

Vysoká škola: **strojní a textilní**

Fakulta: **strojní**

Katedra: **obrábění a montáže**

Školní rok: **1984/85**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU) č. 140

pro **Josefa Adama**

obor **20-07-8 strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Návrh úpravy nástroje pro obrábění ILK.**

Zásady pro vypracování:

1. Význam zadání
2. Výběr a specifikace vlivů působících na řezný proces
3. Návrh úpravy - zdůvodnění
4. Experimentální zkoušky - vyhodnocení
5. Zhodnocení a závěr

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

V 217 / 85 S

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah průvodní zprávy: **asi 45 stran**

Seznam odborné literatury: **Liemert, G. a kol. : Obrábění, SNTL Praha 1974**
Přikryl, Z. a kol. : Teorie obrábění, SNTL Praha 1982
DP-ST 1264/77, VŠST Liberec
DP-ST 1433/79, VŠST Liberec

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Frinta**

konzultant : **Emanuel Deležal, VÚBK Hradec Králové**

Datum zadání diplomové práce: **15. 10. 1984**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. 5. 1985**



Gazda
Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.
Vedoucí katedry

Stříž
Doc. RNDr. Bohuslav Stříž, CSc.
Děkan

V **Liberci** dne **30. 9.** 19 **84**

Vysoká škola strojní a textilní Liberec
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor 23-07-8 - strojírenská technologie
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž

NÁVRH ÚPRAVY NÁSTROJE PRO OBRÁBĚNÍ ILK

KOM - OM - 290

Josef A d a m

Vedoucí práce: Ing. Jan Frinta, VŠST Liberec
Konzultant: Emanuel Doležal, VÚEK Hradec Králové

Počet stran - 72
Počet tabulek - 6
Počet obrázků - 75
Počet výkresů -
Počet modelů
nebo jiných příloh -

V Liberci 23.5.1985

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 23.5.1985


vlastnoruční podpis

O B S A H

	strana
1. Politicko - hospodářský význam zadání	5
2. Požadavek na technologii výroby izolátorů z ILK	7
2.1. Technologie výroby izolátorů z ILK	7
2.2. Surovinové složení, mechanické, fyzikální vlastnosti hmoty a glazury	9
3. Výběr a specifikace vlivů působících na řezný proces	11
3.1. Vliv řezných podmínek na stabilitu řezného procesu	11
3.2. Vliv řezného prostředí a řezných podmínek v, s, k na složky řezné síly	13
3.2.1. Řezné síly při obrábění ILK	14
3.3. Vliv řezných a pracovních podmínek na drsnost obrobeného povrchu	15
4. Návrh úpravy řezného nástroje pro obrábění ILK	19
4.1. Měření složek řezné síly působících na nástroj obrábění ILK	25
4.1.1. Obráběcí stroj	25
4.1.2. Řezný nástroj	27
4.1.3. Řezný materiál	31
4.1.4. Zkušební materiál	32
4.1.5. Měřicí přístroje a zařízení	32
4.2. Postup měření	34
4.2.1. Cejchování	34
4.2.2. Vlastní měření	35
4.2.3. Přepočet naměřených sil na skutečné síly	37
4.2.4. Tabulky naměřených hodnot	38

4.3.	Měření a vyhodnocování měřeného povrchu	42
4.3.1.	Obráběcí stroj, řezné nástroje, řezný materiál a obráběný materiál použitý k měření	43
4.3.2.	Postup měření	43
4.3.3.	Vyhodnocení povrchu podle stejných řezných podmínek	65
5.	Závěr	70
6.	Seznam použité literatury	72

Seznam použitých zkratek a symbolů

a	tloušťka třísky
b	šířka třísky
v	řezná rychlost
S	posuv
F_f	posuvová složka řezné síly
F_p	přísmuvová složka řezné síly
F_V	hlavní složka řezné síly
α_0	nástrojový úhel hřbetu
δ_0	nástrojový úhel čela
δ_r	úhel hlavního nastavení ostří
λ_s	úhel sklonu ostří
δ_c	úhel řezu
VÚEK	Výzkumný ústav elektrotechnické keramiky
v_n	vysoké napětí
v_{vn}	velmi vysoké napětí
R_a	střední aritmetická drsnost
R_{max}	maximální drsnost

1. Hospodářsko-politický význam zadání

Strojírenské výrobě byly ve Směrnici pro hospodářský a sociální rozvoj ČSSR v letech 1984 - 85 uloženy velké úkoly. I nadále zůstává základem dynamického rozvoje celé československé ekonomiky, neboť rozvoj strojírenství pozitivně ovlivnil nejen změnu ekonomiky a strukturní zaměstnanosti v národním hospodářství, ale i strukturu a život celé společnosti.

Veškerá strojírenská výroba u nás zaznamenala vzestup a to jak po stránce celkového objemu, tak i po stránce kvality a sortimentu. Vznikly nové, technicky náročné obory, výroba se specialisovala a koncentrovala do větších celků, vytvořila se silná strojírenská vědecko-výzkumná základna. Přesto stojí před strojírenskou výrobou velké úkoly. Ze závěrů XVI. sjezdu KSČ přesně plyne, jakými směry se má československá strojírenská výroba ubírat.

Produkce strojírenství se stala základnou pro rozvoj řady dalších průmyslových odvětví. Zvýšení této produkce nelze již zajišťovat cestou extenzivní, tj. zvyšováním výrobních ploch a počtu zaměstnanců. Proto je bezpodmínečně nutné ve všech odvětvích národního hospodářství znásobit úsilí o rozvoj produktivity práce, růst produkce a při tom zejména účinněji hospodařit se všemi druhy energie, materiálu a surovin, zaměřit výzkum na snížení energetické a materiálové náročnosti výroby.

XVI. sjezd KSČ dále uložil v politice rychlého rozvoje pokračovat. Zejména je třeba soustavně přizpůsobovat strukturu výroby nově vznikajícím potřebám doma a měnícím se podmínkám ve světě. Znamená to nejen pokračovat v kvalitativním rozvoji vybraných strojírenských oborů, ale zejména věnovat se technické úrovni, kvalitě, abychom

obstáli na náročných světových trzích, a abychom na vysoké technické úrovni uspokojovali naše potřeby doma.

Úkoly vědeckotechnického rozvoje v oboru obráběcích strojů v 7. pětiletce navazují na pozitivní výsledky dosažené v letech minulých. Jedním z hlavních směrů rozvoje jsou číslicově řízené obráběcí stroje, které velmi přispívají ke zvyšování automatizace a technologického procesu v oblasti malosériové a středněsériové výroby.

Dobrých výsledků bylo dosaženo v obrábění dříve méně tradičních surovin - sklo, keramika, porcelán.

Na rozvíjení efektivnosti zvyšováním technické úrovně a kvality výrobků z izostaticky lisované keramiky se podílejí i pracovníci v Závodech silnoproudé elektrotechniky v závodě Čab koncernového podniku Elktro porcelán Louny. Společně s Výzkumným ústavem elektrotechnické keramiky v Hradci Králové.

V minulých letech byla zavedena nová technologie výroby podpěrných plnojádrových izolátorů pro velmi vysoké napětí. Zavedení nové technologie klade požadavky v oblasti výzkumu izostaticky lisované keramiky. Jde především o volbu výkonných strojů, vhodných řezných podmínek, konstrukčního provedení řezného nástroje s ohledem na geometrii břitu, úpravu nástroje atd.

2. Požadavky na technologii výroby izolátorů z ILK

V rámci třístrané dohody mezi ČSSR, NDR a SSSR bylo vyvinuto a je vyráběno obráběcí zařízení určené pro výrobu plnojádrových podpěrných izolátorů pro venkovní použití. Jako polotovar pro obrábění jsou použity suché výlisky, připravené izostatickým lisováním. Tento úkol je zajišťován v ČSSR.

Na izolátor, výrobek, který slouží k izolaci elektrických vodičů, jsou kladeny především požadavky vysokého povrchového izolačního odporu což je poměr napětí mezi dvěma elektrodami, přiloženými k povrchu tělesa a proudu protékajícího mezi nimi po povrchu tělesa. Dále je požadována vysoká izolační pevnost, která je definována na velikosti napětí, nutného k proražení 1 mm silné izolační vrstvy, a co možná nejmenší dielektrická ztráta.

Těmto požadavkům v souhrnu nejlépe vyhovují keramické materiály, dříve především porcelán, nyní jsou to převážně hmoty korundového typu, které jsou po obrobení opatřeny glazurou proti nasávání vody.

2.1. Technologie výroby izolátoru z ILK

Původní klasická technologie vysušování plastického tělesa porcelánové směsi po jeho tažení vakuem na pásmovém lise byla základem pro vytvoření nové progresivnější technologie založena na izostatickém lisování.

Porcelánová hmota korundového typu, stejně jako glazury, se připravuje běžným klasickým způsobem, navážením a mletím v bubnových mlýnech za mokra. Tím vznikne tzv. břečka, která se promíchá a v sušící a rozprašovací komoře se zpracuje na granulát. Tato granulovaná porcelánová hmota se plní do gumových vaků při současné vibraci. Forma se uzavře a po jejím očištění od prachu na ni působí izostatický tlak 125 MPa. Lisování probíhá automaticky podle předem stanovené lisovací křivky po dobu 10 minut. Poté je výlisek výjmut z formy. Touto technologií je možno připravit výlisek o max. průměru 550mm a délce 2500mm pro soustružení ve vertikální poloze. Výlisek je z formy opatřen na obou čelech pomocnými kuželi pro uchycení na soustruhu SO - 2 NC, kde jsou orovnaný nepřesnosti z lisování. Tvar obrobku je hrubován a obráběn na čisto pracovním cyklem nahaným na magnetofonové pásce, to dovoluje, společně s konstrukcí stroje, měnit řezné podmínky během obrábění.

Zvláštností technologie izostatického lisování je glazování. Při klasickém glazování vzniká glazura do tělesa pomocí kapilár vzniklých při sušení, avšak při izostatickém lisování k tomuto jevu nedochází, protože výlisek vzniká lisováním suchého keramického prášku. Proto se používá glazura s přídavkem povrchově aktivních látek. Glazování se provádí stříkáním za současného otáčení izolátoru. Konce izolátoru tzv. patky pro upevnění v armaturách se zdrsní posypem drtě. Výpal probíhá v peci při různých atmosférách s automatickým řízením teploty podle programu. Poslední operací je řezání pomocí diamantových kotoučů a zatmělení do armatur.

2.2. Surovinové složení, mechanické, fyzikální vlastnosti hmoty a glazury.

Hmota pro izostatické lisování se skládá ze tří základních komponent - ostřívo, pojivo, taviva, které jsou procentuálně zastoupeny v rozmezí:

- 35-50 % - ostřívo /mineralizovaný Al_2O_3 /
- 20-40 % - pojivo /jíl/
- 20-40 % - taviva / zvělec, živec/

Kombinací jednotlivých komponentů jsou vytvořeny příslušné hmoty. Hlavní varianty tvoří hmoty M50 a M60.

Surovinové složení hmoty M50

Al_2O_3 slovenský minerál	25 %
Živec ŽP II	19 %
Kalcinovaný šamot SLJ	15 %
Zvělec Železnice	13 %
Kaolín Podbořany	11 %
Jíl JHD II	10 %
Kaolín Sedlec	7 %

Mechanické a fyzikální vlastnosti

Vlastnosti nevypálené hmoty M50

Zbytková vlhkost granulátu [%]	0,9 - 1,4
Sypná měrná hmotnost [kg.m]	990 - 1010
Třesená měrná hmotnost [kg.m]	1150 - 1165
Mechanická pevnost v ohybu po vylisování tlakem 125 MPa	1,55 - 2,1
výlisek válec Ø 100 mm MPa	
objemová hmotnost výlisku [kg.m^{-3}]	2,16

Vlastnosti vypáleného střeptu hmoty M50

měrná hmotnost [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	2350 - 2500
porezita [%]	10 - 15
mechanická pevnost v ohybu [MPa]	64,5
pevnost v tlaku [MPa]	653,6
modul pružnosti E [MPa]	7,54 . 10
měrná tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	2,710
elektrická průrazová pevnost [$\text{kV} \cdot \text{mm}^{-1}$]	28-32
dielektrická konstanta	8,2
měrný povrchový odpor	2,3 . 10

Složení glazury

Pro glazurování vn izolátorů se používá glazury

Čab. glazura obsahuje následující komponenty: %

Kaolin Sedlec	4,66
Písek T 25	32,47
Živec ŽP II	12,05
Dolomit	10,22
Zirkón silikát	0,30
Fe_2O_3	2,02
Cr_2O_3	2,24
Mn_4O_2	3,35
ZnO	1,79
Střepty glazované M50	30,9

3. Výběr a specifikace vlivů působících na řezný proces

Zavedení nové technologie výroby vn izolátorů tzv. suchou cestou si vyžádalo především výzkum v oblasti obrábění izostaticky lisované keramiky vedle vývoje a realizace obráběcích jednotek s číslicovým řízením.

Odlišnost obrábění keramických hmot proti obrábění jiných materiálů je značná. Obor obrábění izostaticky lisované keramiky pokročil značně ku předu a to jak u nás tak i v zahraničí. Přesto však je nutno dále zajišťovat jednotlivé faktory, které více či méně ovlivňují řezný proces a způsob obrábění.

3.1. Vliv řezných podmínek na stabilitu řezného procesu

Vliv řezných podmínek na stabilitu procesu řezání souvisí s jejich vlivem na změnu velikosti a směru řezné síly. Je možno jej hodnotit pouze kvalitativně, poněvadž se projevuje v různých souborech řezných podmínek různě. Intenzita jejich vlivu na stabilitu procesu řezání závisí na vlastnostech určujících členů kmitajícího systému stroj - nástroj - obrobek, a to na jejich tuhosti, tlumících konstantách, jejich vlastních frekvencích a na tvarech všech kmitů.

Proces řezání s rovnoběžným řezným pohybem lze považovat za dynamický proces v setrvačném stavu. Setrvačný relativně klidný stav se může porušit pouze působením určité, periodicky působící síly. Tato síla pak vyvolává kmitání pružného, tlumeného systému stroj - nástroj - obrobek. Kmitání systémů je běžným průvodním jevem při práci na obráběcích strojích a může být příčinou značného zhoršení ekonomických a kvalitativních parametrů procesu obrábění.

Při obrábění ILK mohou v důsledku kmitání vznikat dva druhy trhlinek na opracovaném povrchu. Podélné trhlinky rovnoběžné s osou rotace obrobku, příčné trhlinky vznikající kolmo k ose rotace obrobku. Oba tyto druhy vad se mohou odstranit buď:

- zvýšením tuhosti nástroje tj. použitím materiálu s vyšším modulem pružnosti v tahu, zvýšením průměru nástroje, zmenšením vyložení;
- optimalisací rezných podmínek tj. nepoužívat velmi malé nebo nulové posuvy, příliš nezvyšovat hloubky řezu h a otáček n ;
- zvýšit hodnoty pevnosti materiálu obrobku;

Už provedeným experimentálním měřením se ukázalo, že řezná rychlost má na intenzitu kmitání zanedbatelný vliv. Vliv velikosti posuvu s má jednoznačný průběh. Pro malé hodnoty, dokonce i pro nulovou hodnotu, kdy je materiál s nástrojem pouze ve styku, je hodnota amplitudy poměrně vysoká. Při zvětšování posuvu klesá amplituda velmi výrazně na optimální hodnotu. Při dalším zvětšování roste amplituda s menší intenzitou než při zvětšování hodnoty hloubky řezu h . Hloubka řezu má tedy na kmitání značně velký vliv.

Vliv úhlu hřbetu α_0 na stabilitu rezného procesu je méně výrazný. Záporné hodnoty úhlu jsou stabilisující, nulová hodnota je destabilisující, vyšší hodnoty téměř neovlivňují intenzitu kmitání. Úhel čela φ a samotný tvar čela velmi výrazně ovlivňuje kmitání. Zmenšování úhlu čela a zvláště negativní úhly výrazně zvyšují intenzitu kmitání. Zvětšení úhlu čela však vede k zeslabení rezného klínu a snižuje trvanlivost nástroje. Změna hlavního úhlu nastavení ϕ_r mění poměr mezi tloušťkou a šířkou třísky. Zmenšením hlavního úhlu nastavení, zvětšuje se šířka třísky a současně se zmenšuje její tloušťka, při čemž oba tyto faktory výrazně

ovlivňují intenzitu kmitání. Z těchto příčin se při malých hodnotách hlavního úhlu nastavení často objevuje velké kmitání.

3.2. Vliv řezného prostředí a řezných podmínek v , s , h na složky řezné síly.

Vliv posuvu a hloubky řezu:

hloubka h působí na zvětšení tangenciální složky řezné síly F_z více než posuv s - při zvětšování hloubky řezu se zvyšuje tangenciální složka F_z přímo úměrně, axiální složka F_x se zvětšuje rychleji a radiální složka F_y se zvětšuje pomaleji než hloubka řezu - všechny složky řezné síly při zvětšování posuvu rostou pomaleji než posuv.

Vliv řezné rychlosti:

řezná rychlost působí na velikost složek řezné síly poměrně nevýrazně. Její vliv se uplatňuje prostřednictvím vlivu na teplotu obráběného materiálu, v oblasti třísky, na velikost deformační rychlosti a tvoření nárustku.

Vliv řezného prostředí:

je dán vlivem na teplotu materiálu v oblasti tvoření a vlivem na součinitel tření.

Vliv geometrie nástroje:

vliv úhlu řezu ϕ resp. úhlu čela $\phi_0 = 90 - \gamma$ / , značně ovlivňuje velikost jednotlivých složek řezné síly -
- roste velikost řezného odporu se zvětšováním úhlu řezu. Se zvětšováním hlavního úhlu nastavení ϕ_r se složka řezné síly F_z neustále zmenšuje. Ve skutečnosti tomu tak není, pokles platí pouze u materiálu s drobivou třískou, u oceli je minimum velikosti složky F_z asi při úhlu nastavení $\phi_r = 50^\circ$. Tato nepravidelnost je způsobena vlivem toho, že při zvětšování úhlu musí pro zachování pevnosti špičky nože klesat velikost vedlejšího úhlu nastavení ϕ_r' . Vliv úhlu sklonu α a v ní řezné hrany značně ovlivňuje velikost jednotlivých složek řezné síly tím, že působí na směr

odchodu třísky a tím i na velikost deformační a třecí práce při obrábění. Nejvíce ovlivňuje velikost radiální složky řezné síly F_y , která se zvětšuje při změně úhlu sklonu hlavního ostří na kladnou hodnotu. Při zmenšování úhlu a hlavně při jeho negativních hodnotách se zvětšuje stlačování třísky a zvětšuje se tření,

3.2.1. Řezné síly při obrábění ILK

Volbu geometrie nástroje ovlivňuje obráběný materiál. Ovlivní geometrii nástroje zejména svou pevností, tvrdostí a jakostí povrchu. Izostaticky lisovaná keramika vykazuje obecně malou soudržnost, značnou křehkost, malou celkovou tvrdost / tvrdost jednotlivých částic je však velká / a malou pevnost v ohybu. Tyto zvláštnosti se nepříjemně odrážejí při soustružení této hmoty. Tříska odchází v podobě jemného zrna a proto je nutné intenzivní odsávání. Při navrhování geometrie nástroje je vhodné mít na zřeteli dostatečnou pevnost řezného klínu s maximální trvanlivostí.

Z experimentálního měření, která byla na keramice prováděna vyplynulo, že statická složka síly F_v pro úhel čela

$\varphi = 0^\circ$ klesá od hodnoty hlavního úhlu nastavení $\varphi_r = 30^\circ$ do $\varphi_r = 60^\circ$ pak zůstává konstantní až do hodnoty $\varphi_r = 85^\circ$.

Pro úhly čela $\varphi = 5^\circ$ a $\varphi = 15^\circ$ klesá F_v se zvětšujícím se . Pro úhel čela $\varphi = -15^\circ$ má F_v minimum při úhlu nastavení $\varphi_r = 45^\circ$. Průběhy statických složek F_p mají přibližně stejný charakter po celém rozmezí $\varphi = -15^\circ$: $\varphi = +15^\circ$. Protože změna úhlu nemá podstatný vliv na velikost síly F_p nebude tato závislost rozhodující při návrhu vhodné geometrie.

