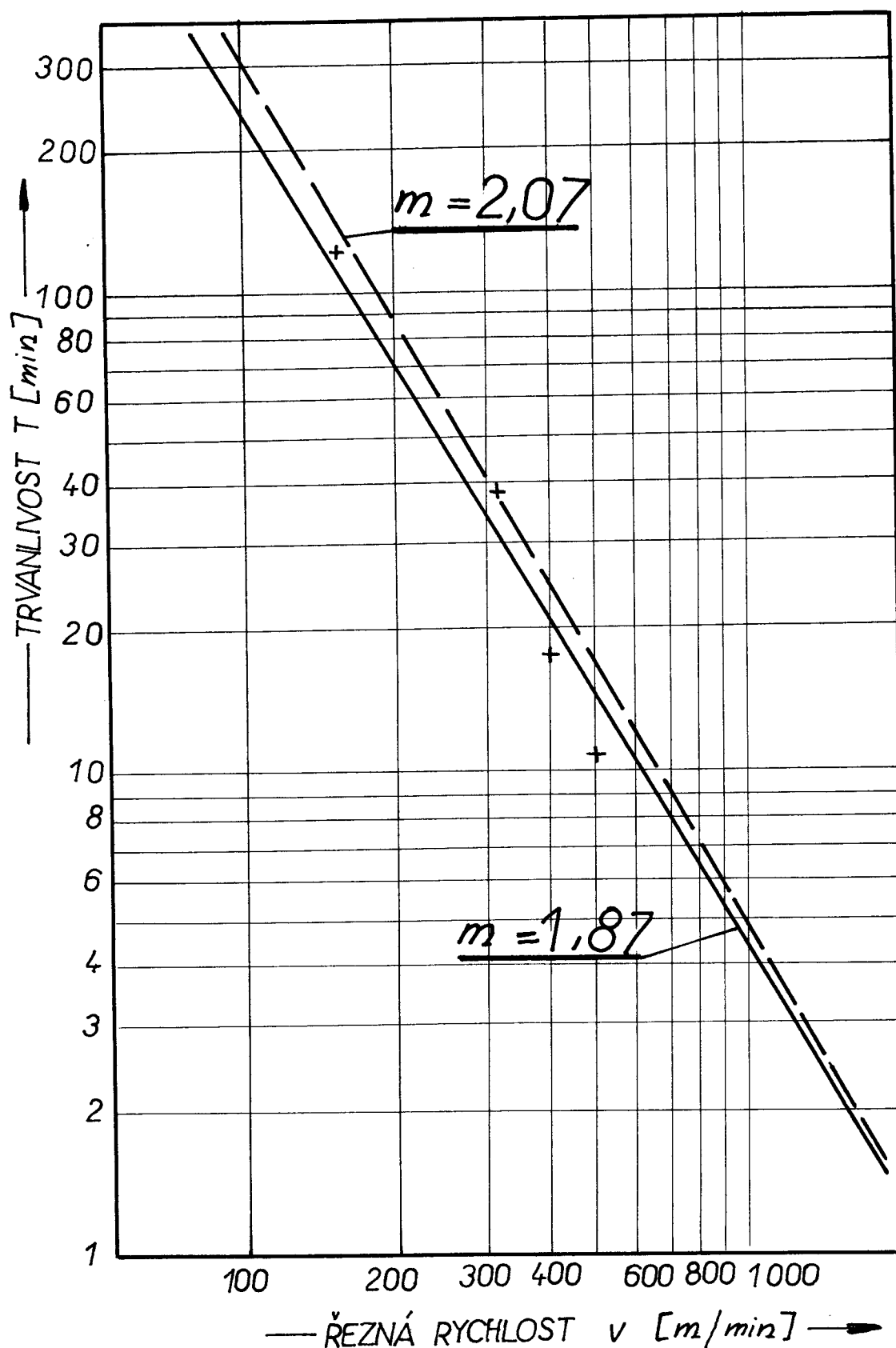
DEŠTICKA Q KAFENIT



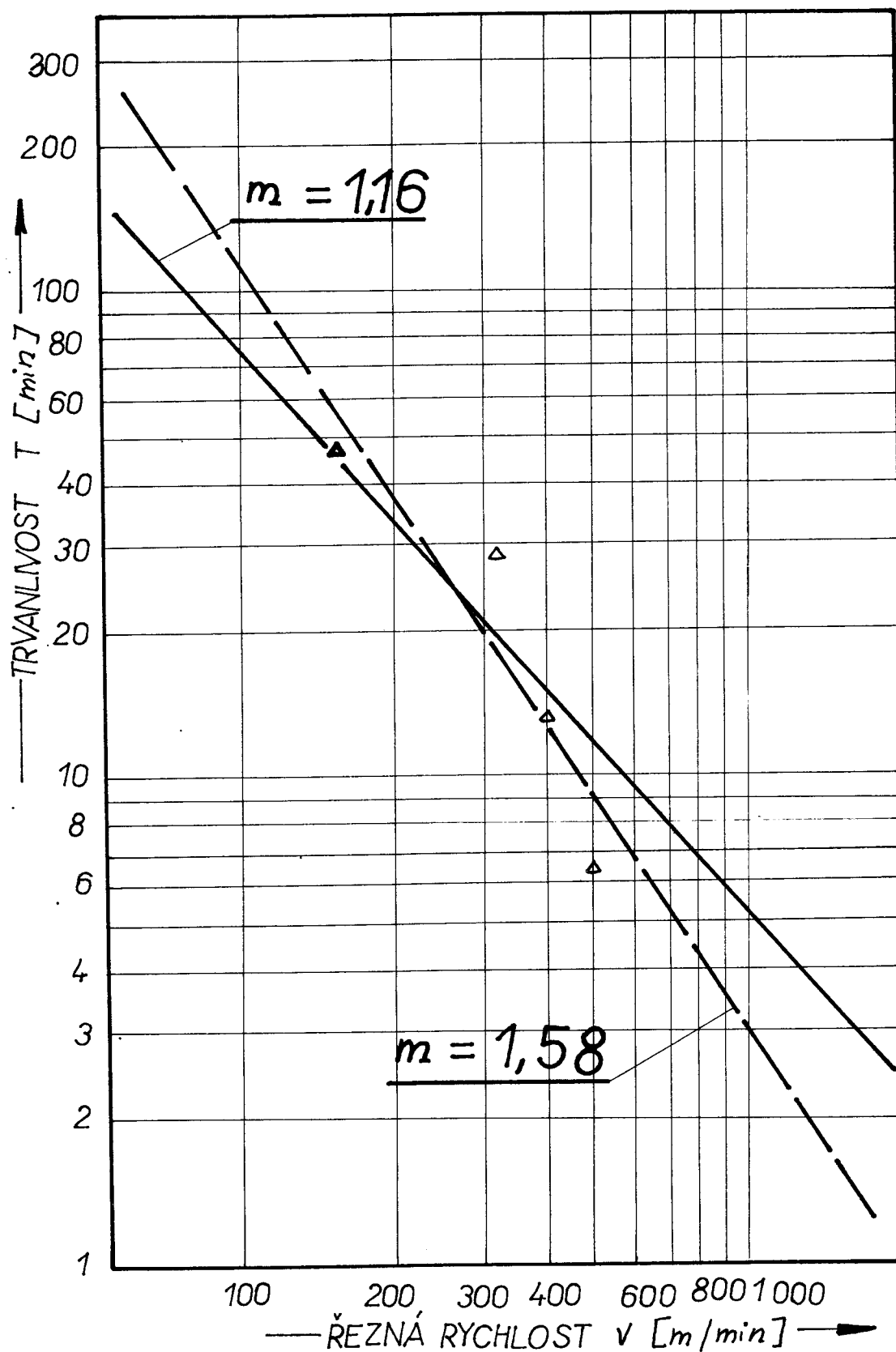
