



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 e

METALOGRAFICKÁ STUDIE POVRCHOVÉ VRSTVY
AL-SLITINY PO OBRÁBĚNÍ VÁLCOVÝM FRÉZOVÁNÍM

KOM - OM - 605

Jiří H o r á k (1963)

Vedoucí práce : ing. Aleš Průšek VŠST Liberec
Konsultant : ing. Ivan Mašina VŠST Liberec

Počet stran: 55
Počet tabulek: 3
Počet obrázků: 21
Počet příloh: 45

V Liberci 2.6. 1989

Vysoká škola: strojírna a textilní

Fakulta: strojírna

Katedra: obrábění a montáže

Školní rok: 1988-89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Jiribu H. ...

obor 21-07-8 strojírna a textilní

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

Název tématu: Metalografická studie povrchové vrstvy slitiny
pro obrábění vložkou frézování

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Charakteristika obráběných materiálů
- 3) Metodika sledování struktury slitiny
- 4) Vzhledové výsledky
- 5) Závěr

STROJNÍ A TEXTILNÍ
Fakulta
Katedra obrábění a montáže
1988

Vysoká škola: strojní a textilní

Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže

Školní rok: 1988-89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jiřího H O R Á K A

pro

23-07-8 strojírenská technologie

obor

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

Název tématu:

Metalografická studie povrchové vrstvy Al slitiny

pro obrábění válcovým frézováním

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Charakteristika obroběných vzorků
- 3) Metodika sledování struktury slitiny
- 4) Vyhodnocení výsledků
- 5) Závěr

V 250/102

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC, CEMENTOVÁ 5
TEL. 481 17

Vysoká škola: strojní a textilní

Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže

Školní rok: 1988-89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Jiřího H O R Á K A

obor 23-07-8 strojírenská technologie

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

Název tématu: Metalografická studie povrchové vrstvy Al slitiny
pro obrábění válcovým frézováním

Zásady pro vypracování:

- 1) Úvod
- 2) Charakteristika obrobených vzorků
- 3) Metodika sledování struktury slitiny
- 4) Vyhodnocení výsledků
- 5) Závěr

V 250/p95

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5
PSČ 461 17

*Střední odborná škola
pro textilní výrobu
Liberec*

KOM/OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 60

Seznam odborné literatury:

Čmahal, J. a kol. Metalografické rezbery a mikroskopické sledování povrchů Al-slitin (Výzkumná zpráva), ČVUT FJFI, Praha 1987
kol.: Vliv podmínek obrábění na stav povrchu při čelním a válcovém frézování Al slitin /Výzkumná zpráva/, VŠST FS, Liberec 1987

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Průšek VŠST

Konsultant : Ing. Ivan Mašín VŠST

Datum zadání diplomové práce: 16.5.1988

Termín odevzdání diplomové práce: 2.6.1989



Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.
Vedoucí katedry

Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.
Děkan

v Liberci dne 16. 5. 1988

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

V Liberci, dne 2. 6. 1989

Jaroslav Štěrba
.....

O B S A H

Seznam použitých symbolů zkratek	6
1. ÚVOD	8
2. ZÁKLADNÍ POZNATKY O HLINÍKU A JEHO SLITINÁCH	10
2.1 Hliník	10
2.2 Základní údaje o Al-slutinách	11
2.3 Hodnocení slitin hliníku	11
2.4 Obrobitelnost slitin hliníku	11
3. TEORIE OBRÁBĚNÍ	13
3.1 Schema tvorby třísky podle Brixe	13
3.2 Schema tvorby třísky podle Glebova	13
3.3 Schema tvorby třísky podle Merchanta	14
3.4 Schema tvorby třísky podle Usačeva	15
3.5 Druhy třísek	16
4. PROCESY UTVÁŘENÍ TRÍSEK	17
4.1 Pružné a plastické deformace	17
4.2 Hypotézy plasticity	18
4.3 Mechanika tvorby třísky	18
4.4 Primární plastická deformace	22
4.5 Důsledky primární plastické deformace	23
4.6 Sekundární plastická deformace	27
4.7 Důsledky sekundární plastické deformace	27
4.8 Vliv nárůstku na proces řezání	29
4.9 Deformace obrobené plochy	30
4.10 Zbytková pnutí po obrábění	31
5. METODY EXPERIMENTÁLNÍHO STUDIA DEFORMACÍ PŘI OBRÁBĚNÍ	32
5.1 Posouzení charakteru a intenzity deformace	32
5.2 Studium ukončených změn	32
6. METALOGRAFICKÉ ZKOUMÁNÍ VZORKŮ	34