Statické složky síly F_f vzrůstají se zvětšujícím se úhlem pozvolně, pro úhel $\varphi = 0 : 15^\circ$. Pro $\varphi = -15^\circ$ je tato závislost strmá a maximální hodnoty F_f je dosaženo při $\varphi_r = 85^\circ$.

Největší vliv na změnu geometrie vykazuje složka F_v . Z měření, která byla na keramice provedena vyplývá, že hlavní složka řezné síly F_v má klesající průběh při úhlech okolo 5 - 15. Pokud to obráběný tvar dovolí měl by být dodržen úhel nastavení ostří 45 - 60. Úhel hřbetu, poměrně málo ovlivňuje složky řezné síly a byl u nástrojů pro obrábění izostaticky lisované keramiky volen $\alpha = 15^\circ$. Úhel sklonu hlavního ostří má vliv jen na směr odcházející třísky a tedy nepřímý vliv na umístění odsávacího zařízení.

3.3. Vliv řezných a pracovních podmínek na drsnost obrobeného povrchu.

Proces obrábění je třeba vidět komplexně z hlediska soustavy stroj - nástroj - obrobek. Tvoření třísky a vznik obrobené plochy je velmi složitým procesem, jehož průběh závisí na mnoha činitelích, jako jsou fyzikální vlastnosti materiálu, deformace materiálu během procesu řezání, abraze a řada dalších vlivů.

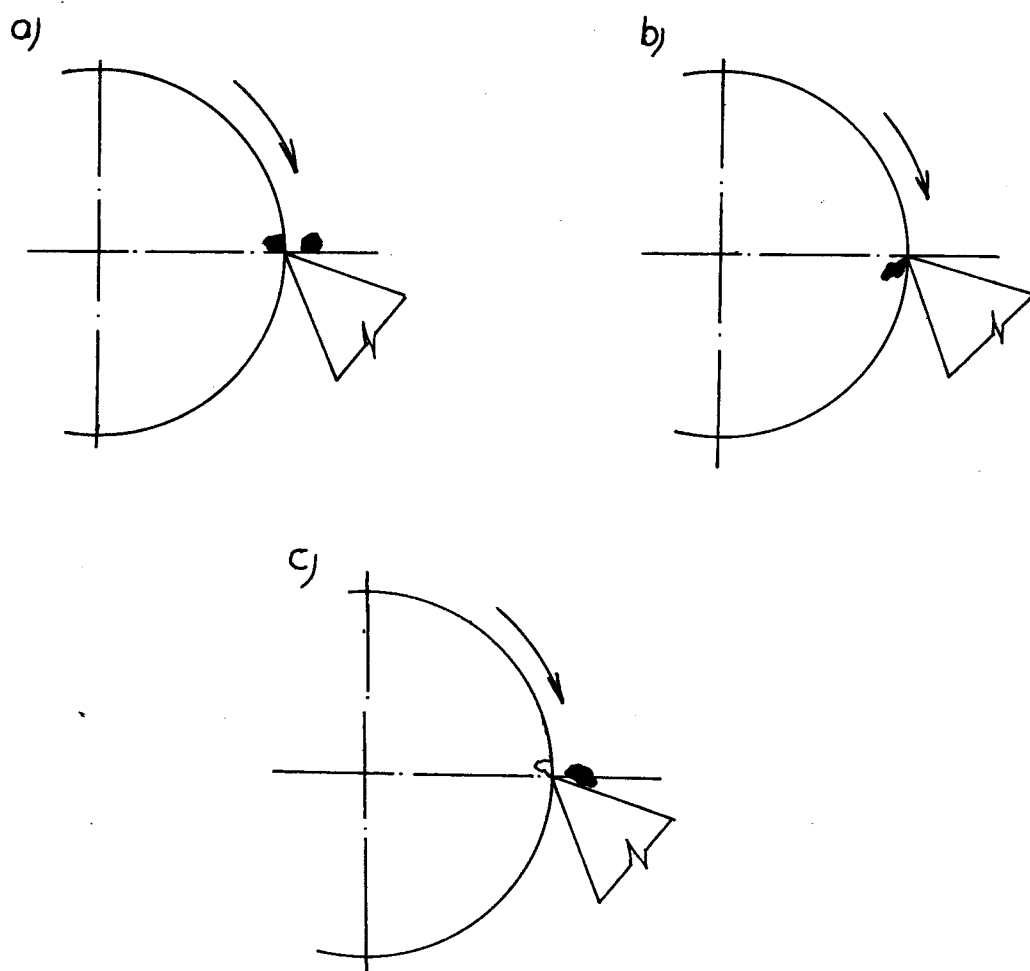
Je nutné si uvědomit, že při obrábění některých křehkých materiálů jako je na příklad litina a v našem případě izostaticky lisovaná hmota elektrotechnické keramiky nevzniká čisté řezání.

Již z dříve experimentálních měření provedených při obrábění ILK, dosažených poznatků v praxi i z teoretických úvah bylo zjištěno, že vlivem napjatosti se zrna - tvrdé mikročástice - vylamují a tím vznikají nerovnosti na povrchu obrobené plochy ve tvaru prohlubní.

U ILK se nejvíce uplatňuje opotřebení abrazivním otěrem. Při vzájemném mechanickém působení dotýkajících se ploch je proces tření a opotřebení podmíněn vzájemným vnikáním

výstupků obou materiálů. Rozhodující úlohu při abrazivním otěru má tvrdost mikročástic. Tvrdé částice obráběného materiálu vnikají do řezného materiálu a mechanicky narušují mikrotvrdosti povrchu funkčních ploch břitu. Avšak stejně tak mohou narušovat jakost povrchu obrobené plochy.

Je domněnka, že při obrábění vznikají tři způsoby mechanismu obrábění tvrdých částic izostaticky lisované hmoty elektrotechnické keramiky, jak je znázorněno na obr.1.



obr. 1.

- přeříznutí obr.1a - dojde k přeříznutí mikročástice
- vmáčknutí obr.1b - dojde k vmáčknutí mikročástice zpět do obrobene plochy, což může mít za následek narušení stavby okolních mikročástic, to může vést ke vzniku "boulí" na obrobene ploše.
- vylomení obr. 1c- nastává vylomení tvrdé mikročástice hmoty, čímž se na povrchu vytvářejí nepravidelné prohlubně.

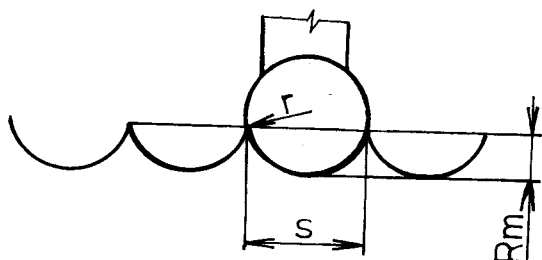
V případě přeříznutí a vylomení tvrdé mikročástice se neopotřebovávají jenom funkční plochy nástroje, ale dochází vlivem uvolněných částic i k zhoršení obrobene plochy a to v důsledku tzv. "mletí" částic mezi obrobenu plochou a hřbetní plochou nástroje.

Na kvalitu obrobene plochy mají vliv především řezné podmínky.

Řezná rychlost - s rostoucí řeznou rychlostí drsnost obrobene plochy klesá. Teoreticky se to může u izostaticky lisované keramiky projevit v návaznosti na výše uvedené možné mechanismy obrábění. Vyšší řezná rychlost dodá až už vylomeným nebo přeříznutým mikročásticím větší kinetickou energii, to může mít za důsledek, že mikročástice rychleji opouštějí místo řezu, což je do značné míry podporováno posuvem, velikostí odsávání.

Vliv posuvu - vliv posuvu na drsnost povrchu je zásadní a platí obecně, že s rostoucím posuvem drsnost obrobene plochy stoupá. Je to způsobeno tím, že se zvyšuje maximální výška nerovnosti. Maximální výška nerovností je to vzdálenost mezi dvěma čarami nerovností z nichž jedna prochází nejvyšším a druhá nejnižším bodem profilu v délce měřeného úseku.

Výpočet $R_{\max}$ pro radiusový nůž obr. 2

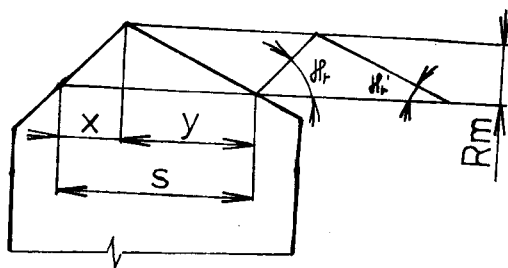


$$r^2 = r^2 - R_{\max}^2 + \left(\frac{s}{2}\right)^2$$

$$R_{\max} = \frac{R_{\max}^2}{2r} + \frac{s^2}{8r}$$

Vzhledem k tomu, že $R_{\max}$ je velmi malé číslo, lze výraz $R_{\max}^2 / 2r$ zanedbat.

Výpočet $R_{\max}$ pro obdelníkový nůž obr. 3



$$y = \frac{R_{\max}}{\tan \alpha'} \quad x = \frac{R_{\max}}{\tan \alpha}$$

$$s = x + y$$

$$R_{\max} = s \frac{\tan \alpha \cdot \tan \alpha'}{\tan \alpha + \tan \alpha'}$$

Z uvedených obrázků č. 2 a 3 vyplývá i vliv hlavního úhlu nastavení α . Čím menší je hlavní úhel nastavení, tím menší budou vznikat maximální výšky nerovnosti, avšak malý úhel α ovlivňuje do značné míry složky řezných sil.

Vliv nástrojového úhlu čela ϕ_0 a nástrojového úhlu hřbetu α_0 , hrají také velkou roli při obrábění izostaticky lisované keramiky. Oba úhly mají značný vliv na výše uvedené mechanismy tvorby " třísky " při obrábění ILK.

Jakost obrobené plochy také závisí na chemickém složení a fyzikálních vlastnostech materiálu, v našem případě na velikosti zrn a mechanických vlastnostech izostaticky lisované keramiky.

Kvalita obrobené plochy závisí dále na přesnosti výrobního zařízení, způsobu upevnění obrobku, způsobu obrábění, chlazení, tření hřbetu nože o obrobenou plochu a řadě dalších vlivů.

Mimo tyto faktory drsnost povrchu u izostaticky lisované keramiky je velmi ovlivněna následnými technologiemi jako je výpal a glazování.

4. Návrh úpravy řezného nástroje pro obrábění ILK.

Pro návrh úpravy nástroje na obrábění izostaticky lisované keramiky jsem vycházel z dosud ověřených poznatků experimentálního měření, poznatků z praxe a teoretických úvah. Výsledkem navržených úprav nebo nového řezného nástroje má být zkvalitnění konečného obrobeného povrchu. Tyto úpravy nesmí však být na úkor jiných faktorů ovlivňujících pozitivně nebo negativně proces obrábění. Jsou to např. řezný odpor, trvanlivost nástroje, efektivnost výroby apod.

Zaměřil jsem se hlavně na geometrii řezného nástroje a řezné prostředí. Pro výběr řezných podmínek bylo využito praktický poznatků, které jsou při výrobě vn a vvn izolátorů využívány v VÚEK Hradci Králové na říslicovém obráběcím centru SO - 2NC. Největší požadavky na obrobenou plochu jsou při dokončovacích operacích, proto byly řezné podmínky voleny takové, jaké se při těchto operacích používají. To znamená, že posuv byl volen v rozmezí $0 - 0,8 \frac{\text{mm}}{\text{ot}}$

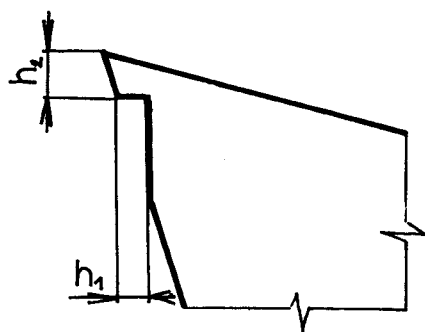
a nejčastěji používaná řezná rychlost $160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Z předešlých kapitol vyplývá, že výrazný vliv na složky řezných sil, stabilitu procesu obrábění a jakost povrchu má geometrie nástroje. Při volbě geometrie nástroje jsem vycházel z teoretických úvah vzniku tří možných mechanismů obrábění izostaticky lisované keramiky - vylomení, přeříznutí, vmáčknutí. Při zmenšení řezného klínu nástroje, což znamená značné zvětšení nástrojového úhlu čela γ_0 nebo nástrojového úhlu hřbetu α_0 , dochází ke snížení řezného odporu, lepšího odchodu mikročástic z místa řezu, zlepšení mechanismu tvorby "trískey". Zvýšila by se pravděpodobnost možnosti přeříznutí mikročástice hmoty a docházelo by tak ve většině případů k čistému řezu. Avšak při zvětšování úhlů

α_0 a γ_0 dochází ke značnému zmenšování řezného klínu, což do značné míry ovlivňuje jeho trvanlivost. Základním měřítkem pro volbu geometrie řezného nástroje byla dosud používána geometrie na nástroji číslicově řízeného obráběcího centra SC - CNC, kde:

- nástrojový úhel čela $\gamma_0 = 15^\circ$
- nástrojový úhel hřbetu $\alpha_0 = 15^\circ$
- úhel řezu $\delta_0 = 75^\circ$
- úhel sklonu ostří $\lambda_s = 0^\circ$

Proto bylo voleno zvětšení úhlu čela γ_0 a to na $\gamma_0 = 30^\circ - 40^\circ$ a ponechán úhel hřbetu α_0 na dosud používaných 15° . Avšak s úpravou proti omezení tření hřbetu obrobenou plochu a zamezení "mletí" uvolněných mikročástic mezi plochou hřbetu a obrobenou plochou. Tato úprava byla řešena pomocí drážky vybroušené do hřbetní plochy nástroje, jak je naznačeno na obr. 4. Rozměry drážky byly voleny tak, aby se znovu neprojevalo značné oslabení řezného klínu a neovlivnilo jeho trvanlivost.

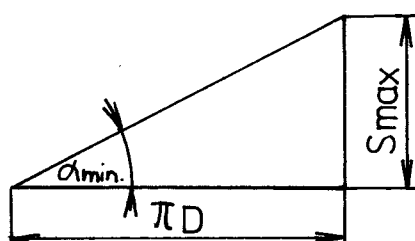


$$h_1 = 1 \text{ mm}$$

$$h_2 = 15 \text{ mm}$$

obr. 4 Úprava hřbetní plochy řezného nástroje.

Tato možnost úpravy hřbetní plochy vede k domněnce, že by se mohlo použít velké zvětšení úhlu čela, bez nebezpečí velkého zmenšení řezného klínu, tím, že se použije minimální úhel hřbetu, který se spočte z pravoúhlého trojúhelníka dle vzorců a obr. 5.

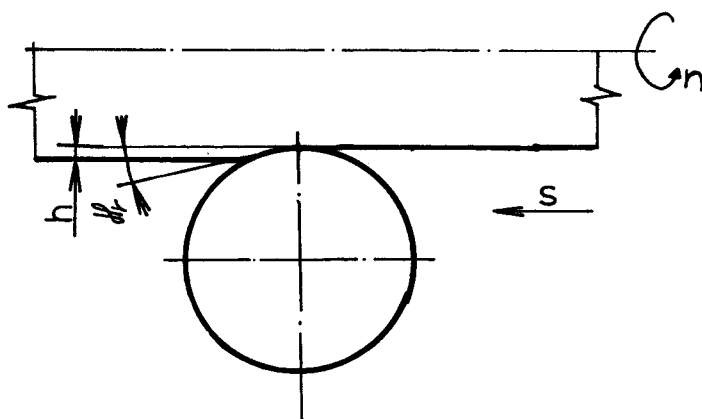


$$\text{tg} \alpha_{min.} = \frac{S_{max.}}{\pi D}$$

obr. 5 Výpočet minimálního úhlu hřbetu $\alpha_{..}$

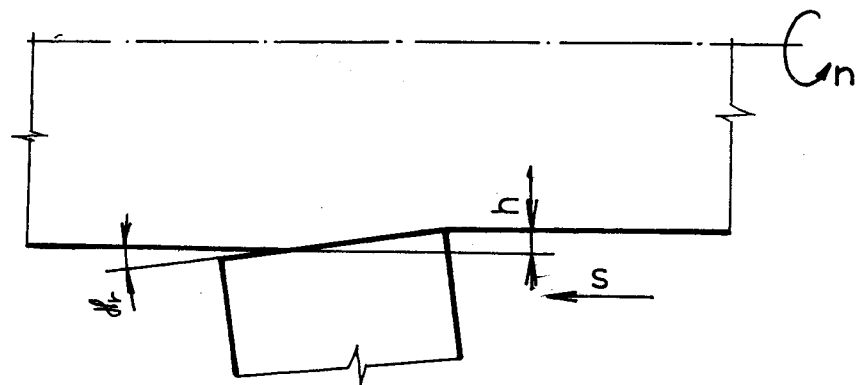
Při minimálním úhlu hřbetu vzniká velké tření mezi hřbetní plochou a obráběnou plochou, toto tření se zmenší vlivem drážky vybroušené na hřbetní ploše řezného nástroje.

Při obrábění na číslicově řízeném centru SO-2NC se používají kruhové destičky z mikrozrného korundu vyvinuté ve VÚEK Hradec Králové. Tento fakt do jisté míry ovlivnil volbu a přípravu vzorků pro experimentální měření. Nástrojové úhly se dají měnit dle potřeby a toho je využito v návrhu úprav řezného nástroje. U kruhové destičky se však mění hlavní úhel nastavení δ_r a to tak, že je v každém místě zabírajícího obvodu jiný. Uvažujeme-li úhel nastavení v co nejtěsnější blízkosti obrobené plochy, pak tento úhel vykazuje hodnoty od 0° do 3° , což je zřejmé z obr. 6.



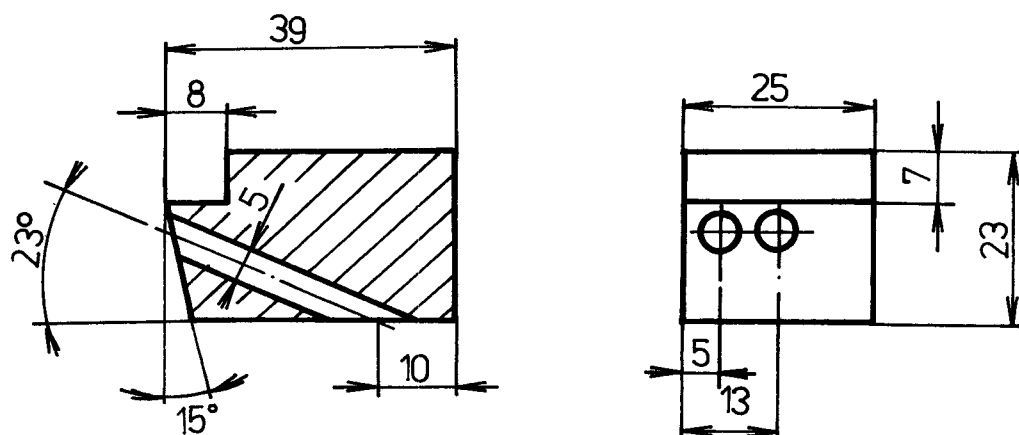
obr. 6. Znázornění úhlu δ_r u kruhové destičky.

Tento fakt byl na vzorcích připravených pro prováděný úkol simulován malým úhlem nastavení a to $\delta_r = 2^\circ$.



obr.7 Znáznornění úhlu ϕ_t u řezného nástroje pro měření.