obr. 24.

DEŠTIČKA Δ VŮZEK

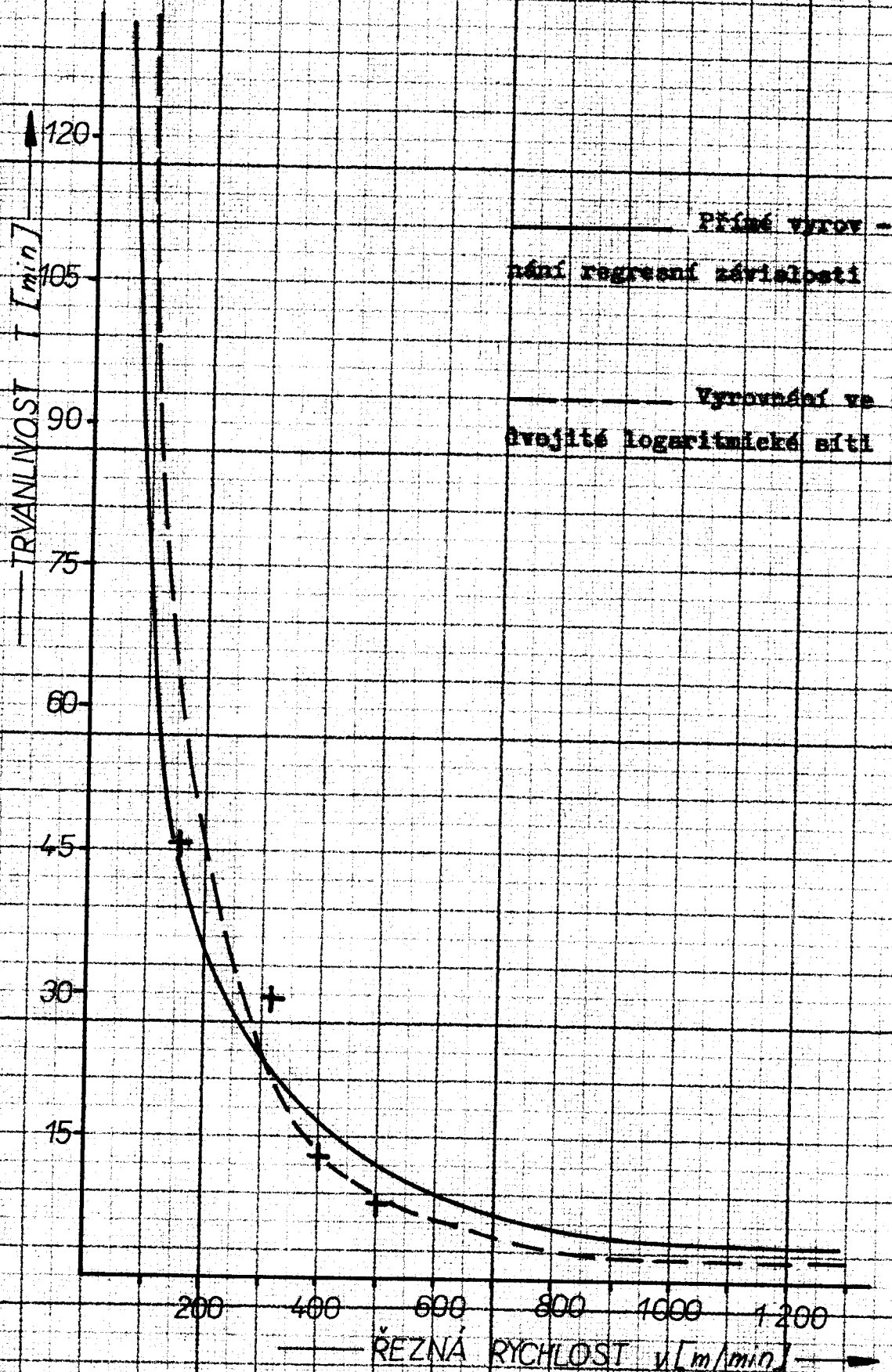
obr. 25.



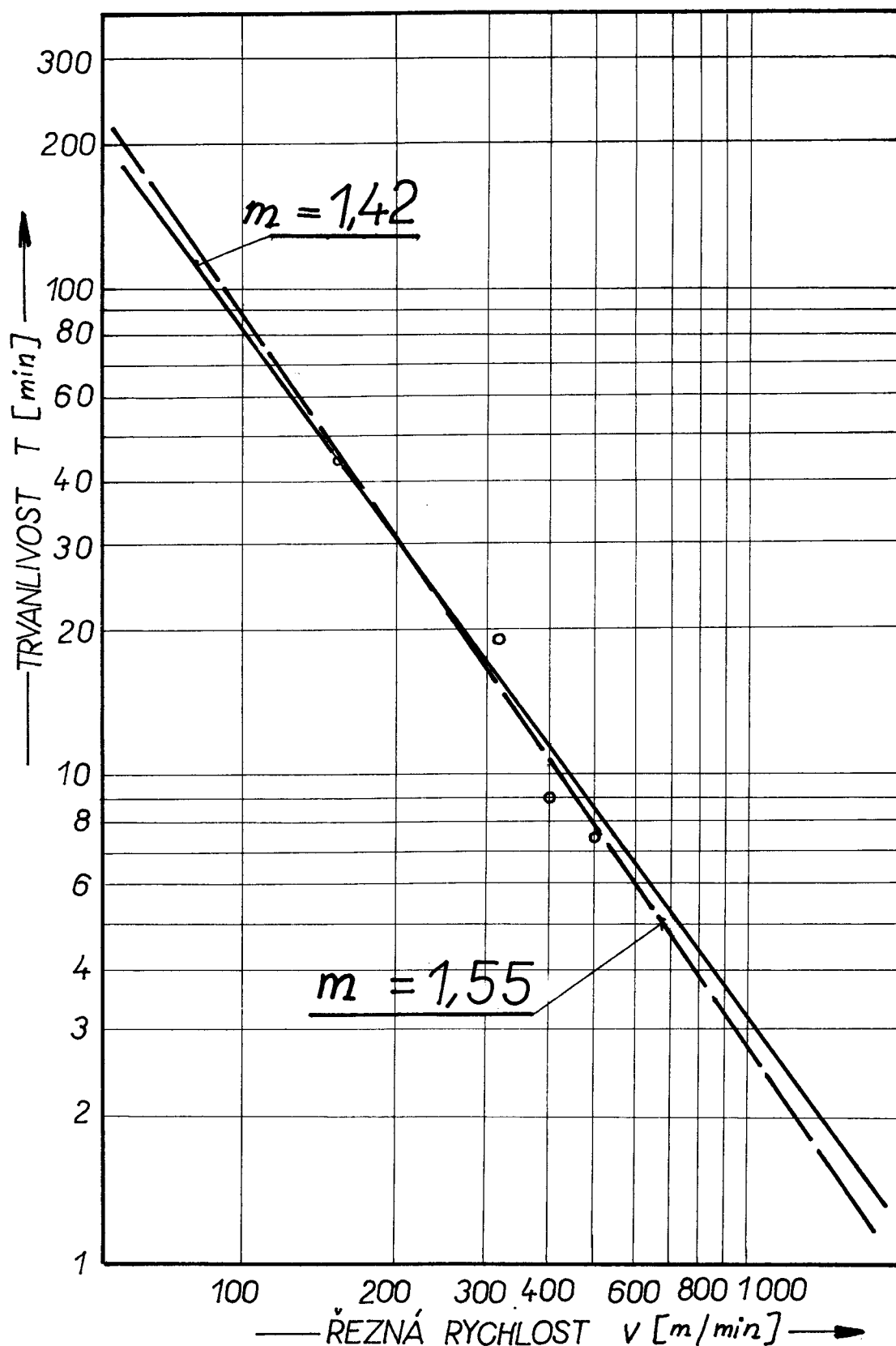
obr.26. Destička A



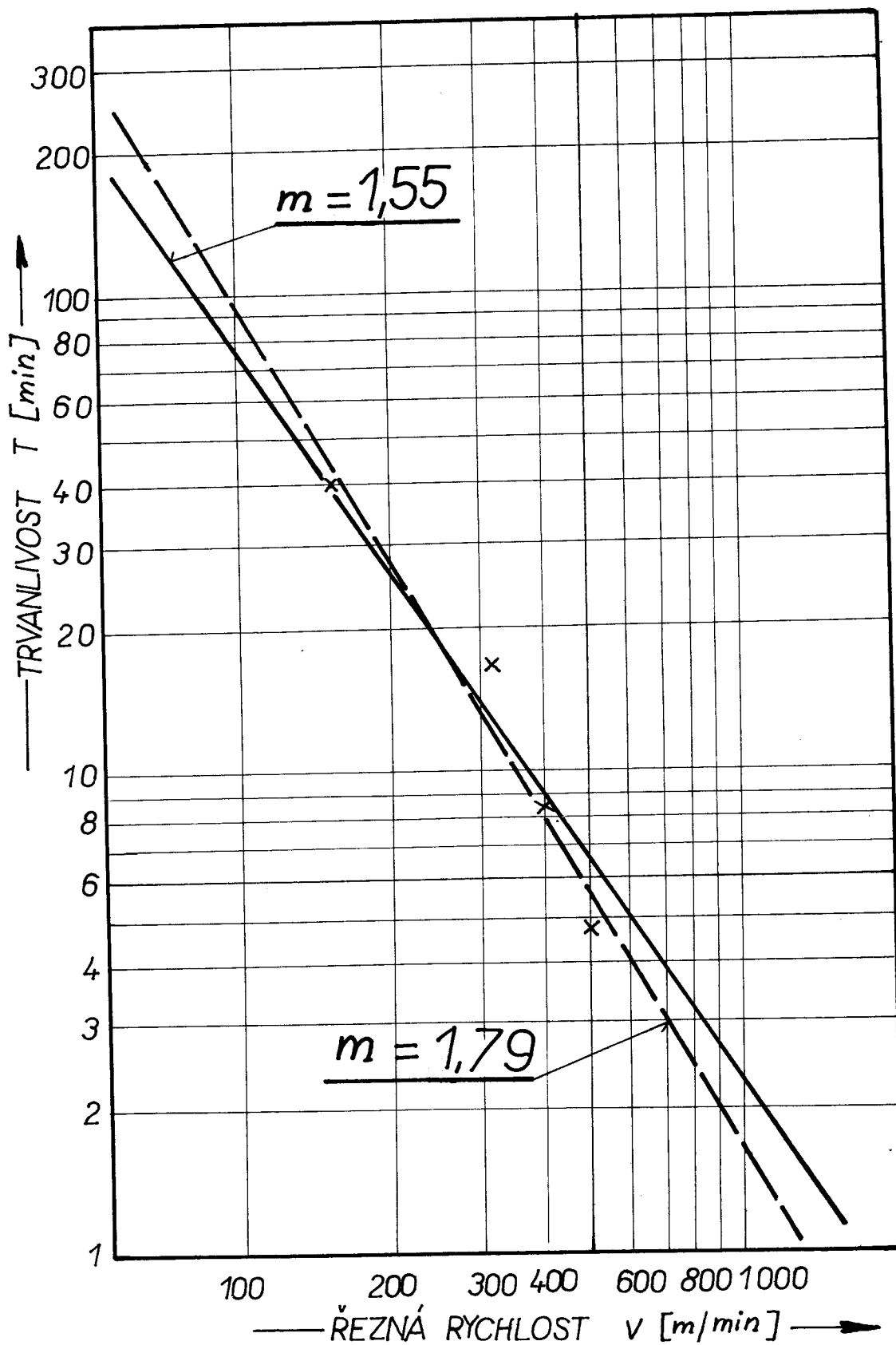
obr. 27. Destička B



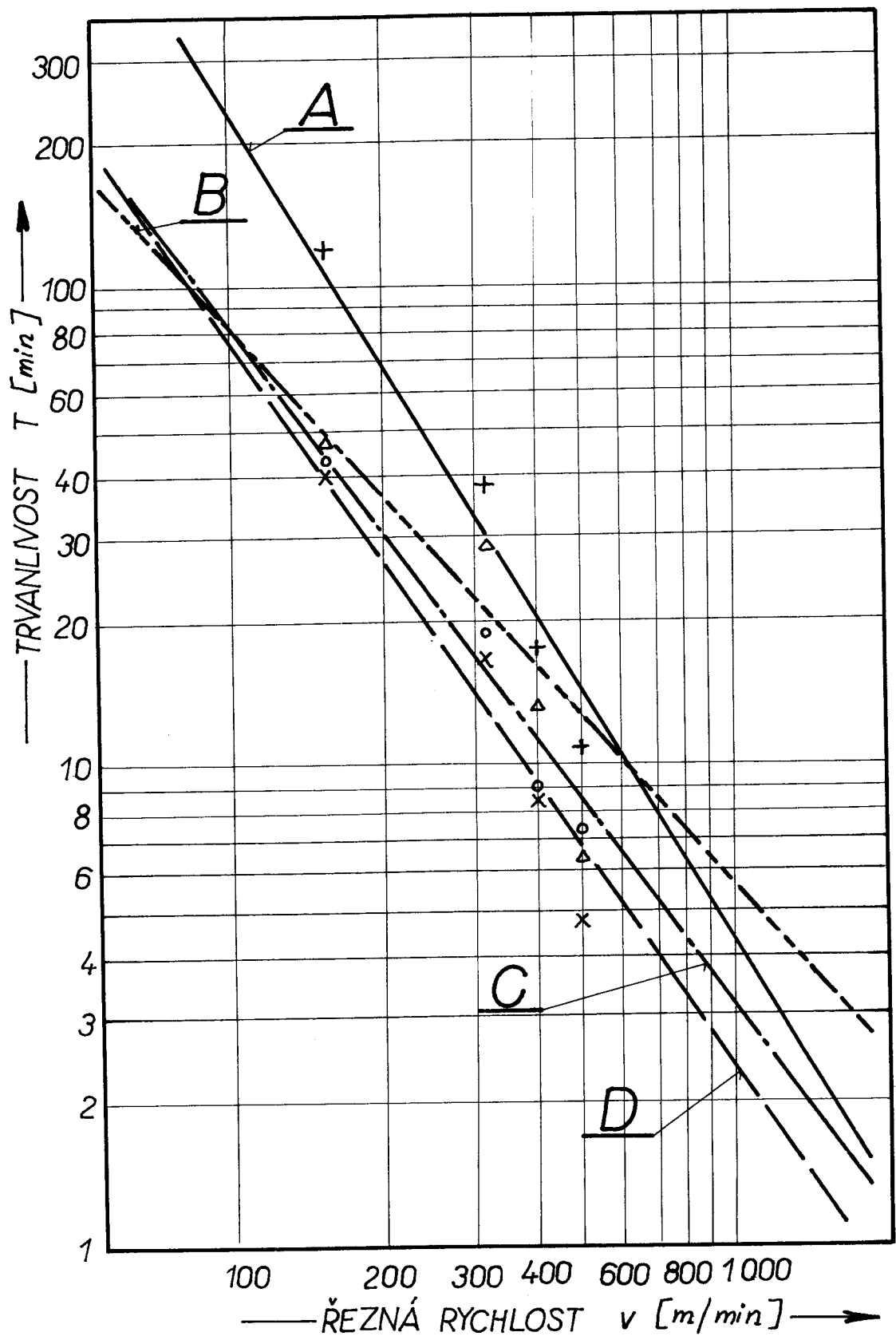
obr.28. Destička B



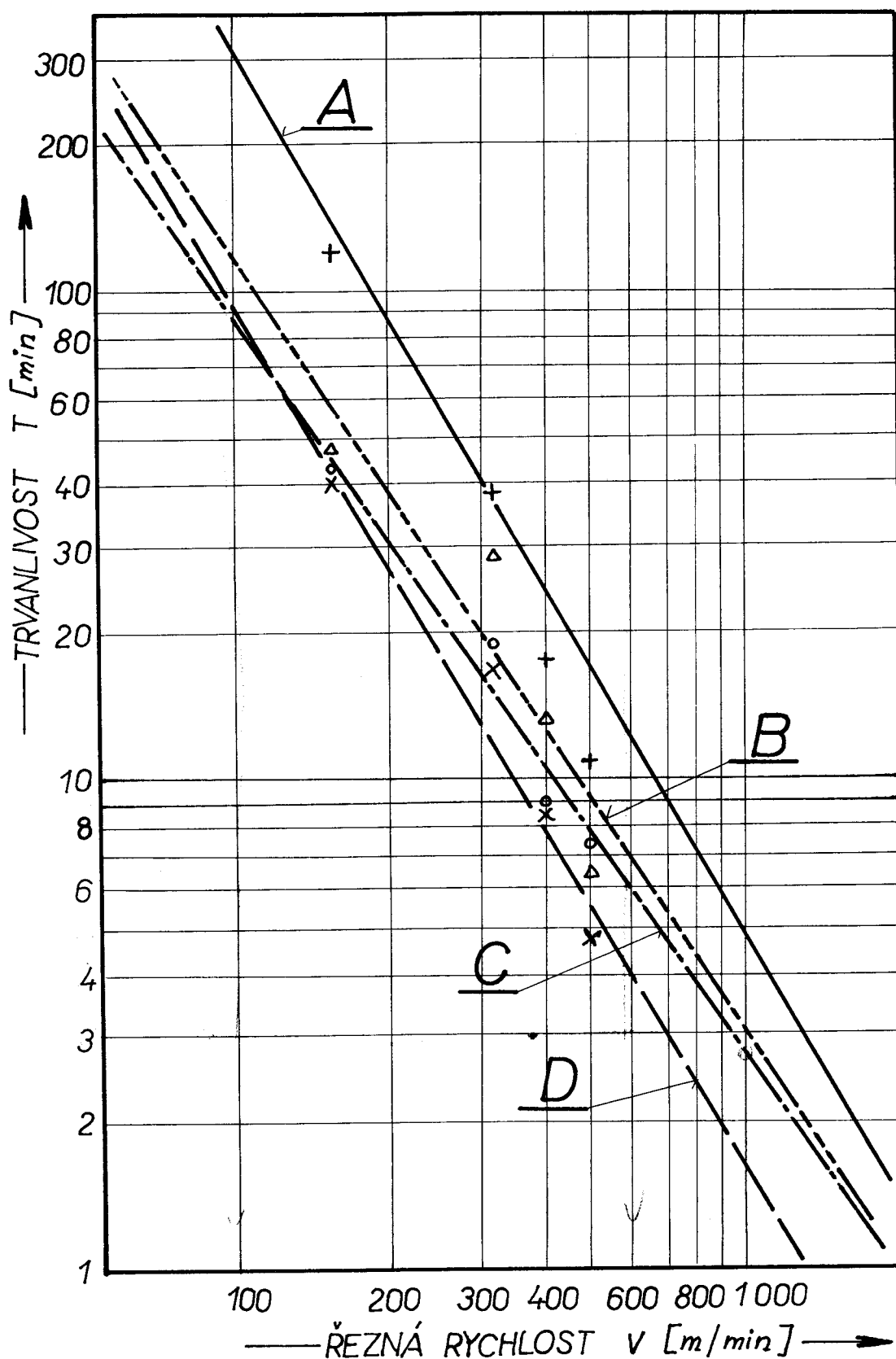
obr. 29. Destička C



obr. 30. Destička D



obr.31. Přímé vyrovnání regresní závislosti.



obr. 32. Vyrovnání r.z. ve dvojité log. síti.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 54

6. ZHODNOCENÍ ŘEZIVOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ.

6.1. Zhodnocení zkoušek.

Zkoušky řezivosti byly prováděny podélným soustružením litinových válců. Každý keramický materiál