Vliv řezného prostředí při obrábění izostaticky obráběné keramiky neobsahuje tolik vážných faktorů, jako při obrábění kovových materiálů. Je to např. chlazení, chladicí emulsí, které by při obrábění ILK nepřineslo očekávaný efekt z hlediska teplot a odvodu vzniklé " třísky" tedy uvolněných nebo odřezaných mikročástic. Velké množství odříznutých nebo uvolněných zrn vytváří keramický prach, který by se vlivem chladicí emulze měnil na " kaši", která by se dala těžko odvádět z místa řezu a měla by nepříznivý vliv na celý řezný proces. Odvod třísky nebo-li keramického prachu se zajišťuje odsáváním z místa řezu. Způsob odvodu mikročástic do značné míry ovlivňuje jakost povrchu a to z několika důvodů. Uvolněné částice abrazivním otěrem narušují funkční plochy řezného nástroje, pokud nejsou včas odvedeny z místa řezu, mohou vnikat mezi hřbet a obráběnou plochu, kde svojí přítomností narušují již obrobenou plochu, ale i hřbet nástroje. K částečnému odstranění tohoto nepříznivého úkazu dopomáhá již zmíněná drážka na hřbetní ploše.



Vniku uvolněných částic do zmíněného prostoru, by bylo možno zamezit zvýšeným odsáváním nebo ofukováním. Z těchto důvodů byl navržen nástroj podle výše uvedené skici, který by tuto funkci splňoval. Z podhřbetní plochy je do místa řezu vháněn vzduch. Při obrábění kovu vzniká na břitu nástroje nárůstek, který má na proces obrábění kladný i záporný vliv. Chrání ostří nástroje, ale i zhoršuje povrch obrobene plochy. Při obrábění ILK se také tvoří nárůstek, avšak na rozdíl od oceli hlavně na hřbetní ploše nástroje, což má za následek zhoršenou kvalitu povrchu. Tento nárůstek se tvoří usazováním uvolněných částic hmoty. Proto je snahou tento nárůstek odstranit, k částečnému odstranění nebo i k úplnému vymázení by měly vést výše uvedené úpravy řezného nástroje a to zejména ofukování hřbetní plochy.

Není možno předem říci, že všechna tato opatření povedou ke zdárnému cíli, což je zkvalitnění obráběné plochy, ale je možno očekávat, že se některá opatření osvědčí.

4.1. Měření složek řezné síly působících na nástroj při obrábění ILK

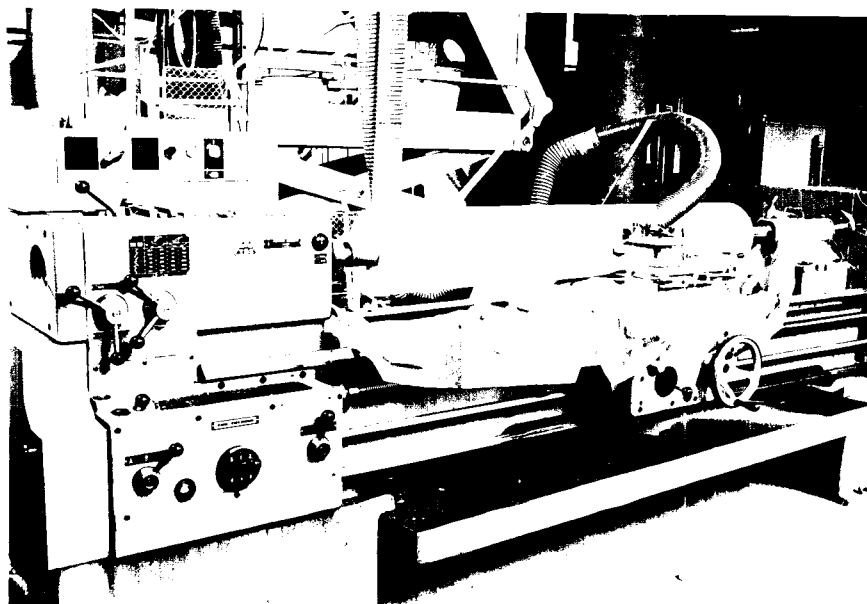
Měření řezných sil při obrábění má nejen praktický, ale i teoretický význam. Teoretické poznatky o řezných silách zpř. sňují teorie o řezném procesu. V praxi jsou zase poznatky o řezných silách důležité při konstruování nástrojů, při volbě řezných poměrů, při výpočtů a konstruování obráběcích strojů.

Měření sil při obrábění je zpravidla založeno na měření deformací, způsobených silami vznikajícími při obrábění. Je proto nutné vložit do systému stroj- nástroj - obrobek člen menší tuhosti - dynamometr - jehož deformace z hlediska měření je dostatečně veliká, při tom však nesmí zkreslovat obráběcí proces velkou chybou. Základním problémem při konstrukci dynamometru je proto volba správného kompromisu mezi tuhostí a citlivostí.

Pro přímé měření řezných sil se používají siloměry, zvané též dynamometry různé konstrukce a různých měřících principů. Siloměr může být konstruován tak, že se měří jen jedna nebo více složek řezné síly. Podle toho rozlišujeme jedno -, dvoj -, třísloužkové dynamometry.

4.1.1. Obráběcí stroj

Pro provedení experimentu byl použit univerzální soustruh SN 50 B vyrobený v n.p. TOS Trenčín. rozsah otáček a posuvu byl pro daný experimentální problém vyhovující. Obrobek hubel byl upnut ve vodorovné poloze mezi hroty.



obr.8 Univerzální hrotový soustruh.

Technické parametry soustruhu:

Oběžný průměr nad ložem:	500 mm
Oběžný průměr nad suportem:	270 mm
Vzdálenost hrotů:	2060 mm
Vrtání vřetena:	50,8 mm
Točná délka:	2000 mm
Kužel vřetena:	MORSE 6
Kužel v objímce koníku:	MORSE 5
Rozsah otáček vřetena / ot. min. ⁻¹ / -	12 normální řady 12 snížené řady
	22,4 31,5 45 63 90 130 250 355
	500 710 1000 1400 2000

Rozsah posuvů příčných i podélných / mm ct.⁻¹/

0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,16
0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,32
0,36	0,40	0,44	0,48	0,56	0,64
0,72	0,8	0,88	0,96	1,12	1,28
1,44	1,6	1,76	1,92	2,24	2,56
2,88	3,2	3,52	3,84	4,48	6,4

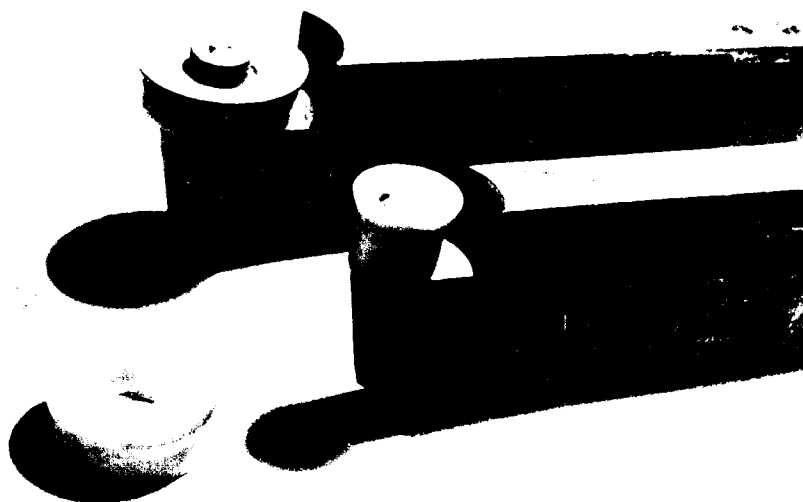
největší průřez nože 30x 30

příkon motoru 6,6 kVA

4.1.2. Řezný nástroj

Pro měření byly použity řezné destičky nožů, s kterými se současně pracuje na obráběcích strojích, a které umožní srovnání s nově navrženými řeznými destičkami podle kapitoly 4. Jako nástroj byl použit držák s mechanickým upínáním řezné destičky. Pro měření byly použity následující nože.

1. dva kruhové nože $\phi d = 20$ mm, výška 8 mm obr. 9.



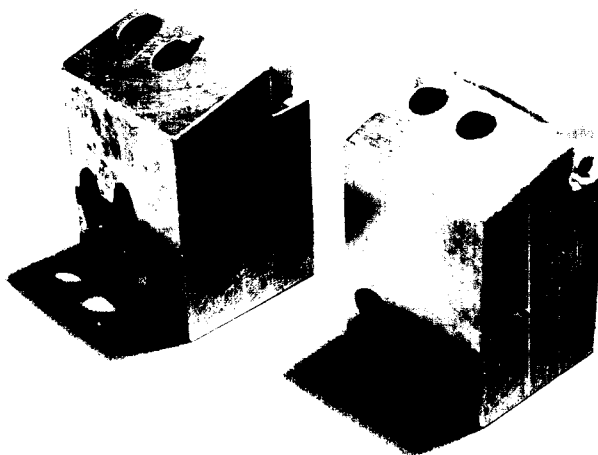
obr. 9.

Geometrie pro oba nástroje	- úhel hřbetu	$\alpha_0 = 15^\circ$
	- úhel čela	$\beta_0 = 15^\circ$
	- úhel řezu	$\phi_0 = 75^\circ$
	- úhel sklonu	
	ostří	$\lambda_s = 0^\circ$

Na jednom z nástrojů byla vybroušena drážka do hřbetní plochy podle obr.4.

2. Nůž s navrženými úpravami obr. 10.

Geometrie nástroje	- úhel hřbetu	$\alpha_0 = 15^\circ$
	- úhel čela	$\beta_0 = 15^\circ$
	- úhel řezu	$\phi_0 = 75^\circ$
	- úhel nastavení	$\phi_r = 2^\circ$
	- úhel sklonu	
	ostří	$\lambda_s = 0^\circ$

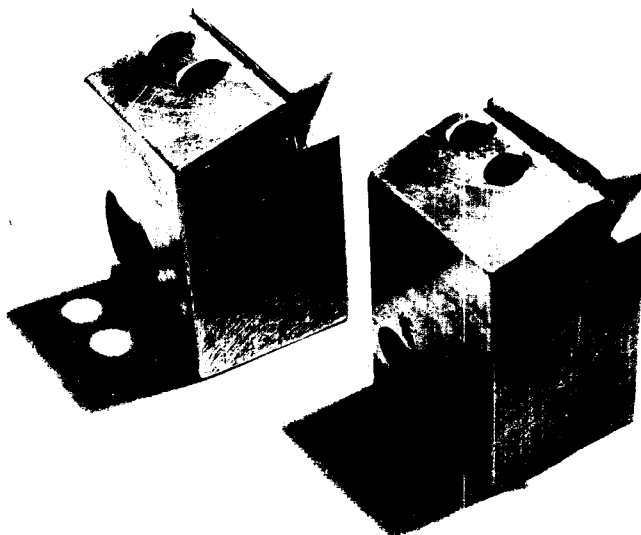


obr. 10

Na nástrojích byly provedeny úpravy podle kapitoly 4.

3. Nůž s navrženými úpravami obr. 11.

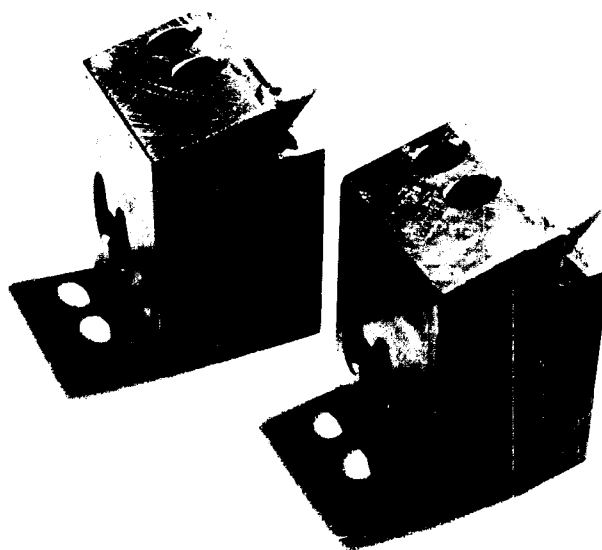
Geometrie nástroje	- úhel hřbetu	$\alpha_0 = 15^\circ$
	- úhel čela	$\beta_0 = 30^\circ$
	- úhel řezu	$\gamma_0 = 45^\circ$
	- úhel nastavení	$\mu_r = 2^\circ$
	- úhel sklonu ostří	$\lambda_s = 0^\circ$



obr. 11

4. Nůž s navrženými úpravami obr. č. 12.

Geometrie nástroje	- úhel hřbetu	$\alpha_0 = 15^\circ$
	- úhel čela	$\beta_0 = 40^\circ$
	- úhel řezu	$\gamma_0 = 35^\circ$
	- úhel nastavení	$\mu_r = 2^\circ$
	- úhel sklonu ostří	$\lambda_s = 0^\circ$



obr. 12

5. Nůž s navrženými úpravami.

Geometrie nástroje	- úhel hřbetu	$\alpha_s = 8^\circ$
	- úhel čela	$\beta_s = 30^\circ$
	- úhel řezu	$\delta_s = 60^\circ$
	- úhel nastavení	$\theta_s = 2^\circ$
	- úhel sklonu	
	ostří	$\lambda_s = 0^\circ$

6. Dále byly použity tři čtvercové destičky bez navržených úprav pro možnost srovnání naměřených výsledků.

Geometrie nástrojů	- úhel hřbetu	$\alpha_s = 15^\circ$
	- úhel čela	$\beta_s = +15^\circ, 0^\circ, -15^\circ$
	- úhel řezu	$\delta_s = 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ$
	- úhel sklonu	
	ostří	$\lambda_s = 0^\circ$
	- úhel nastavení	$\theta_s = 2^\circ$

4.1.3. Rezný materiál

Pro měření byl použit materiál - mikrozrnný korund, který má tyto vlastnosti:

měrná hmotnost	0,383 - 0,397 kg.m ⁻³
pevnost v ohybu	min. 4000 N.m ⁻²
tvrdost	21 . 10 ³ N.m ⁻²
přibližné složení	99,8 % Al ₂ O ₃
výpalná teplota	1480 C

Drsnost destiček po lapování

Ra = 0,26 um Rt = 1,6 um

Přiložený záznam je změřená drsnost destiček na registračním zařízení přístroje pro měření drsnosti HOMMELTESTER T3

cut off 0,25

o o o o o o o o o o o o o o o o

W W W W W W W W W W W W W W W W

o o o o o o o o o o o o o o o o

zvětšení horizontální 1 cm ~ 100 um
zvětšení vertikální 1 cm ~ 1 um

4.1.4. Zkušební materiál

Ke zkouškám byl dodán izostaticky lisovaný hubel z hmoty M50. Lisovací tlak 125 MPa.

Rozměry huble:

- průměr $\phi D = 260 \text{ mm}$
- délka $l = 1650 \text{ mm}$

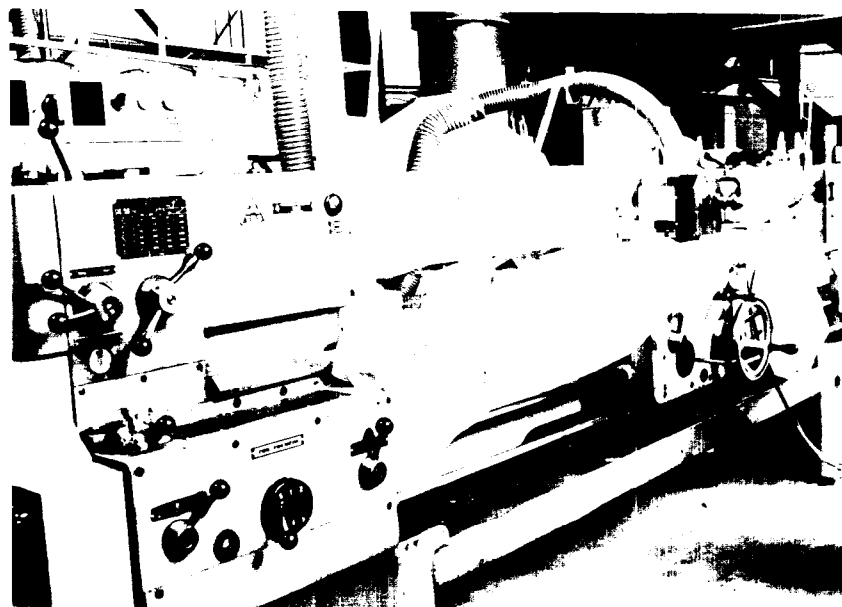
Chemické složení a vlastnosti v nevypáleném stavu jsou uvedeny v kap. 2.2.

4.1.5. Měřicí přístroje a zařízení

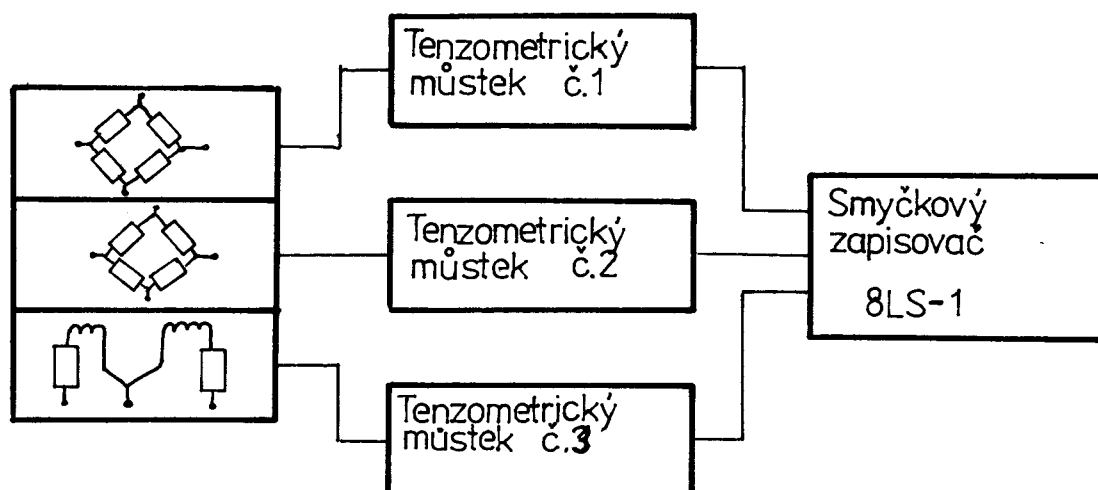
Pro měření byl použit třísložkový dynamometr s drát-kovými odporovými tensometry. Konstrukce KOM - VŠST Liberec pro jemné soustružení. Z předešlých měření víme, že při obrábění izostaticky lisované keramiky se vyskytují síly poměrně malé, daný rozsah by tedy nevyhovoval ani při velkém zesílení. Proto bylo nutné zmenšit měřicí rozsah a dynamometr rekonstruovat.

Dynamometr se skládá z vlastního tělesa velmi vysoké tuhosti, v němž je uložen držák nože a tento je vpředu podepírán měřicími články, zachycující reakce složek řezné síly F_v a F_f . Vzduch je uchycen držák křížovců pružinou zachycující reakci složky F_p . Celkový pohled na dynamometr je na obr. 13. Blokové schéma zapojení měřících přístrojů.