byl zkoušen při čtyřech řezných rychlostech do kriteriia opotřebení hřbetu $a_h = 0,3$ mm. Bylo takto získáno dostatečné množství podkladů, aby mohly být učiněny tyto závěry:

- 1/ Z charakteristických křivek závislosti " $a_h - T$ " a závislosti " $\log T - \log v$ ", dále vypočtených exponentů m plyne, že destička A vykazovala nejvyšší řezivost v oblastech zkoušených řezných rychlostí.
- 2/ Rozborem diagramu na obr. 31. plyne pořadí řezivosti jednotlivých keramických materiálů, přičemž vidíme, že v oblastí řezných rychlostí od 650 m / min se destička B jeví lepší než destička A.
- 3/ Během práce se u destičky A projevovalo rychlejší opotřebení hřbetu v oblasti N / obr. 21./, zatím co v oblastech C a H postupovalo opotřebení velmi pomalu zvláště při řezných rychlostech v_3 a v_4 . Prudké opotřebení v oblasti N je zřejmě způsobeno chemickým otěrem, kde se tříska odděluje od povrchu nástroje za přístupu vzduchu./viz /5/./
- 4/ U destičky C a D se projevovalo nerovnoměrné opotřebení pravděpodobně vlivem toho, že destičky nemají zápornou fazetku a břit nesnáší dobře poměry vznikající obráběním nehomogenní struktury. U destičky D se toto neprojevovalo v takové míře jako u destičky
- 5/ Exponenty m jsou v rozsahu uváděném / 1 / pro keramické řezné materiály, pouze u destičky B je m nižší o 0,04 oproti hodnotám uváděným v / 1 /.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 55

6.2. Ekonomické zhodnocení.

6.2.1. Hospodárnost obrábění.

Při vytváření řezného procesu zavádíme pojem " optimální řezné podmínky ". Jsou to takové řezné podmínky, při nichž na daném obráběcím stroji a při daném materiálu obrobku dosáhneme požadované kvality obrobku s minimálními náklady.

Hospodárná řezná rychlost vystupuje do popředí při sériové výrobě, kde poměr mezi hlavním časem a časem výměny nástroje má velký vliv na výrobní náklady a tím i na konečnou cenu výrobku.

U nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami je hospodárná řezná rychlost mnohem vyšší než u nástrojů, které je nutno ostřit, poněvadž čas výměny řezných destiček je velice krátký, vztáhneme - li ho k času hlavnímu a náklady na řeznou hranu jsou nízké.

6.2.2. Vliv keramických nástrojů na produktivitu.

Zavedení nožů s keramickými destičkami do výroby přinese celou řadu výhod. Jednak je to úspora deficitních kovů, dále pak výrazné zkrácení hlavního řezného času a tím i uspoření vlastních nákladů.

Socialistické chápání hospodárnosti se musí také projevit při volbě řezných podmínek pro keramické nástroje v tom smyslu, aby jejich trvanlivost byla nižší než trvanlivost kovových řezných materiálů. Tato nižší trvanlivost sice zvýší podíl ztrátových časů spojených s výměnou destiček, ale jen zdánlivě, neboť čas výměny je velice krátký. Přesto tento fakt vyvolává u pracovníků dojem, že takovéto používání keramických destiček je nevhodné a používají řezné rychlosti, které neodpovídají optimálním řezným podmínkám.

Neuvažuje se však ta skutečnost, že keramický nástroj nemůže pracovat za stejných podmínek / řezné podmínky, náklady, výkon / jako např. SK, ale že zavedení

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 56

tohoto řezného materiálu je podmíněno především snížením nákladovosti a zvýšením produktivity práce.

6. 2. 3. Ekonomická výhodnost použitých materiálů.

Při porovnávání ekonomické výhodnosti použitých materiálů bylo za kritérium bráno opotřebení destiček na hřbetě a na základě toho byla určena trvanlivost řezné hrany / respektive celé destičky / jednotlivých destiček. Trvanlivosti ostří bylo použito pro stanovení nákladů na práci s jednotlivými destičkami.

Při výpočtu nebyl brán zřetel na náklady nabíhající při výměně destičky vzhledem k tomu, že čas výměny u tří zkoušených rychlostí je menší než 5 % celkové trvanlivosti jedné hrany.

Jelikož nebyly obráběny skutečné výrobky nelze stanovit optimální řezné podmínky, proto byly destičky porovnávány pouze z hlediska trvanlivosti a ceny destičky.

Pro každou destičku a řeznou rychlost, která byla zkoušena byl proveden tento výpočet :

1/ Náklady na jednu hranu,

$$W_T = \frac{\text{cena destičky}}{\text{počet řezných hran}} \quad [\text{Kčs / hranu}]$$

2/ Trvanlivost destičky,

$$T_c = n \cdot T \quad [\text{min}]$$

n - počet řezných hran

T - trvanlivost 1 hrany

3/ Náklady na 100 min práce,

$$K_m = \frac{W_T}{T} \cdot 100 \quad [\text{Kčs / 100 min}]$$

Výsledky jsou uvedeny v tabulkách V - VIII.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 57

Tabulka - V

DESTIČKA		A		$\bar{a} = 50,80 \text{ Kčs}$	
v m / min	T _c min	K _m Kčs/100 min	W _T Kčs/hranu		
500	88	57,5	6,35		
400	140	36,3			
315	308	16,5			
157,5	960	5,3			
				$\bar{a} = 38,00 \text{ Kčs}$	
v m/ min	T _c min	K _m Kčs/100 min	W _T Kčs/hranu		
500	88	43	4,75		
400	140	27			
315	308	12,3			
157,5	960	3,96			

Tabulka - VI

DESTIČKA B		$\bar{a} = 36,80 \text{ K}\check{s}$	
$v \text{ m / min}$	$T_c \text{ min}$	$K_m \text{ K}\check{s}/\frac{100}{\text{min}}$	$W_T \text{ K}\check{s}/\text{hranu}$
500	64	57,5	4,6
400	108	34	
315	236	15,5	
157,5	368	10	

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 58

Tabulka - VII

DETIČKA C			$\bar{a} = 17,00 \text{ K}\check{s}$
v m / min	T _c min	K _m K $\check{s}$ /100 min	W _T K $\check{s}$ /hranu
500	60	25,5	2,12
400	72	23,6	
315	152	11	
157,5	340	5	

Tabulka - VIII

DETIČKA D			$\bar{a} = 40,00 \text{ K}\check{s}$
v m / min	T _c min	K _m K $\check{s}$ /100 min	W _T K $\check{s}$ /hranu
500	38,4	134,13	5,0
400	68	58,82	
315	132	33,33	
157,5	320	12,50	

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 59

Pro destičku SPK - SN 56 byl proveden dvojitý výpočet, neboť výrobce při odběru materiálu do 1 000 ks účtuje $\bar{a} = 50,80$ Kčs a při odběru nad 1 000 ks účtuje $\bar{a} = 38,00$ Kčs.

Pro československou destičku vyráběnou laboratorně ve VÚEK v Hradci Královém je stanovena pouze předběžná cena v rozsahu 30 - 45 Kčs, byla proto pro výpočet vzata cena 40 Kčs.

Z rozboru jednotlivých vypočtených hodnot plyne, že destička C se jeví jako nejvýhodnější dle kritérií braných v úvahu.