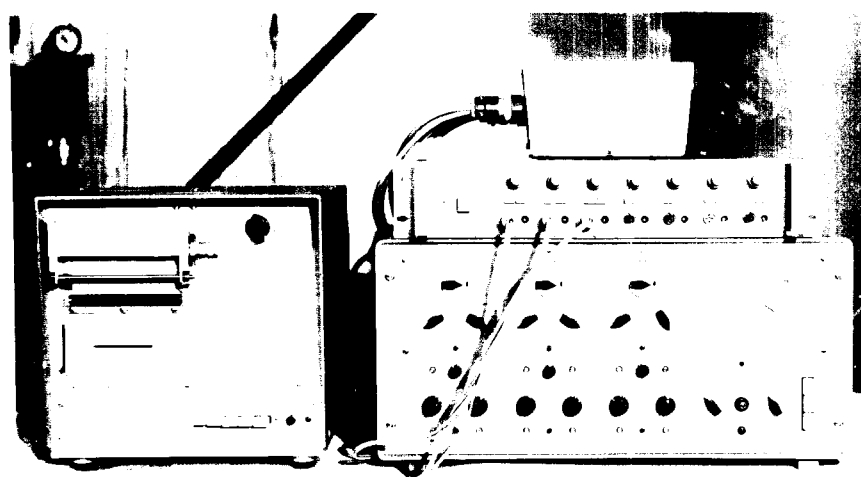
Blokové schéma zapojení celého měřicího systému je na obr. 14. Změny odporů tenzometrických snímačů a indukčního snímače jsou velmi malé, a proto se musí zesilovat. Pro registraci bylo nutno použít tří střídavých tensometrických můstků o nosné frekvenci 5kHz, firmy Hottinger - mess - technik, typ KWS II/5. Údaje byly registrovány smyčkovým zapisovačem typu 8LS-1 firmy LICHTSCHREIBER. Celkový pohled na přístroje na obr. 15.



obr. 13. Celkový pohled na dynamometr



obr. 14. Blokové schema zapojení



obr. 15. Pohled na měřicí přístroje

4.2. Postup měření

4.2.1. Cejchování

Před vlastním měřením je nutné provést cejchování jednotlivých složek řezné síly. Dle použitého dynamometru může být cejchovací zařízení různé konstrukce. Cejchování se provádí buď mimo soustruh resp. přímo na soustruhu. Z naměřených hodnot se sestrojí cejchovní křivka. Jestliže byl postup správný, je získaná závislost přímková. Po cejchování se nesmí manipulovat s vyvažováním mostu, je možno jej jen jemně dolaďovat na nulu, případně přepnout rozsah zesílení. V našem případě nebylo cejchování provedeno pomocí třmenového siloměru s číselníkovým setinovým úchylkoměrem, ale pomocí závaží, které bylo zavěšeno na cejchovní nůž postupně v jednotlivých směrech. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky č. 1. Z těchto hodnot byly sestrojeny cejchovní křivky obr. 16.

Tabulka č. 1.

Zatížení [N]	POČET DÍLKŮ		
	F_v	F_p	F_f
18,74	9	4,5	6
37,48	16,5	14	13
56,22	24	22	20
74,96	32	31	27
93,7	41	40	34

4.2.2. Vlastní měření

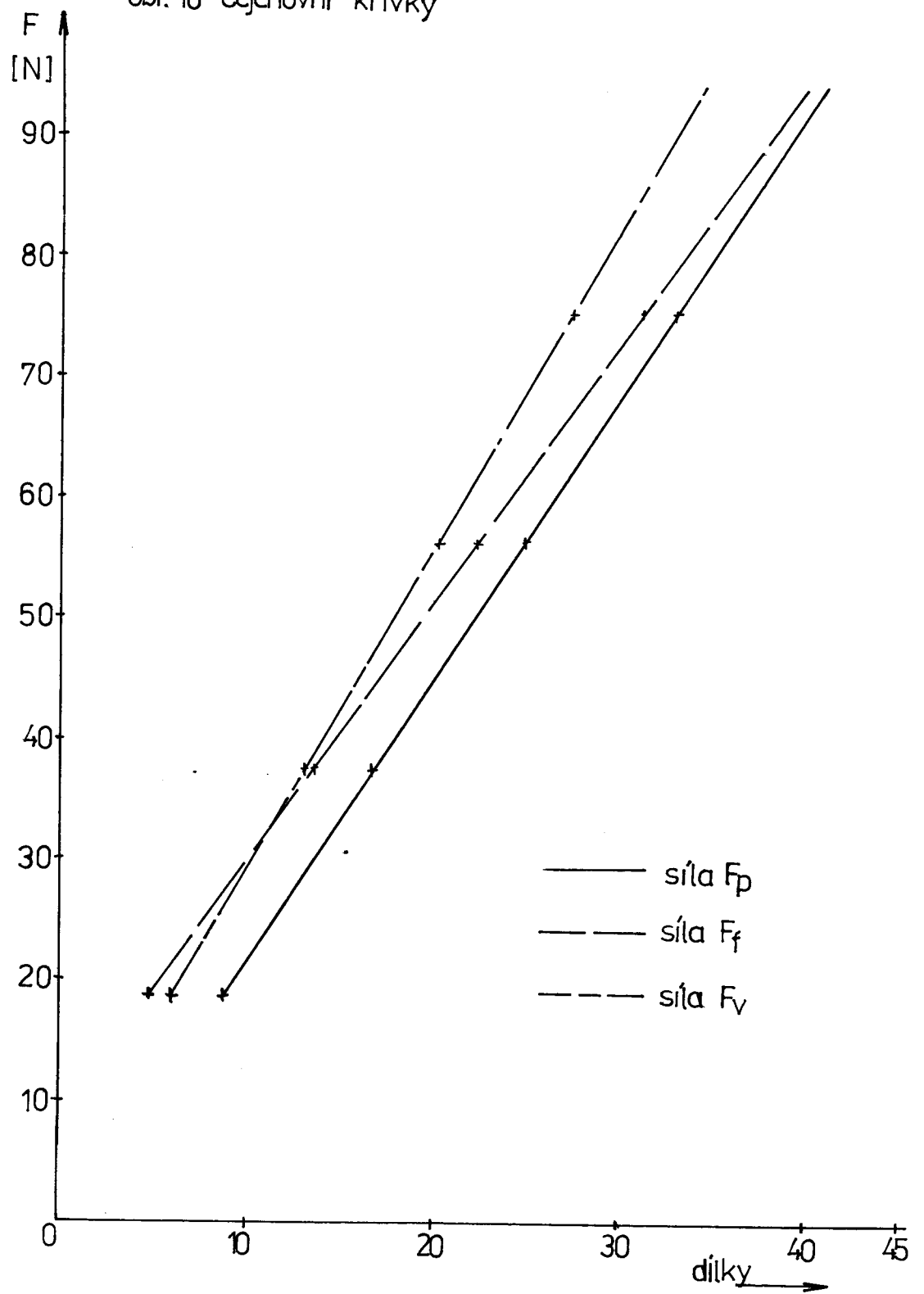
Provedeme upnutí zkušebnímu materiálu na soustruh, srovnání povrchu, upnutí zkušebnímu nástroje do dynamometru a ustavení na správnou výšku. Je nutné změřit vyložení pro přepočet naměřených sil na skutečné síly. Obrábění se provádělo podle předem stanoveného programu a naměřené hodnoty byly zapisovány do tabulek.

Měření a záznam byl prováděn smyčkovým zapisovačem typu 8LS-1, který je vybavený světlocitlivým fotopapírem, po osvětlení vyvolatelný.

Z uvedeného záznamu můžeme vyčíst:

- statické hodnoty složek řezné síly F_v , F_f , F_p
- dynamické hodnoty složek řezné síly F_v , F_f , F_p
- směr působení sil /+, -/
- frekvence dynamických hodnot

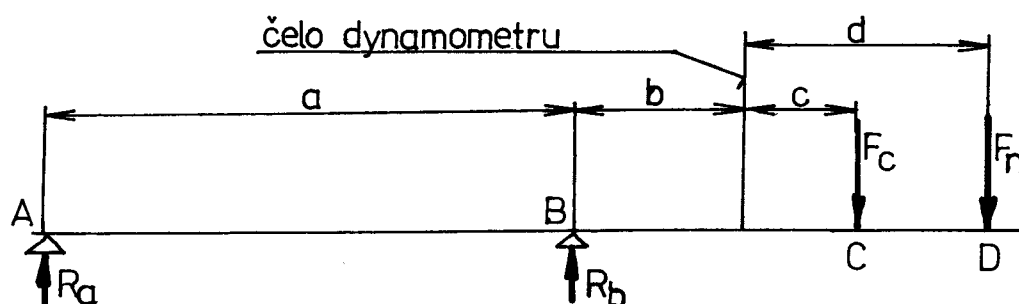
obr. 16 Čejchovní křivky



V případě, že při měření stačí znát pouze statické hodnoty složek řezné síly, pak jsou tyto hodnoty odečítány přímo z tenzometrických můstků.

4.2.3. Přepočet naměřených sil na skutečné síly.

Naměřené síly smyčkovým zapisovačem resp. tenzometrickými můstkami, neodpovídají skutečným silám působícím v těžišti odebírané třísky, jelikož jsme cejchovali při jiném vyložení. Ve skutečnosti se změnila naměřená síla v poměru ramen vyložení při cejchování a při měření. /obr. 16/



obr. 17 Silové poměry na dynamometru

- F_c - síla při cejchování
- F_n - síla působící na nástroj
- R_a - reakce v bodě A
- R_b - reakce v bodě B
- a - vzdálenost mezi reakcemi
- b - vzdálenost čela dynamometru od reakce R_b
- c - vzdálenost cejchovního bodu C od čela dynamometru
- d - proměnná vzdálenost nástroje od čela dynamometru dána vyložením

$$R_b \cdot a - F_c / a + b + c / = 0$$

$$R_b \cdot a - F_n / a + b + d / = 0$$

$$R_b = \frac{F_c / a + b + c /}{a} = \frac{F_n / a + b + d /}{a}$$

$$F_n = F_c \frac{a + b + c}{a + b + d} = F_c \frac{k_1}{k_2 + d}$$

4.2.4 Tabulky naměřených hodnot

Pro všechna měření, která se uskutečnily byly jako konstantní vzaty:

- řezná rychlost $v = 160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- úhel nastavení $= 2^\circ$
- hloubka řezu $h = 2 \text{ mm}$
- otáčky vřetene $n = 250 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

Tabulka č.2

α [°]	β [°]	s [$\frac{\text{mm}}{\text{ot}}$]	F_v		F_f		F_p	
			ϕ	N	ϕ	N	ϕ	N
15	0	0,32	20	21	4	5,76	34	23,8
15	0	0,4	24	25,2	2	2,88	25	17,5
15	0	0,8	34	35,75	2	2,88	23	16,1
15	+15	0,32	19	19,95	2	2,88	15	10,5
15	+15	0,4	23	24,15	2	2,88	19	13,3
15	+15	0,8	34	35,7	3	4,32	24	16,8
15	-15	0,32	19	19,95	1	1,44	12	8,4
15	-15	0,4	24	25,2	1	1,44	17	11,9
15	-15	0,8	38	39,9	2	2,88	25	17,5

α [°]	β [°]	S [mm] [ot]	F		F		F	
			ϕ	N	ϕ	N	ϕ	N
8	30	0,32	21	22,05	2	2,88	2	1,4
		0,4	25	26,25	2	2,88	4	2,8
		0,8	38	39,9	25	3,6	10	7
D 8	30	0,32	24	25,2	1	1,44	2	1,4
		0,8	33	34,65	2	2,88	2	1,4
		0,4	25	26,25	15	2,16	2	1,4
15	30	0,32	19	19,95	1	1,44	3	2,1
		0,4	23	24,15	1	1,44	3	2,1
		0,8	29	30,45	1	1,44	4	2,8
D 15	30	0,32	25	26,25	3	4,32	3	2,1
		0,4	29	30,45	2	2,88	3	2,1
		0,8	40	42	2	2,88	4	2,8
15	40	0,32	19	19,95	1	1,44	2	1,4
		0,4	21	22,05	1	1,44	3	2,1
		0,8	26	27,3	1	1,44	7	4,9
D 15	40	0,32	20	21	1	1,44	2	1,4
		0,4	23	24,15	15	2,16	3	2,1
		0,8	29	30,45	2	2,88	5	3,5

D - drážka

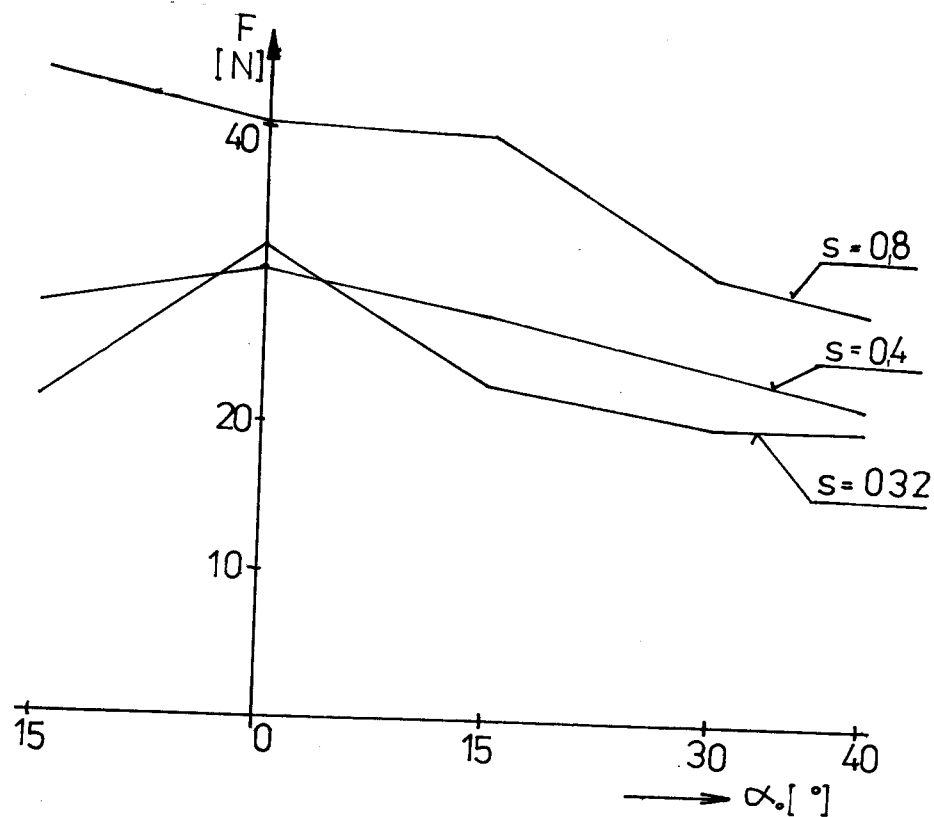
α_0 [°]	β_0 [°]	s mm ot	F_v		F_f		F_p	
			ϕ	N	ϕ	N	ϕ	N
D 15	15	0,32	26	27,3	4	5,76	29	20,3
		0,4	30	31,5	3	4,32	24	16,8
		0,8	46	48,3	3	4,32	25	17,5

Tabulka č.3 Hodnoty naměřené kruhovou destičkou

α_0 [°]	β_0 [°]	s mm ot	F_v		F_f		F_p	
			ϕ	N	ϕ	N	ϕ	N
15	15	0,32	24	25,2	3	4,32	15	10,5
		0,8	33	34,65	4	5,76	15	10,5
		0,4	26	27,3	4	5,76	15	10,5
D 15	15	0,32	17,5	18,37	3	4,32	6,5	4,55
		0,4	20	21	4	5,76	6,5	4,55
		0,8	25	26,25	5	7,2	6,5	4,55

D - jsou označovány soubory veličin, které byly naměřeny nástrojem s drážkou na hřbetní ploše.

Pro konečné hodnocení konstrukce nástroje bylo zjištěno silové zatížení jednotlivých typů nožů. Z grafu na obrázku č. 18 vyplývá závislost celkové síly F , která se spočítá podle vzorce $F = \sqrt{F_v^2 + F_p^2 + F_f^2}$, na úhlu čela při konstantním posuvu.



obr. 18 Závislost celkové síly F na úhlu čela α .

Je zřejmé, že s rostoucím úhlem čela klesá řezný odpor. Nejvýraznější pokles se projevil u největšího použitého posuvu 0,8 mm . ot⁻¹. Nejplynulejší pokles sil je zřetelný při posuvu 0,4 mm . ot⁻¹. U nejmenšího použitého posuvu

0,32 mm . ot¹ se hodnota síly, rozmezí úhlu čela 30° - 40°, ustálila na konstantní hodnotě. Celkově je tedy vidět, že nejvýrazněji se vliv úhlu čela na celkovou řeznou sílu projevuje u vyšších posuvů. Se zvětšováním posuvu je též možno sledovat nárůst řezných sil, tedy s rostoucím posuvem výsledná síla vzrůstá, nejméně se to však projevuje při velkém úhlu čela. Úpravy řezného nástroje složky řezných sil téměř neovlivňují.

4.3 Měření a vyhodnocování obrobeného povrchu

Kvalitnější neboli jakostnější povrch vn izolátorů z izostatické lisované keramiky, při obrábění ještě před výpalem má značný vliv na následné operace, především na glazování.

Na tvorbu povrchu budou mít vliv i možné mechanismy obrábění, uvedené v kapitole 3.3. Na povrchu se mohou vyskytovat vytrženiny - vrypy - vyvýšeniny. Dá se soudit, že výskyt vyvýšenin na povrchu je lepší oproti vytrženinám nebo vrypům z několika hledisek. Při vzniku hlubokých vrypů nebo prohlubní může docházet při konečných operacích k negativním následkům. Dochází k porušení glazovaného povrchu následkem toho, že do hlubokého vrypu vlivem úhlu smáčitelnosti nezateče glazura, vznikne tak vzduchová bublina, která se negativně projeví při výpalu. Celkový dopad této vady se projeví ve snížení mechanické pevnosti izolátoru. Tupé prohlubně a vrypy nejsou relativně tak nebezpečné pro konečnou úpravu izolátoru jako vrypy a prohlubně hlubšího charakteru. Může však docházet k tomu, že v těchto menších vrypech ulpívají oddělené částice. To může vést k opětovnému

narušení konečné úpravy a to tím, že vlivem ultrale částice nedojde k dokonalému spojení glazury s povrchem nebo částice zapříčiní vznik vzduchové mezery. Tyto částice se dají z povrchu odstranit pomocí ofukování, které se intenzivněji projevuje použitím nástroje podle skici v kap. 4.

4.3.1 Obráběcí stroj, řezné nástroje, řezný materiál a obráběný materiál použitý k měření.

Obráběcí stroj, řezné nástroje, řezný materiál a obráběný materiál byl použit stejný jako pro měření řezné síly v kap. 4.1.

4.3.2 Postup měření.

Pro experiment byly předem zvoleny všechny řezné podmínky, jejich výběr je odůvodněn v kap. 4. Celkový přehled o použitých nástrojích a to jak s úpravami, tak i bez úprav dává tabulka č. 4 a tabulka č. 5.

Změnou různých posuvů a řezných rychlostí jsme dostali škálu různých drsností na válcovém povrchu hublu. Abychom mohli vypálit keramický materiál bylo potřeba připravit vzorky odřezáním z hublu. Vzorky byly voleny tak, že od příslušné drsnosti jeden vzorek zůstal v nevypáleném stavu, druhý se polovinou oglazoval a vypálil. U nevypálených vzorků byly zhotoveny fotografie povrchu na přístroji NEOPHOT-KARLZEISS JENA. Tyto fotografie jsou pro snadnější možnost srovnávání zvětšeny 10x.

Pro srovnávání fotografií a vzorků výsledného povrchu bylo použito několika hledisek:

- srovnání povrchu tvořeného nástrojem s drážkou na hřbetní ploše a nástroje bez drážky

- srovnání povrchu ofukovaného a neofukovaného
- srovnání vlivu ofukování nástroje s drážkou a bez drážky

Pro hodnocení byl určující výskyt vytrženin - vrypů -

- vyvýšenin.

Vytrženina - prohlubeň po vytržení částice obráběného materiálu.

Vryp - prohlubeň, která vznikne nedefinovatelným posuvem částice oddělovaného materiálu po povrchu.

Vyvýšenina - vzniklé ulpění jednotlivých částíček na povrchu.

Pro všechna prováděná měření byly voleny konstantní parametry:

řezná rychlost $v = 160 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
otáčky $n = 250 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$

hloubka řezu $b = 2 \text{ mm}$

úhel nastavení $\phi = 2^\circ$

úhel sklonu ostří $\lambda_s = 0^\circ$

Tabulka č. 4 - hodnoty pro kruhové destičky

s [mm] [ot]	GEOMETRIE NÁSTROJE		ÚPRAVA NÁST. DRÁŽKA	ČÍSLO
	ϕ [°]	α [°]		
0,32	15	15	NE	49
0,4	15	15	NE	50
0,8	15	15	NE	51
0,32	15	15	ANO	52
0,4	15	15	ANO	53
0,8	15	15	ANO	54

TABULKA č.5

POSUV [mm] [ot]	GEOMETRIE NÁSTR.		ÚPRAVA NÁSTROJE		ČÍSLO
	φ_0 [°]	α_0 [°]	OFUKOVÁNÍ	DŘÁŽKA	
0,32	30	8	NE	NE	1
0,32	30	8	ANO	NE	2
0,32	30	8	NE	ANO	3
0,32	30	8	ANO	ANO	4
0,4	30	8	NE	NE	5
0,4	30	8	ANO	NE	6
0,4	30	8	NE	ANO	7
0,4	30	8	ANO	ANO	8
0,8	30	8	NE	NE	9
0,8	30	8	ANO	NE	10
0,8	30	8	NE	ANO	11
0,8	30	8	ANO	ANO	12
0,32	30	15	NE	NE	13
0,32	30	15	ANO	NE	14
0,32	30	15	NE	ANO	15
0,32	30	15	ANO	ANO	16
0,4	30	15	NE	NE	17
0,4	30	15	ANO	NE	18
0,4	30	15	NE	ANO	19
0,4	30	15	ANO	ANO	20
0,8	30	15	NE	NE	21
0,8	30	15	ANO	NE	22
0,8	30	15	NE	ANO	23
0,8	30	15	ANO	ANO	24

POSUV [mm] [ot]	GEOMETRIE NÁSTR		UPRAVA NÁSTROJE		ČÍSLO
	β_0 [°]	α_0 [°]	OFUKOVÁNÍ	DŘÁŽKA	
0,32	40	15	NE	NE	25
0,32	40	15	ANO	NE	26
0,32	40	15	NE	ANO	27
0,32	40	15	ANO	ANO	28
0,4	40	15	NE	NE	29
0,4	40	15	ANO	NE	30
0,4	40	15	NE	ANO	31
0,4	40	15	ANO	ANO	32
0,8	40	15	NE	NE	33
0,8	40	15	ANO	NE	34
0,8	40	15	NE	ANO	35
0,8	40	15	ANO	ANO	36
0,32	15	15	NE	NE	37
0,32	15	15	ANO	NE	38
0,32	15	15	NE	ANO	39
0,32	15	15	ANO	ANO	40
0,4	15	15	NE	NE	41
0,4	15	15	ANO	NE	42
0,4	15	15	NE	ANO	43
0,4	15	15	ANO	ANO	44
0,8	15	15	NE	NE	45
0,8	15	15	ANO	NE	46
0,8	15	15	NE	ANO	47
0,8	15	15	ANO	ANO	48

TABULKA č.6

$\beta_0 = 30^\circ$; $\alpha_0 = 8^\circ$ 2												
S = 0,32 mm.ot ⁻¹					s = 0,4 mm.ot ⁻¹					s = 0,8 mm.ot ⁻¹		
FOTO. č.	1	2	3	4	FOTO. č.	5	6	7	8	FOTO. č.	9	10
A	5	5	5	5	A	5	5	5	5	A	5	5
B	5	5	3	3	B	5	3	0	0	B	5	5
C	0	3	5	5	C	3	5	3	5	C	5	5
$\beta_0 = 30^\circ$; $\alpha_0 = 15^\circ$												
s = 0,32 mm.ot ⁻¹					s = 0,4 mm.ot ⁻¹					s = 0,8 mm.ot ⁻¹		
FOTO. č.	13	14	15	16	FOTO. č.	17	18	19	20	FOTO. č.	21	22
A	5	5	5	5	A	5	5	5	5	A	5	5
B	3	3	0	0	B	5	5	0	0	B	5	3
C	0	0	5	5	C	3	5	5	5	C	3	3
												5

POKRAČOVÁNÍ TABULKY č.6

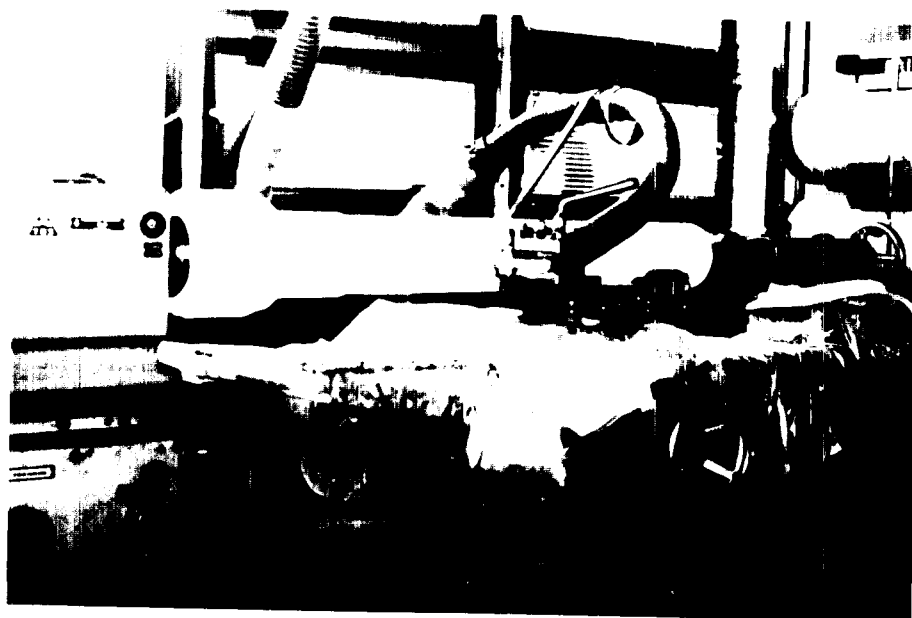
$\beta_0 = 40^\circ ; \alpha_0 = 15^\circ$															
$s = 0,32 \text{ mm.ot}^{-1}$								$s = 0,4 \text{ mm.ot}^{-1}$							
FOTO č.	25	26	27	28	FOTO č.			29	30	31	32	FOTO č.			
A	3	3	0	0	A			3	3	0	0	A			
B	0	0	0	3	B			0	0	3	3	B			
C	5	5	5	5	C			5	5	5	5	C			
$\beta_0 = 15^\circ ; \alpha_0 = 15^\circ$															
$s = 0,32 \text{ mm.ot}^{-1}$								$s = 0,4 \text{ mm.ot}^{-1}$							
FOTO č.	37	38	39	40	FOTO č.			41	42	43	44	FOTO č.			
A	5	5	5	5	A			5	5	5	5	A			
B	5	3	5	5	B			5	5	3	3	B			
C	5	5	5	3	C			5	5	5	5	C			
$s = 0,32 \text{ mm.ot}^{-1}$								$s = 0,8 \text{ mm.ot}^{-1}$							
FOTO č.	37	38	39	40	FOTO č.			45	46	47	48	FOTO č.			
A	5	5	5	5	A			3	3	3	3	A			
B	5	3	5	5	B			3	3	0	0	B			
C	5	5	5	3	C			5	5	5	5	C			

Vysvětlivky pro tabulku č. 6

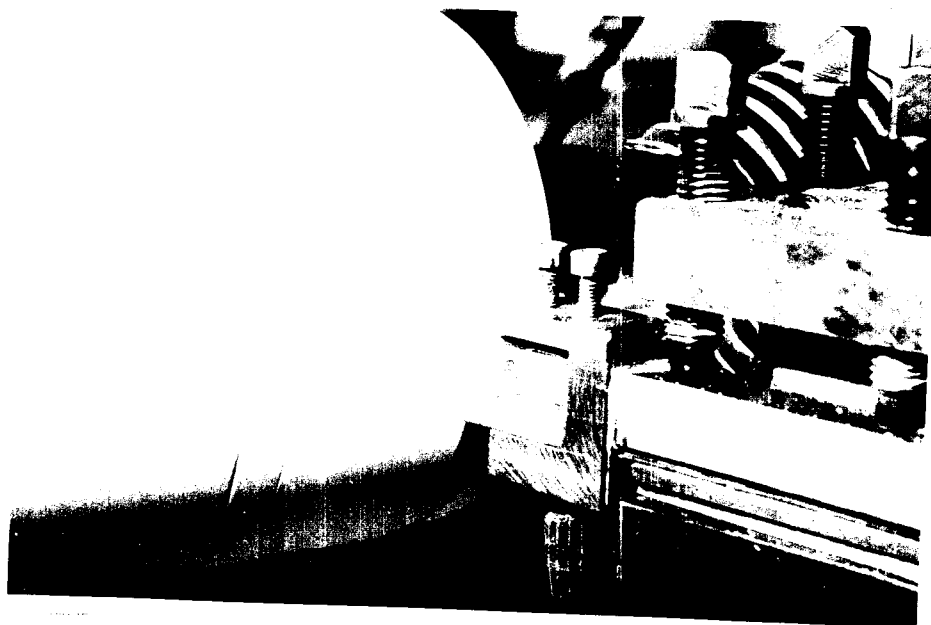
- A - vytrženina
- B - vryp
- C - vyvýšenina

Klasifikační kód tabulky č. 6

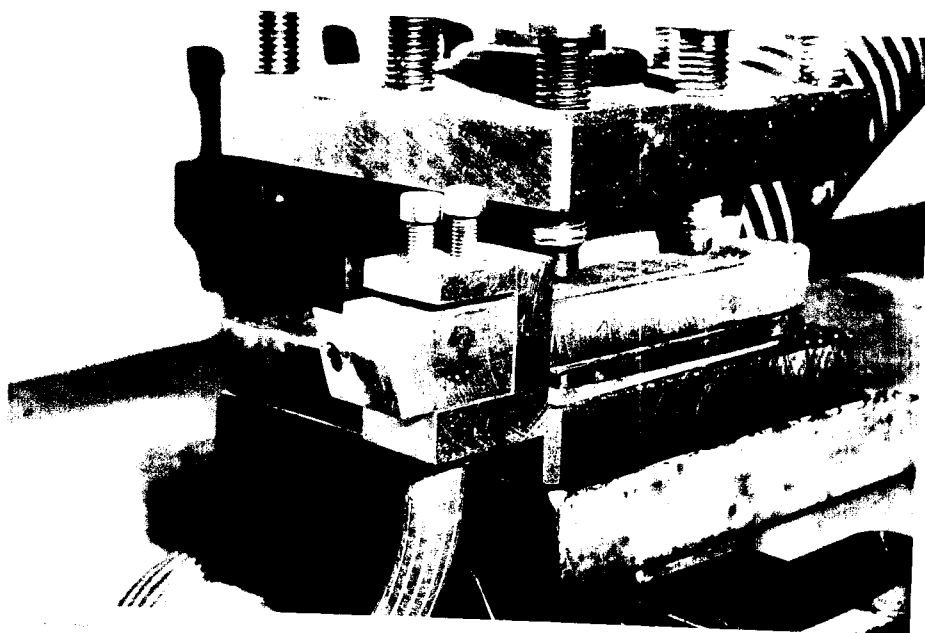
- 5 - velké množství vrypů, vyvýšenin nebo vytrženin na ploše fotografie příslušného vzorku
- 3 - malé množství vrypů, vyvýšenin nebo vytrženin na ploše fotografie příslušného vzorku
- 0 - neexistují vrypy, vyvýšeniny nebo vytrženiny na ploše fotografie příslušného vzorku



obr.19 Celkový pohled na průběh měření

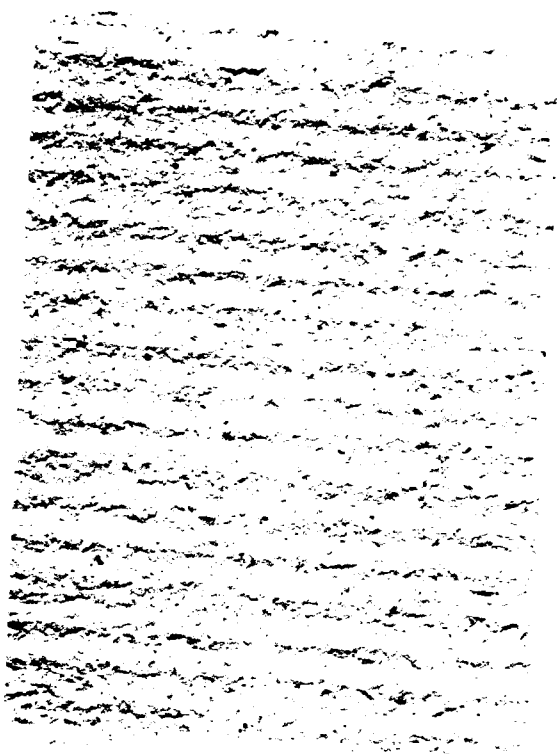


obr. 20 Průběh měření

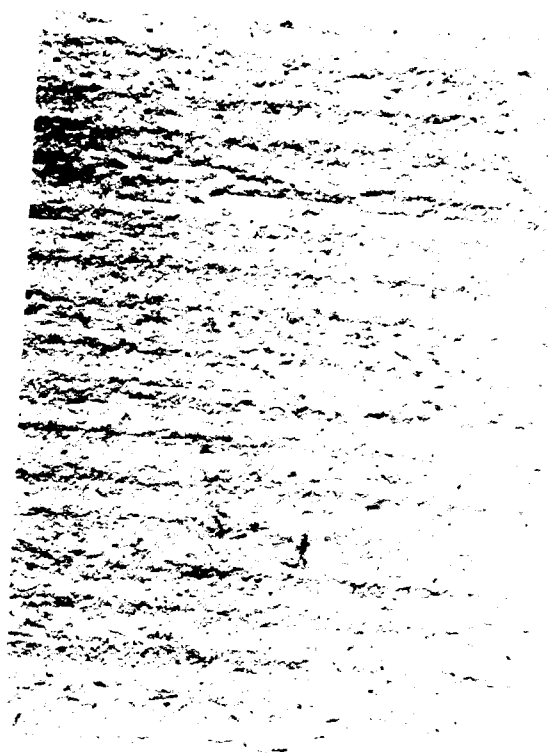


obr. 21 Pohled na nástroj a držák

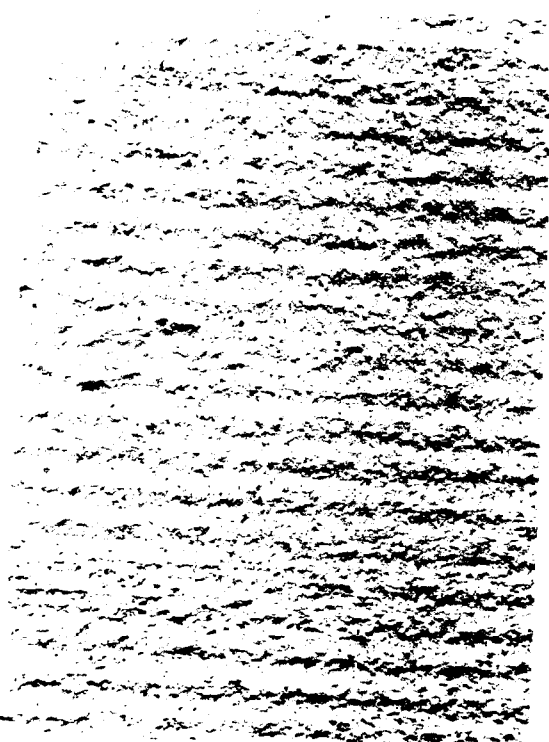
č.2



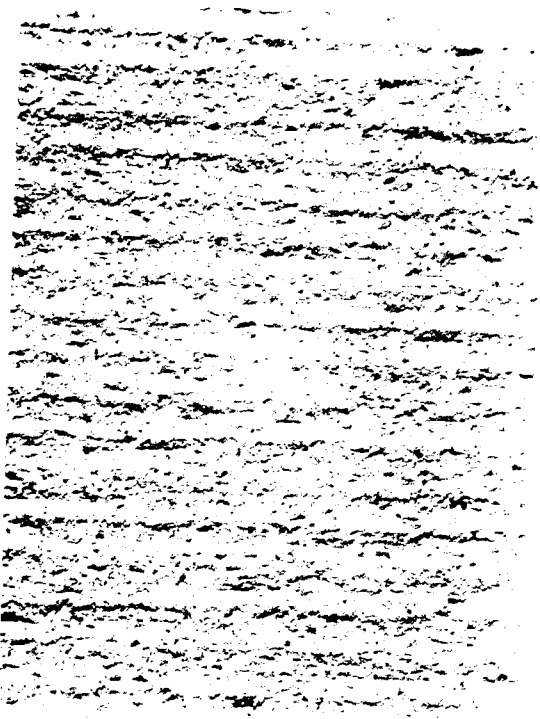
č.4.