Jako příklad je uveden výpočet optimální trvanlivosti pro keramickou destičku SPK - SN 56, při ceně destičky v množství nad 1 000 ks.

Optimální trvanlivost je dána vztahem :

$$T_o = \frac{1}{m - 1} \cdot \left[t_w + \frac{W_T}{K_M} \right]$$

m - plyne ze závislosti $\log T - \log v$

t_w - čas na výměnu nástroje

W_T - Náklady na 1 hranu

K_M - vlastní náklady

min
Kčs / hranu

Hodnoty byly převzaty z / 6 / a z provedeného měření.

$$\begin{aligned} T_o &= \frac{1}{1,87 - 1} \cdot \left[0,33 + \frac{4,75}{1,05} \right] = \\ &= 0,87 \cdot \left[0,33 + 4,52 \right] = 0,87 \cdot 4,85 = \\ &= \underline{4,21 \text{ min}} \end{aligned}$$

Této trvanlivosti odpovídá řezná rychlost z obr. 31. , $v = 1\,040 \text{ m / min}$.

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 60

7. ZÁVĚR.

Zkoušky řezivosti byly provedeny pro čtyři řezné keramické materiály různých výrobců. Nejlepší řezivost prokázala destička A, dále pak destička B, C, D.

Porovnání řezivosti jednotlivých destiček bylo provedeno v diagramu na obr. 31., kde jsou zakreslené křivky výsledkem metody přímého vyrovnání regresní závislosti, která je přesnější než metoda vyrovnání regresní závislosti ve dvojité logaritmické síti, neboť hodnoty rozptýlů kolem vyrovnaných hodnot jednotlivých křivek jsou vždy menší, což je zřejmé z výsledků ze samočinného počítače, které jsou uvedeny v příloze.

Zjištěné exponenty m se pohybují v rozsahu uváděném v / 1 / pro keramické materiály což potvrzuje, že zkoušené materiály vyhovují v tomto směru citlivosti vůči řezné rychlosti jaká je pro keramické řezné materiály požadována.

Ukázalo se také, že destičky opatřené zápornou fazetkou snášely lépe poměry při obrábění litiny než destičky bez fazetky. Vyplývá z toho, že pro obrábění litiny / tj. materiálu s nehomogenní strukturou / je nutno používat destičky opatřené zápornou fazetkou, která zpevňuje ostří.

Z ekonomického hlediska dle kritérií branych v úvahu se jako nejvýhodnější jeví destička C, ovšem bylo by nutné udělat podrobný rozbor např. rozměrové stálosti destičky, poněvadž destičky nedržící radiální rozměr což má za následek zvětšení rozměru obrobku se musí s ohledem na přesnost měnit dříve než při kritériu $a_n = 0,3 \text{ mm}$ a tím se prakticky snižuje trvanlivost a podstatně se mění ekonomické poměry.

Musíme si dále uvědomit, že keramické materiály nemohou nahradit ostatní nástrojové materiály neboť je nemůžeme používat na libovolné práce, zejména ne na obrábění spojené s přerušovaným řezem, nebo tam kde dochází k nerovnoměrnému přídavku na obrábění

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 61

během pracovní činnosti nástroje či náchylnosti ke chvění.

Keramické destičky vyžadují dostatečný výkon pohonu obráběcího stroje, ustálené podmínky řezného procesu, aby nedocházelo ke kmitání soustavy stroj - nástroj - obrobek a teprve splněním těchto podmínek může být obrábění keramickými řeznými nástroji úspěšné.

Závěrem děkuji za cennou pomoc s. prof.ing. F. Křístkovi a s. ing. V. Gabrielovi - odbornému asistentovi na VŠST v Liberci.

V Liberci 3. 7. 1973

novák jirí

VŠST Liberec	DIPLOMOVÁ PRÁCE	Novák Jiří	
Fakulta strojní		DP ST 981 / 73	List 62

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.

- / 1 / Přikryl - Musílková: Teorie obrábění, SNTL Praha 1971
- / 2 / Buďa J.: Obrábanie keramickými dosťčkami, SVTL Bratislava 1959
- / 3 / Vulf A. M. :Rezanije metallov mineralokera - mičeskimi rezcami, Mašgiz Leningrad 1958
- / 4 / Hlavatý Jiří: Porovnání efektivnosti použití keramických a SK břitových destiček při obrábění litiny, DP ST - 924 / 72 VŠST Liberec 1972
- / 5 / Ready or no ... here come the ceramics. Automat. Mach.1971,32, No 12,13 - 14.
Převzato z : Ekspres - informacija : Režuščije instrumenty, No 18, Moskva 1972
- / 6 / Schneidkeramik SPK, zvláštní vydání časopisu "Werkzeug - Maschine - International, Vogel - Verlag, Jahrgang 1972,Heft 4/August 1972
- / 7 / Working Group ISO / TC 29 / WG 22 : Tool Life Testing With Single Point Turning Tools , ISO / TC 29 / WG 22 / Secretariat 37 / 91, March 1972