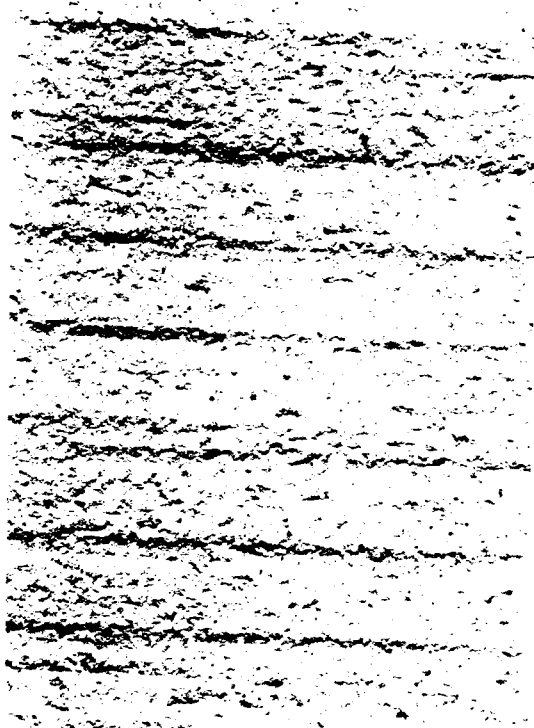
č.1



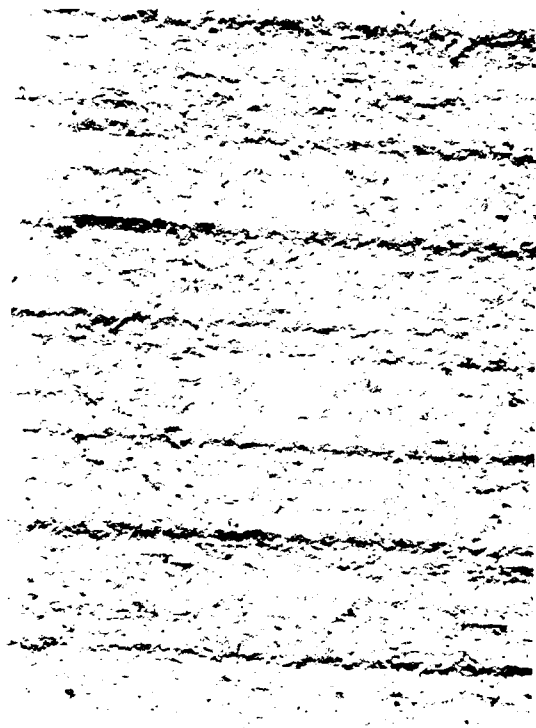
č.3



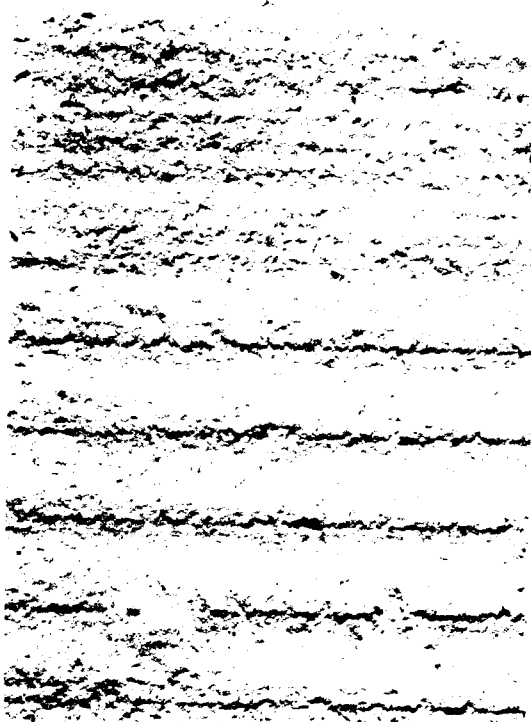
č.11



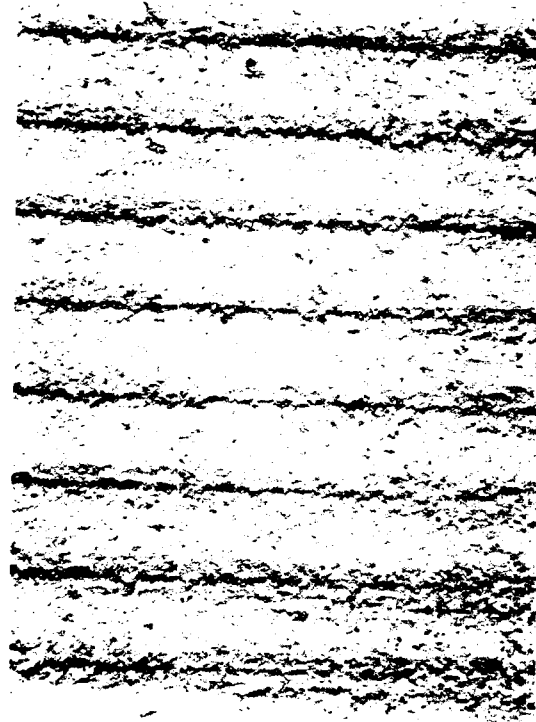
č.12



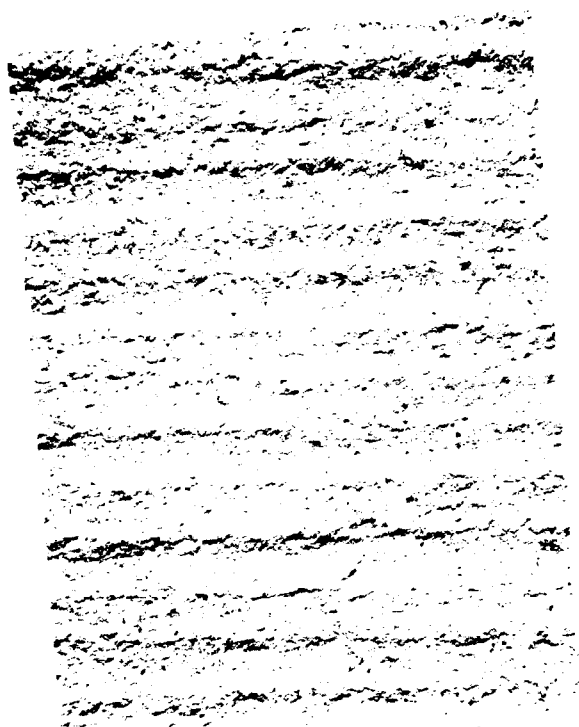
č.9



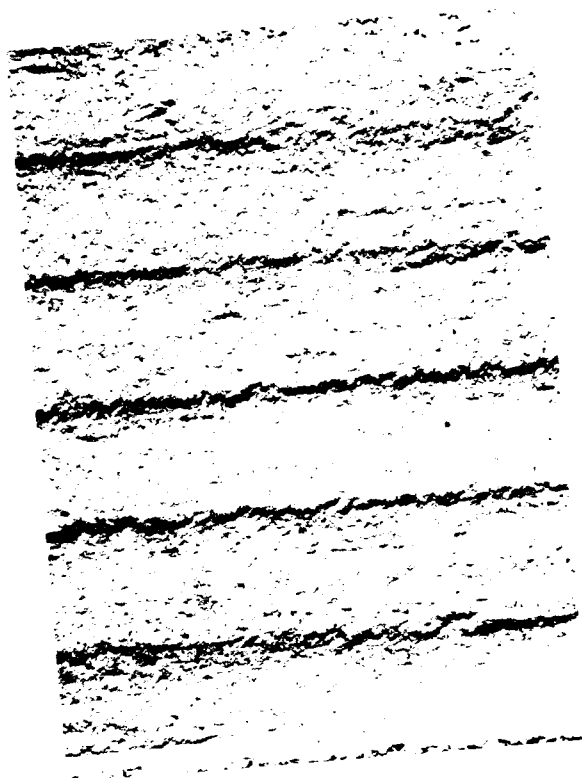
č.10



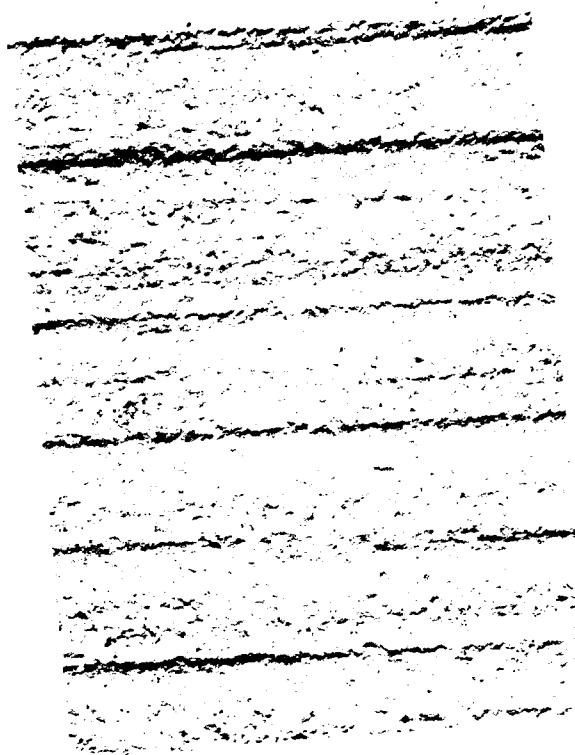
č.15



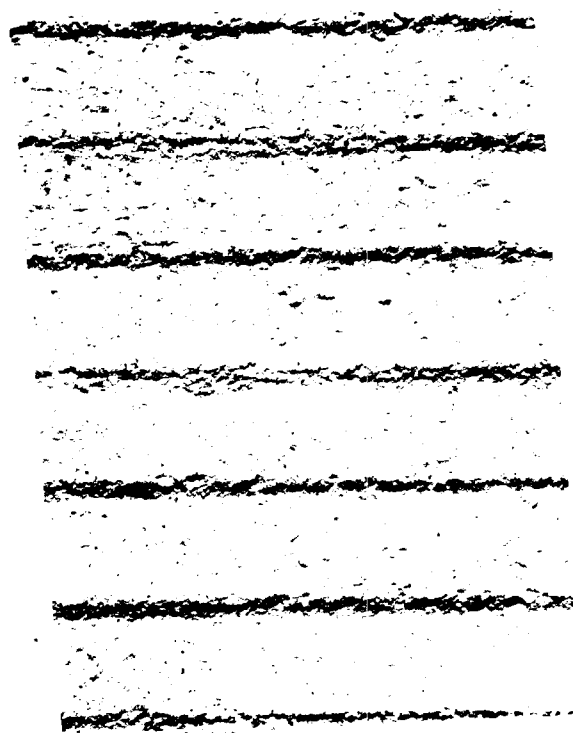
č.16



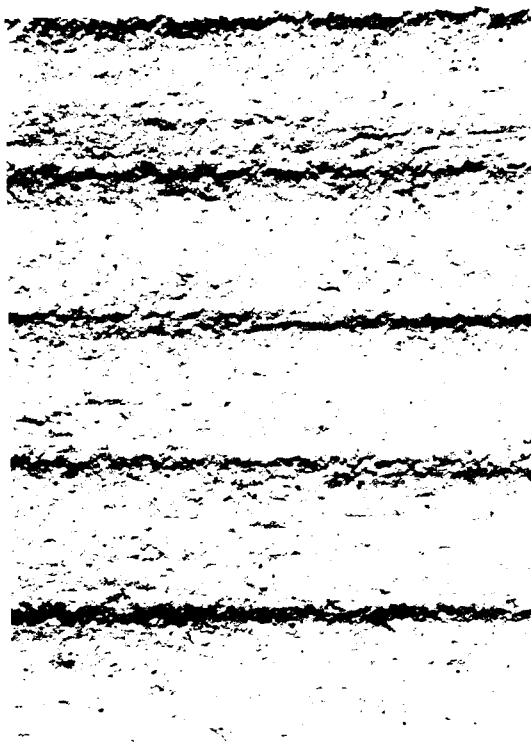
č.13



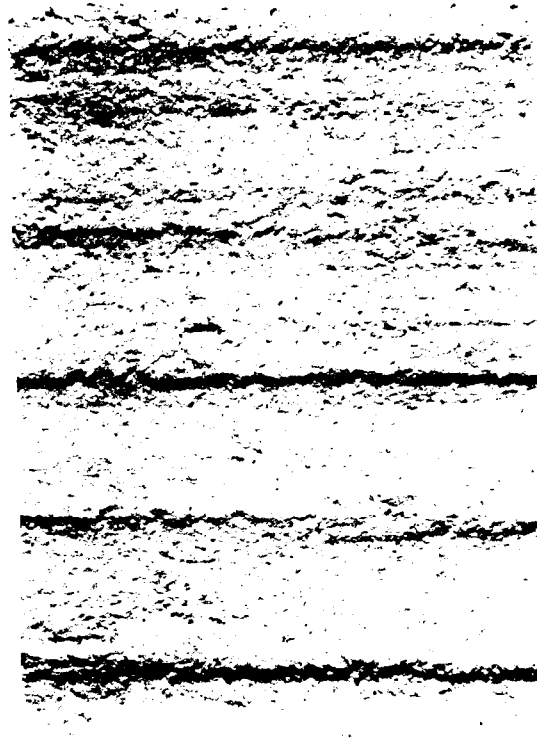
č.14



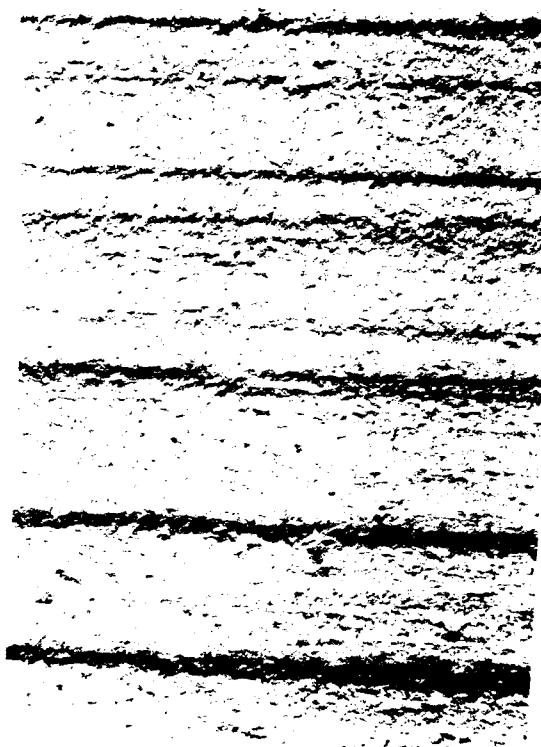
č.19



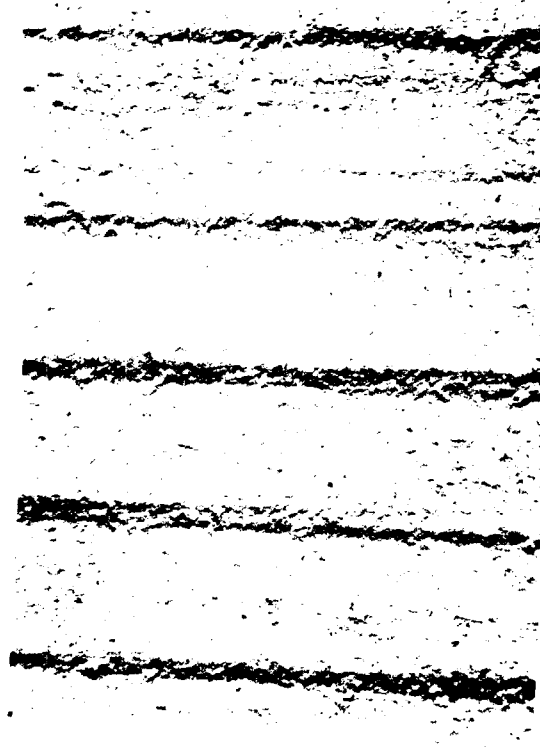
č.20



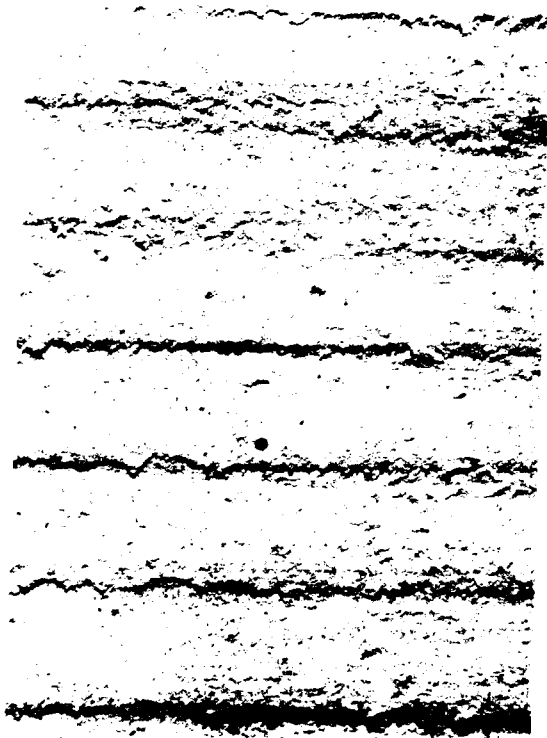
č.17



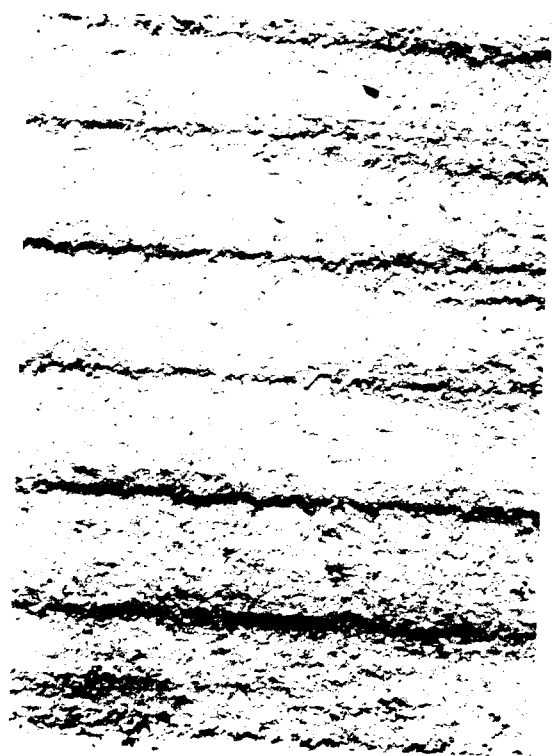
č.18



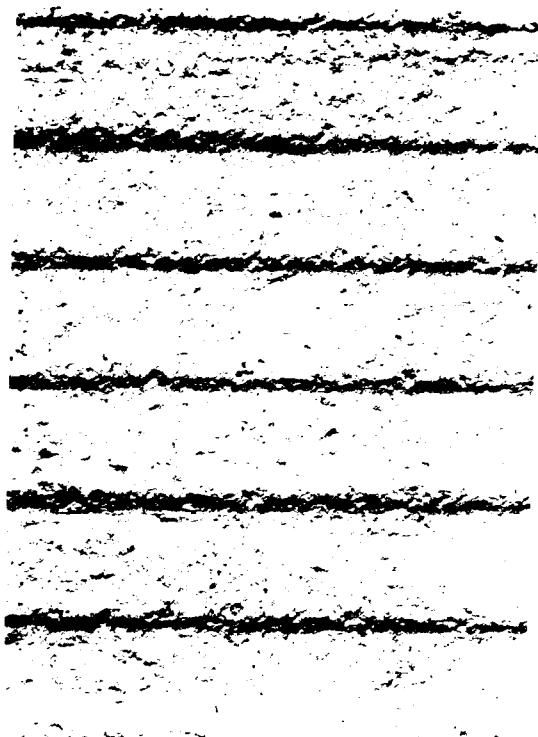
č.23



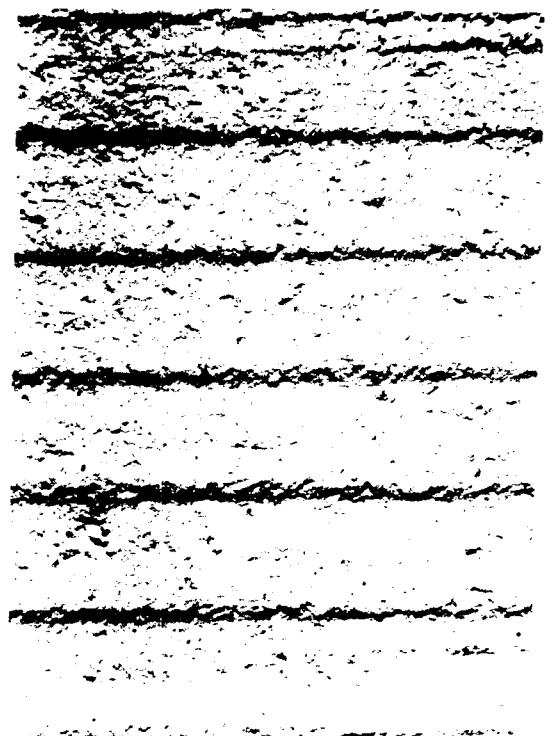
č.24



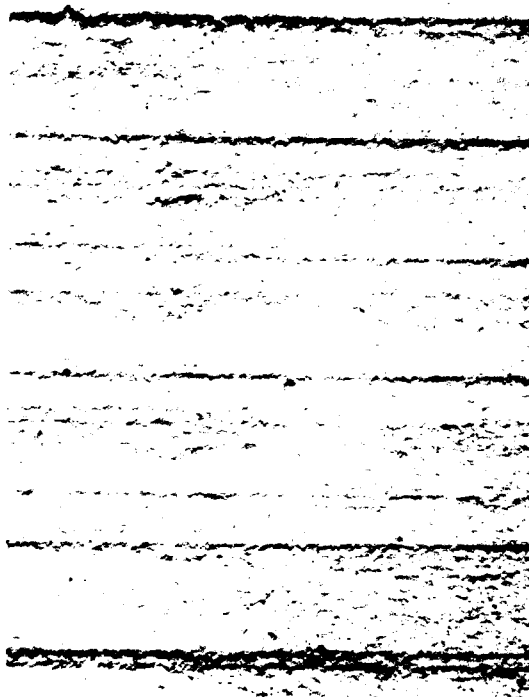
č.21



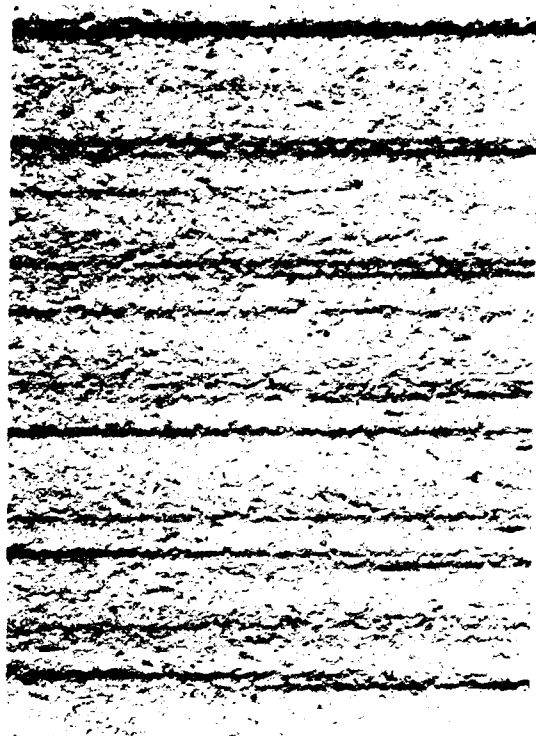
č.22



č.27



č.28



č.25

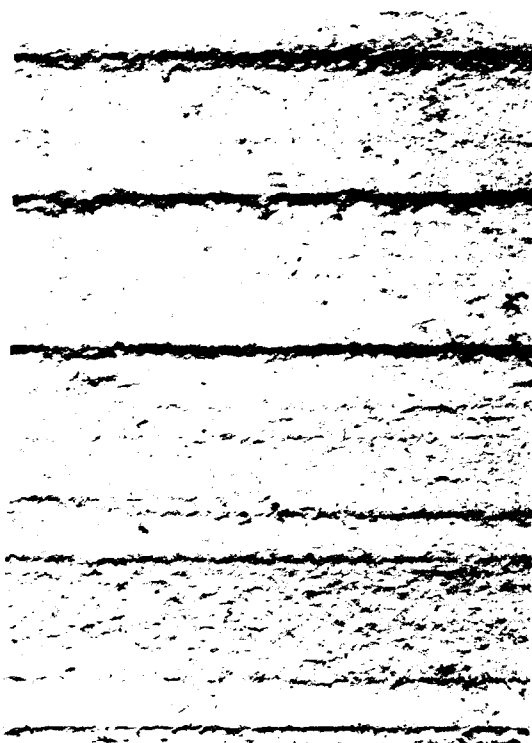


č.26

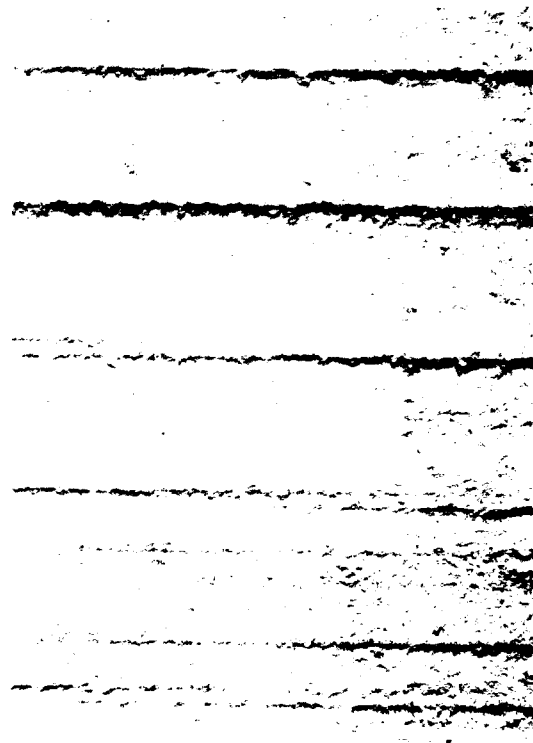


Seznam použité literatury :

č.31



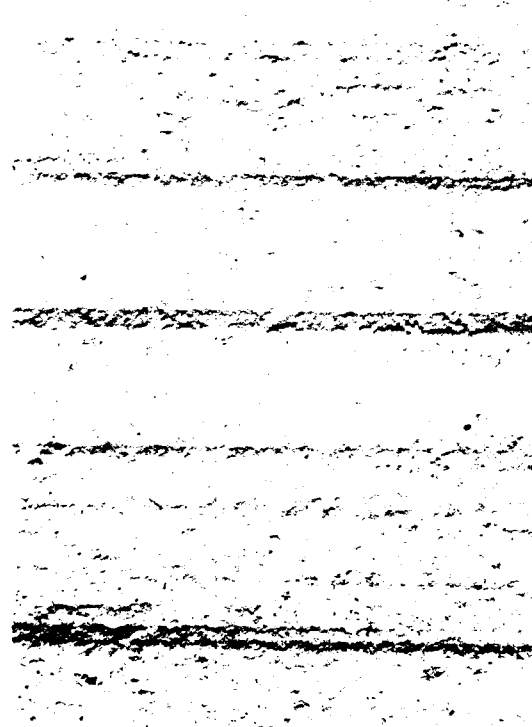
č.32



č.29



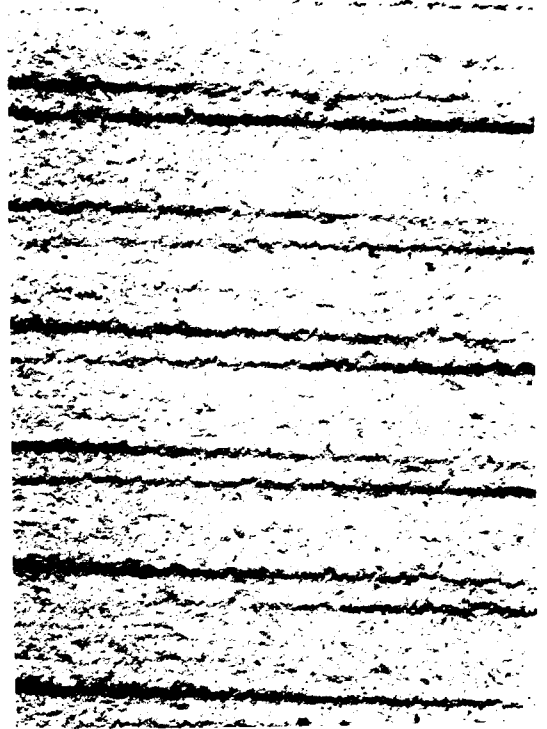
č.30



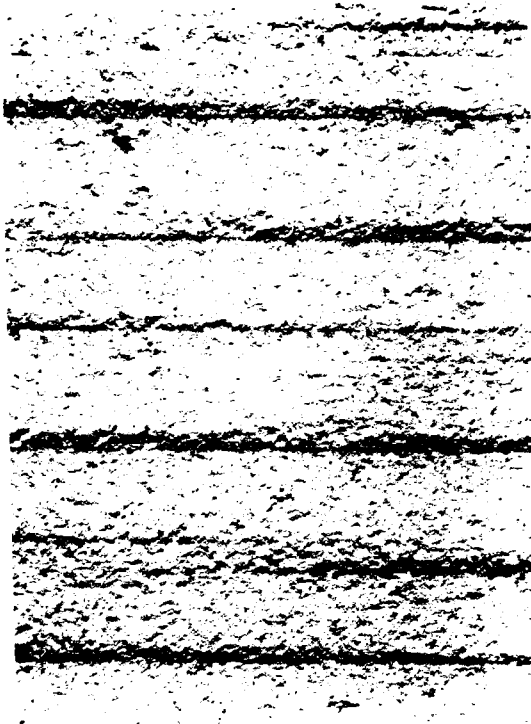
č.35



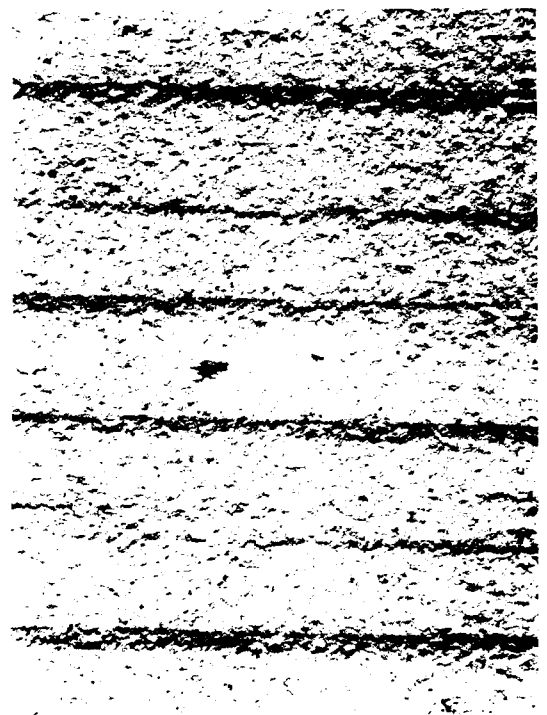
č.36



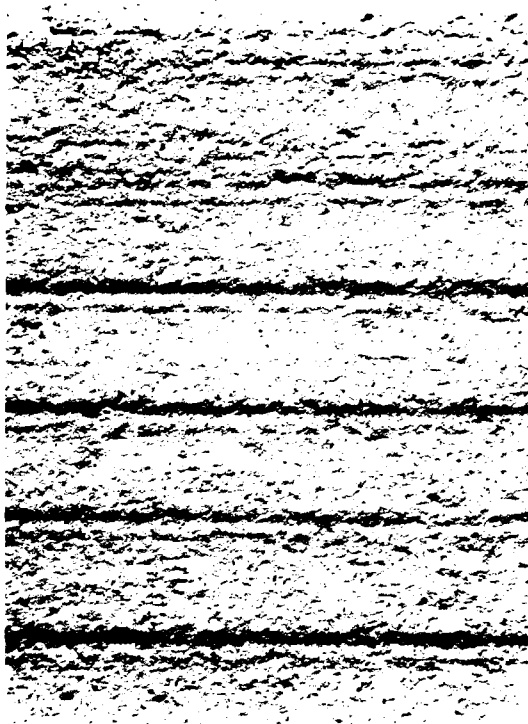
č.33



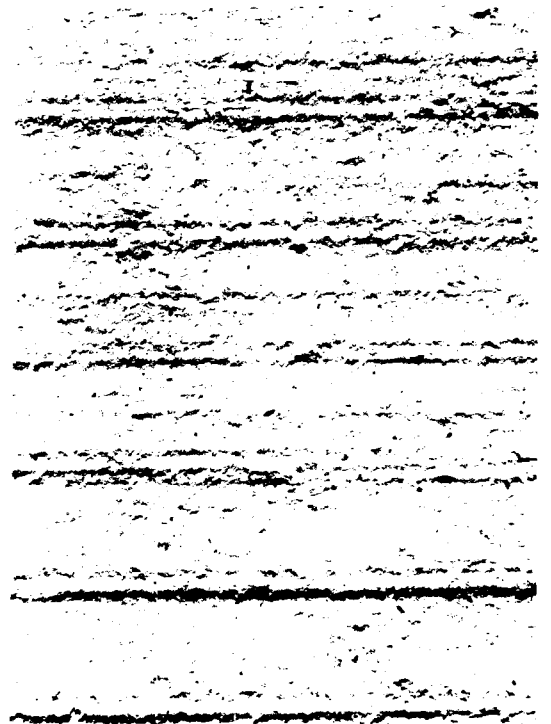
č.34



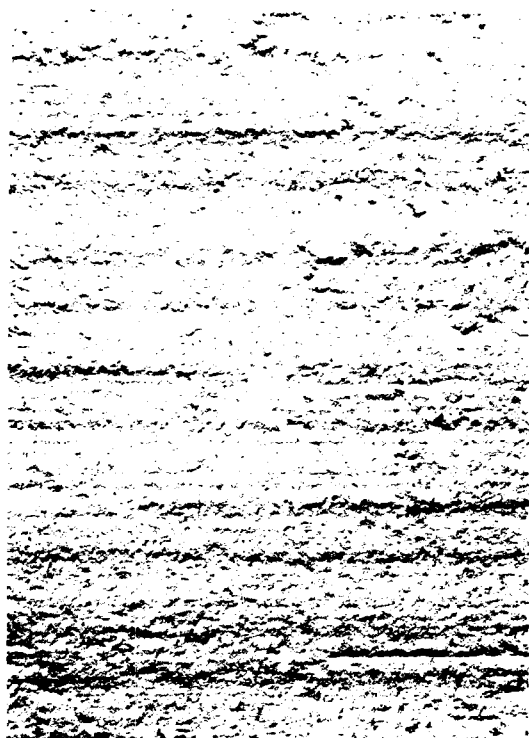
č.39



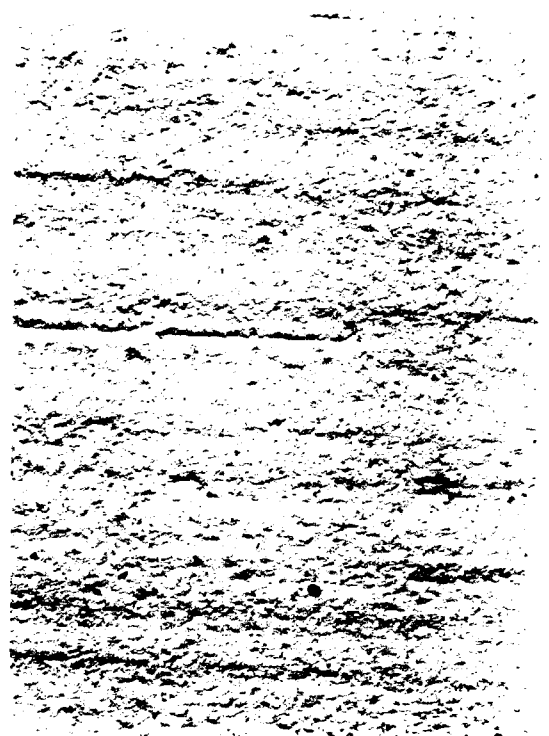
č.40



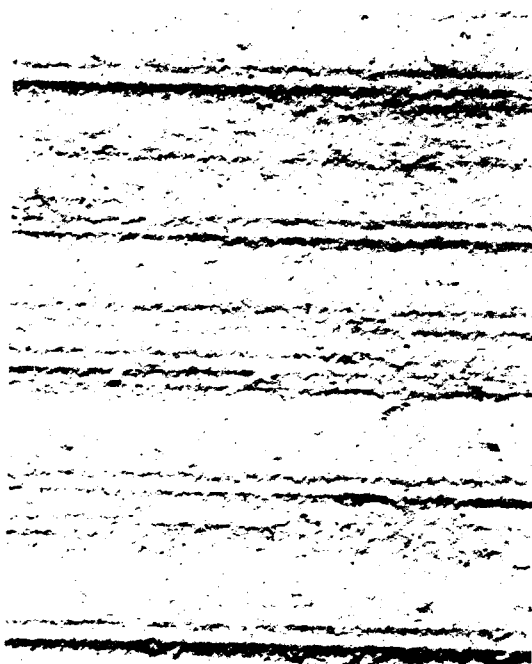
č.37



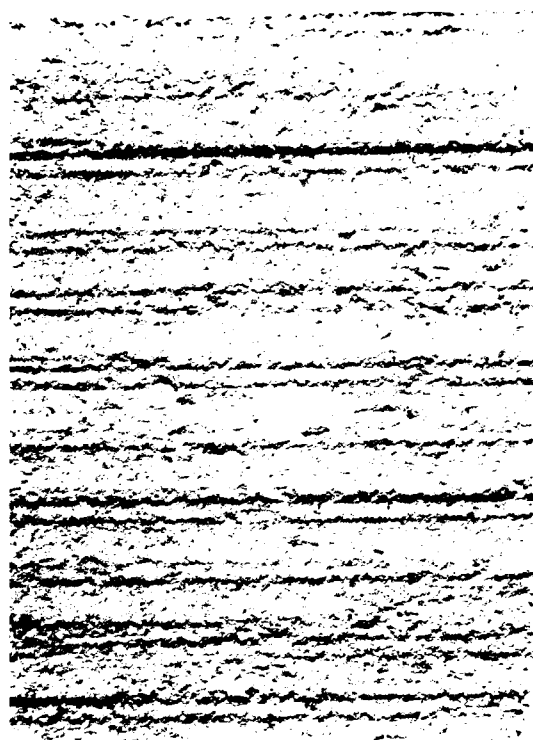
č.38



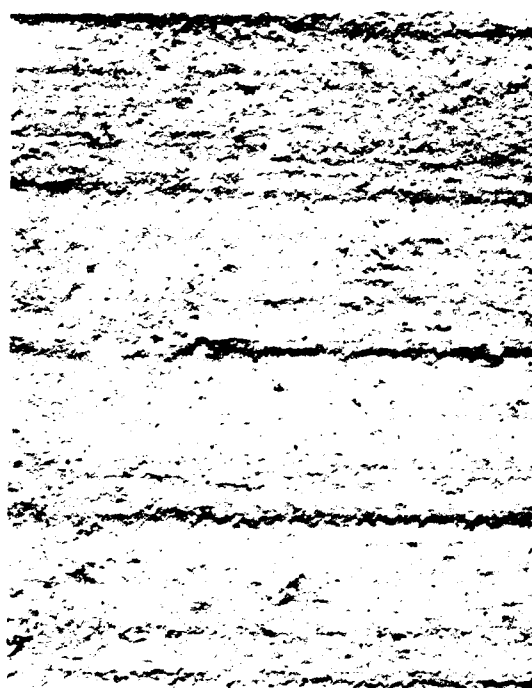
č.43



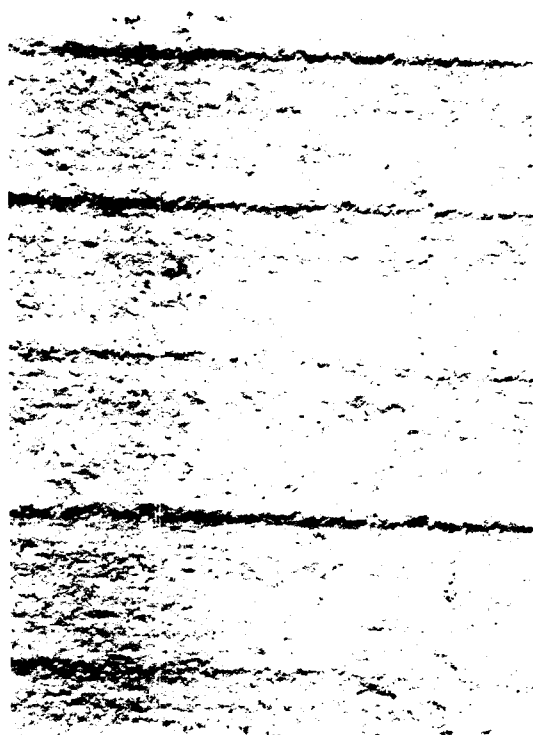
č.44



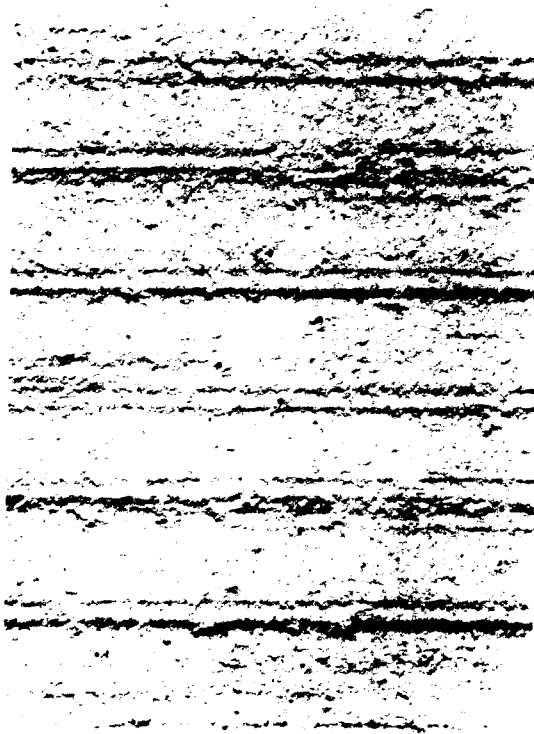
č.41



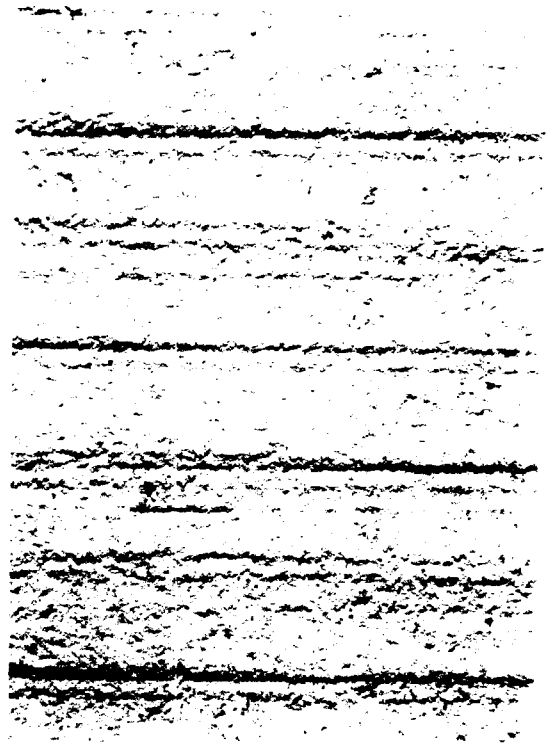
č.42



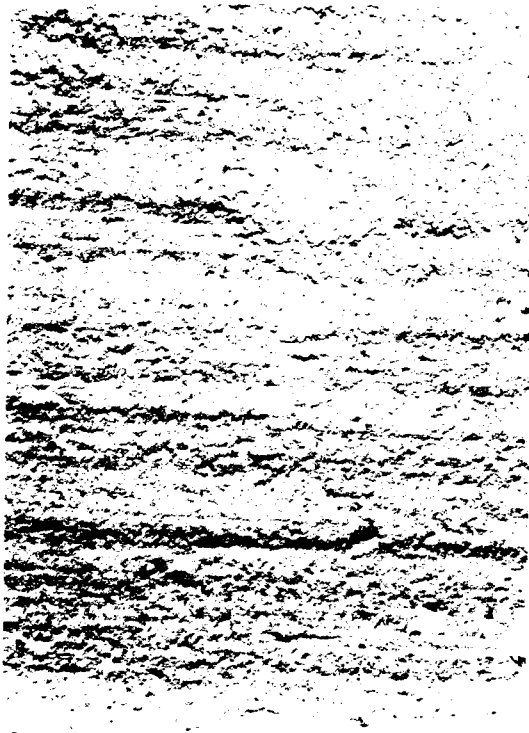
č.47



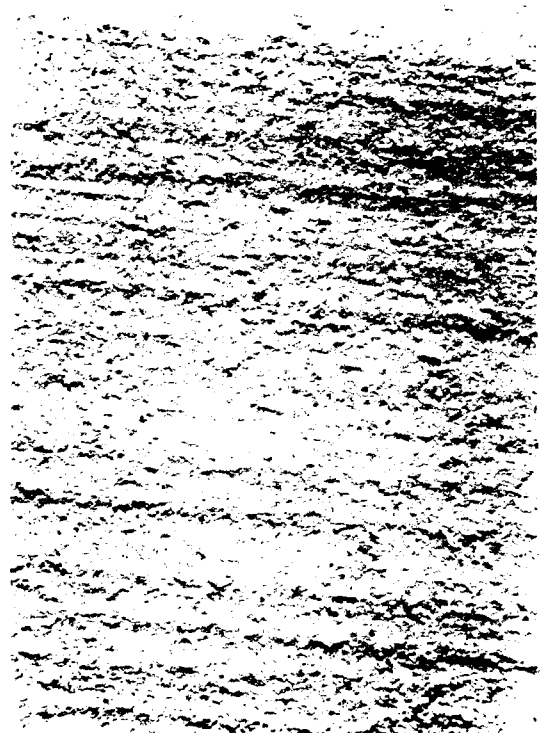
č.48

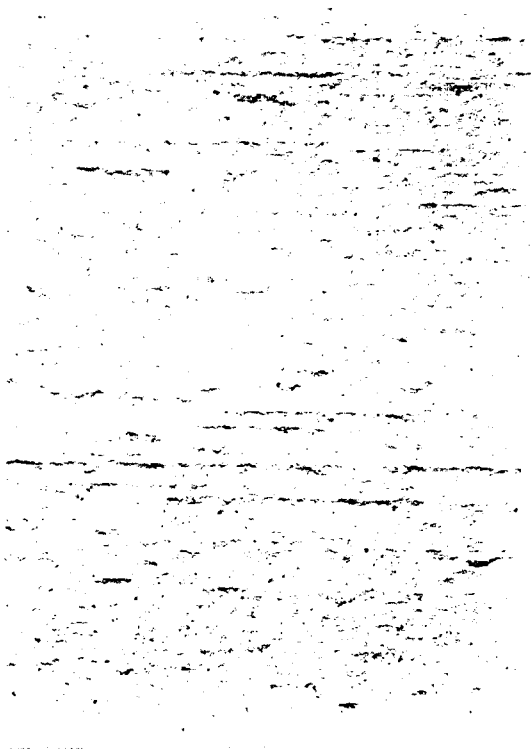


č.45

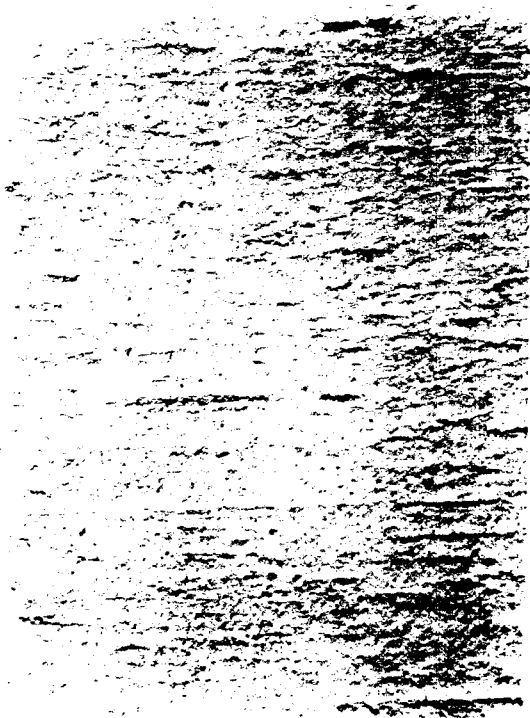


č.46

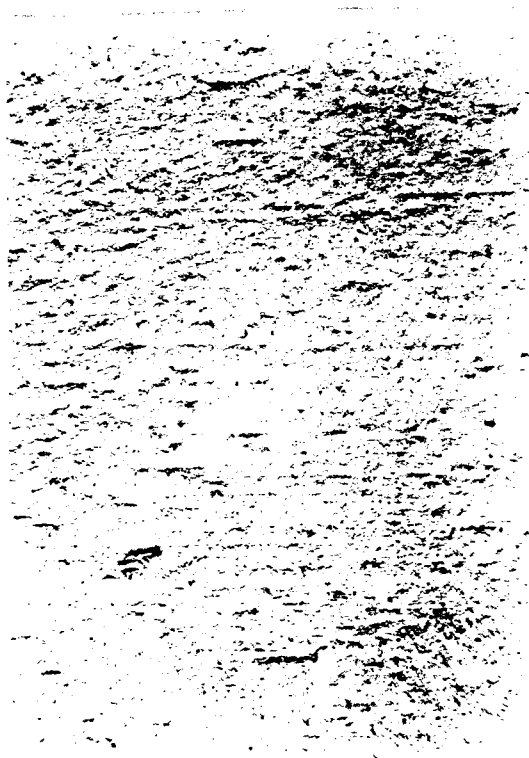




č. 50

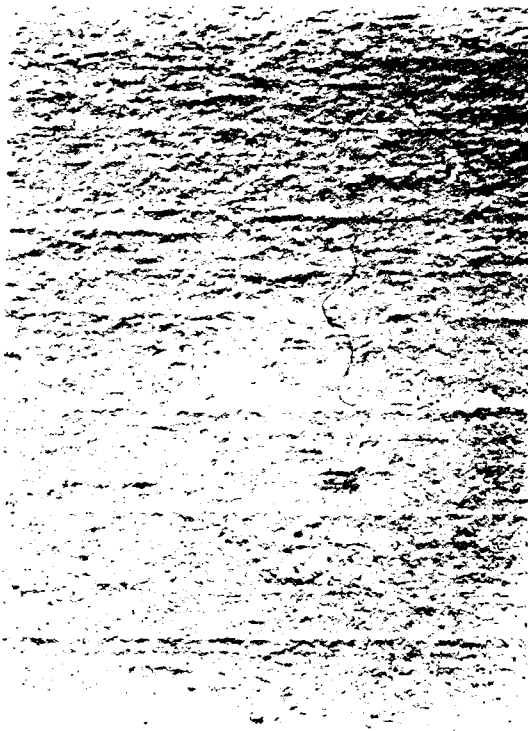


č. 49



č. 51

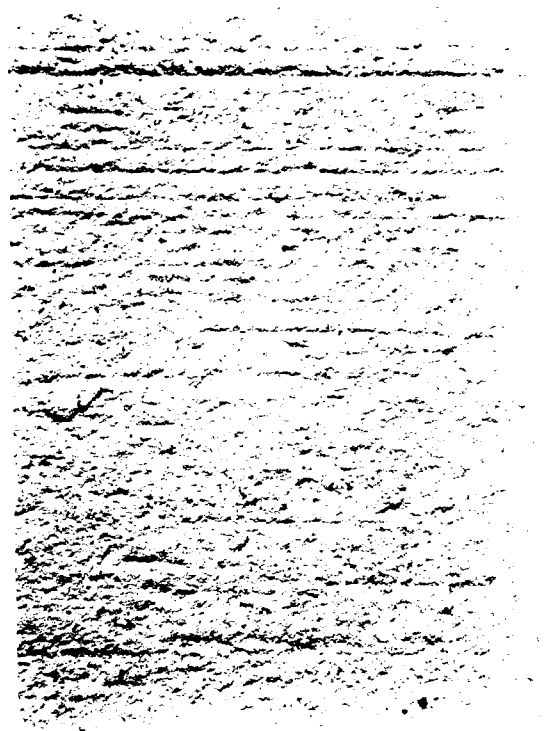
č.53



č.52



č.54



4.3.3 Vyhodnocení povrchu podle stejných řezných podmínek.

Fotografie č. 1 - 4 nástroje tvoří dobrý povrch, je zde vidět rozdíl mezi povrchem obráběným nástrojem s drážkou na hřbetní ploše nebo bez drážky na hřbetní ploše. Povrch tvořený nástrojem s drážkou obsahuje méně vrypů, avšak tyto vrypy jsou dosti hluboké. Rozdíl mezi povrchem, kdy bylo použito ofukování a kdy ne, není výrazný.

Ani jeden z povrchů není vhodný pro glazování.

Fotografie č. 1 - 8 nástroj s drážkou tvoří jednodušší povrch, nevyskytují se vrypy. U nástroje bez drážky se ve větší míře objevují vytrženiny, vrypy a vyvýšeniny jsou ve srovnání s počtem vytrženin zastoupeny daleko méně. Tento počet se ještě zmenšuje při použití ofukování.

Povrch č. 8 je možno použít pro glazování.

Fotografie č. 9 - 12 při použití drážky a to i bez podpory ofukování nebo s podporou ofukování vzniká jednodušší povrch, jsou výrazně menší vrypy. Vliv ofukování není tak výrazný jako vliv drážky.

Ani jeden z povrchů není vhodný pro glazování.

Fotografie č. 13 - 16 porovnává-li se povrch ovlivněný drážkou na hřbetní ploše nástroje a povrch tvořený nástrojem bez drážky, pak lze říci, že na povrchu od nástroje s drážkou se téměř nevyskytují vrypy, povrch je jednodušší a zvětšuje se počet vyvýšenin. Vliv ofukování není tak markantní, avšak je znát, že při použití ofukování je povrch "čistší", neulpívají na něm uvolněné částice, což je patrné jak z fotografie tak i ze vzorku.

Povrchy č. 15 - 16 jsou vhodné pro glazování.

Fotografie č. 17 - 20 u nástroje bez drážky se tvoří poměrně malé vrypy ve srovnání s vrypy na ploše předchozího souboru. Při použití nástroje s drážkou tyto vrypy skoro vymizí. Při použití ofukování je opět povrch čistší než bez ofukování. Vyvýšeniny se tvoří jak u nástroje s drážkou, tak i nástroje bez drážky, kde se však vyskytují méně často.

Povrch č. 20 se dá použít ke glazování.

Fotografie č. 21 - 24 u nejvyššího posuvu souboru stejné geometrie se opět značně projevuje vliv drážky na výskyt vrypů a vyvýšenin, jak je patrné z tabulky č. 6. Při celkovém pohledu na povrch tvořený nástrojem bez drážky je zřejmé, že celé plochy mezi jednotlivými čarami posuvu jsou vyduté, kdežto u povrchu tvořeného nástrojem s drážkou jsou mírně vypuklé. Vliv ofukování se projevuje hlavně na čistotě povrchu a vzniku vrypů.

Povrchy č. 23 - 24 byly z doposud klasifikovaných povrchů nejjakostnější, hodí se pro glazování.

Fotografie č. 25 - 28 zde se potvrzuje úvaha z kapitoly 4, že při menším řezném klínu vzniká tzv. "čisté řezání". U nože bez drážky na hřbetní ploše nástroje se vytrženými objevují velmi málo a u nože s drážkou neexistují vůbec, stejně tak je tomu i u vrypů, kde rozdíl mezi upraveným a neupraveným nástrojem není znatelný. Při ofukování se projeví ten rozdíl, že nůž s drážkou vytváří z celkového pohledu vypouklý povrch, kdežto nůž bez drážky povrch rovný.

Povrchy č. 25 - 28 jsou vhodné ke glazování.

Fotografie č. 29 - 32 při této geometrii a řezných podmínkách

se neuplatňuje vliv ofukování. Vzniká však ošet "čistý řez", což se projevuje na výskytu vytrženin, které se vyskytují velmi zřídka a při použití nástroje s drážkou neexistují. Při použití nástroje s úpravou se však začaly vyskytovat vrypy. Objevuje se velké množství vyvýšenin a to v obou případech řezných nástrojů. Z celkového pohledu jsou povrchy při použití obou nástrojů rovné.

Povrchy č. 29 - 32 byly zatím nejještější a jsou vhodné pro glazování.

Fotografie č. 33 - 36 opět se projevuje vliv geometrie na čisté řezání, to má za příčinu, že se vytrženiny na obrobené ploše nevyskytují. Kdežto oproti posuvu $0,4 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ použitého u předchozího souboru se zde vyskytují vrypy a to u nástroje s drážkou na hřbetní ploše. Rozdíl mezi ofukovanými a neofukovanými vzorky není patrný.

Povrchy č. 33 - 36 jsou vhodné pro glazování.

Fotografie č. 37 - 40 při této geometrii a řezných podmínkách se neobjevují výrazné změny mezi obrobenými povrchy nástrojem s úpravou a bez úpravy. Jako nejvyšší ze souboru se jeví povrch utvořený nástrojem bez drážky na hřbetní ploše, avšak poškozený ofukováním. Na všech ostatních se vyskytují ve velkém množství malé vrypy a vytrženiny.

Povrchy č. 37 - 40 nejsou vhodné pro glazování.

Fotografie č. 41 - 44 na tomto souboru se začíná projevovat kladný vliv drážky na hřbetní ploše nástroje. Z fotografie je zřejmé, že u nástroje s úpravou vznikají velmi malé nebo skoro žádné vrypy. Hustota a velikost vyvýšenin na ploše

fotografie se shoduje pro oba nástroje a to i na použití ofukování. Ve všech případech se objevují méně zřetelné vytrženiny.

Povrchy č. 43 - 44 jsou vhodné pro glazování.

Fotografie č. 45 - 48 při těchto řezných podmínkách a geometrii nástroje je ze vzorků a fotografií povrchu zřejmý vliv drážky na tvorbu vrypů. U nástroje s drážkou se na povrchu s použitím ofukování neobjevují. Vytrženiny jsou méně zřetelné, avšak objevuje se více vyvýšenin. Vliv ofukování je vidět jen na čistotě povrchu. Z celkového pohledu je povrch vytvářený nástrojem s drážkou jednodušší.

Povrchy č. 45 - 48 jsou vhodné pro glazování.

Fotografie č. 49 - 54 pro zhotovení těchto vzorků bylo použito kruhových destiček. U kruhových destiček bez drážky na hřbetní ploše je povrch jednodušší, avšak obsahuje více vytrženin než povrch vytvořený nástrojem s drážkou. V obou případech je velké množství vrypů, které jsou malé, ale ve velkém množství zastoupeny na povrchu. Malý počet vyvýšenin ve všech případech. Rozdíl v obroběném povrchu nástroje s drážkou a bez drážky není tak markantní jako v některých případech předešlého obrábění čtvercovými destičkami.

Povrch č. 51 nejvhodnější pro glazování z uvedeného souboru.

Z celkového hlediska při pohledu na vliv úhlu hřbetu je takový, že při všech prováděných posuvech a ofukování je rozdíl mezi $\alpha_0 = 15^\circ$ a $\alpha_0 = 8^\circ$ takový, že nástroj s úhlem

hřbetu $\alpha = 15^\circ$ a to s drážkou nebo bez drážky vytváří lepší povrch ocrobku tj. že povrch je vhodný pro glazování.

Při všech posuvech se objevila skutečnost, že s rostoucím úhlem čela se zlepšuje kvalita povrchu, při úpravě nože s drážkou se kvalita povrchu rovná kvalitě povrchu vřtáčího úhlu čela bez úpravy. Tato skutečnost vede k tomu, že se dá docílit stejného povrchu bez nebezpečí zmenšení řezného klínu a snížení trvanlivosti nástroje.

Vliv ofukování nelze dosti dobře posoudit, odstraňuje relativně menší ulpělé částice z povrchu. Z posuzování fotografií a vzorků se zdá jakost povrchu horší při vizuálním pozorování, avšak je nutno vzít v úvahu to, že neofukovaném povrchu ulpívají některé mikročástice, které mohou zanášet vytrženiny a vrypy, což se může při pozorování jevit jako jakostnější povrch. Ale může to mít negativní vliv na následné operace jak je uvedeno v úvodu této kapitoly. Při ofukování vzniká ve všech případech čistší povrch.

5. Závěr

Zadaný úkol pro návrh úpravy nástroje pro obrábění ILK byl zaměřen hlavně na zkvalitnění konečného povrchu vn a vvn izolátorů. Konečný povrch izolátorů v nevypáleném stavu značně ovlivňuje následná technologie a to hlavně konečnou technologií - glazování povrchu.

Proto byla snaha navrhnout řezný nástroj, který by pozitivně ovlivnil jakost obrobeného povrchu v nevypáleném stavu, čímž by se zamezilo vznikajícím poruchám glazury. Zkvalitnění povrchu vede ke snížení nákladů na následné operace a to se projevuje zejména u glazování.

Na jakostnější povrch se může použít menší vrstva glazury k dokonalému pokrytí celého povrchu. Při nekvalitním povrchu se vrstva glazury zvětšuje spolu s drsností povrchu a je větší pravděpodobnost vzniku možného narušení konečného povrchu.

Vady v glazuře mohou vznikat vlivem prohlubní, vyvýšenin nebo vrypů, vzniklých předchozím obráběním. Těmto vadám se chce předejít provedenými úpravami na řezném nástroji tj. ofukováním a drážkou na hřbetní ploše nástroje.

Ofukování jak ukázaly vzorky způsobuje, že povrch je čistší nejsou na něm ulpělé částice, které se uvolňují při obrábění. Zároveň se podařilo odstranit nárůstek, který taktéž negativně působil na obrobenou plochu.

Vliv drážky se projevil v tom, že se zmenšil výskyt vrypů způsobených třením částic o hřbet nástroje a obrobenou plochu.

Nejvýhodnější povrch pro glazování vytváří nástroj s velkým úhlem čela. V našem případě jde o úhel čela $\beta = 40^\circ$.

Nejkvalitnější povrch je při středním posuvu v rozmezí 0,4 - 0,6 mm ot⁻¹. Kvalitní povrch se však objevil i při menších úhlech čela, pokud byla provedena úprava hřbetní plochy nástroje a zvýšil se posuv. Z celkového hlediska získaných výsledků se dá soudit, že nejlepší z navržených nástrojů má geometrii $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 40^\circ$ a to jak z hlediska povrchové jakosti, tak z hlediska řezných sil vznikajících při obrábění.

Závěrem bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce s. Ing. J. Frintovi, konzultantovi E. Doležalovi a pracovníkům VÚEK Hradec Králové, kteří mi vyšli vstříc ochotou, dobrou radou a přispěli při řešení zadaného úkolu.