6.1	Obecná příprava vzorků	34
6.2	Leptadla	34
6.3	Optický systém metalografického světelného mikroskopu	35
6.4	Dosavadní poznatky metalografických rozborů Al-slitin	37
7.	HODNOCENÍ POVRCHOVÝCH VRSTEV	39
7.1	Material vzorku	39
7.2	Způsob obrábění zkoumaných vzorků	39
7.3	Řezné podmínky	41
7.4	Zamezení odbroušení povrchové vrstvy	42
7.5	Metodika vlastní přípravy vzorků	42
7.6	Zpevnění	43
7.7	Zbytkové napětí	44
7.8	Hodnocení metalografických výbrusů	44
8.	STUDIUM KOŘENE TŘÍSKY	46
8.1	Přerušovač řezu	46
8.2	Obráběcí stroj	47
8.3	Obráběcí nástroj	47
8.4	Řezné podmínky	48
8.5	Příprava kořene třísky pro studium mikrozměn	49
8.6	Metalografické studium kořene třísky	50
8.7	Hodnocení studia kořene třísky	50
8.7.1	Intenzita deformace v oblasti I	50
8.7.2	Intenzita a hloubka deformace v oblasti III	51
8.7.3	Úhel textury	51
9.	ZÁVĚR	52
	Použitá literatura	54

SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkres nástroje pro přerušovač řezu 4-KOM-OM-186-01
2. Výkres vzorku pro získání kořene třísky 4-KOM-OM-186-02

3. - 18. Fotografie mikrostruktur pro hodnocení povrchových
vrstev

19. - 36. Fotografie mikrostruktur kořene třísky

37. - 45. Měřené hodnoty mikrotvrdosti kořene třísky

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

- τ - smykové napětí /MPa/
 τ_k - mez kluzu materialu /MPa/
 σ_{ot} - dovolené napětí v tahu /MPa/
 μ_c - úhel tření / °/
 μ_n - úhel tření na hřbetě / °/
 γ_r - poměrné posunutí
 δ_n - úhel řezu / °/
 ρ_n - poloměr ostří /mm/
 K_S - příčný součinitel pýchování třísky
 K_l - podélný součinitel pýchování třísky
 l_1 - délka třísky před pýchováním /mm/
 l - " " po " /mm/
 b_1 - šířka třísky před pýchováním /mm/
 b - " " po " /mm/
 a_1 - tloušťka třísky před pýchováním /mm/
 a - " " po " /mm/
 δ_{sk} - skutečný úhel řezu / °/
 β_1 - úhel hranice deformované oblasti / °/
 β_0 - úhel střižné roviny / °/
 β - měřený úhel textury / °/
 γ - úhel čela / °/
 α - úhel hřbetu / °/
 ψ - úhel příčné textury / °/
 ρ - poloměr zaoblení špičky /mm/
 v - rychlost /m.min⁻¹/
 s - posuv /mm.ot⁻¹/
 h - hloubka řezu /mm/
 v_K - rychlost odchodu třísky /m.min⁻¹/

λ_0 - úhel sklonu ostří / ° /
A - numerická apertura
 $Z_{už}$ - užitečné zvětšení
d - nejmenší vzdálenost dvou objektivem rozlišitelných bodů
 d_{oka} - " " " lidským okem " "
KOM - katedra obrábění a montáže
PMT - 3 - typ mikrotvrdoměru

1. ÚVOD

XVII. sjezd KSČ vytyčil hlavní cíle programu urychlení hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986 - 90 s výhledem do roku 2000. Na sjezdu bylo zdůrazněno, že pro dosažení cílů je nutné zvýšit národní důchod o dvě třetiny a osobní spotřebu obyvatelstva o jednu polovinu.

To vše předpokládá splnění zvýšených nároků na pracovní aktivitu všech pracujících naší společnosti, což by se mělo projevit zvýšenou poptávkou po našich výrobcích nejen na našem, ale i zahraničním trhu. Jde o to nejen vyrobit kvalitní výrobek na světové úrovni, ale nabídnout ho spotřebiteli za pro něj výhodnou cenu. Tato cena je mimo jiné určována spotřebou energie a materialu. Naše surovinová i energetická náročnost je oproti světovému průměru vyspělých států stále velmi vysoká. Proto je velká pozornost věnována zvyšování efektivity využití zdrojů energie a surovin. Energetická a materialová náročnost se má v příštích letech snížit o 40 až 50 %. V praxi to znamená urychlení vědeckotechnického rozvoje z vlastních zdrojů a na základě mezinárodní spolupráce hlavně se socialistickými státy. Je nutná modernizace výrobně technické základny československé ekonomiky. Je nezbytný přechod k novým moderním technologiím.

Ve strojírenství však bude mít třískové obrábění v technologických postupech stále své významné místo. Je tedy nutné se vzrůstající úrovni nové techniky prozkoumat nejoptimálnější řezné podmínky z hlediska dosažení vysoké spolehlivosti a kvality výrobků. To se týká i materiálů z hliníkových slitin, neboť tento materiál patří mezi významné konstrukční prvky i v tak náročném průmyslu jako je letecký. Je to pro jeho výhodné fyzi-

kální, chemické a mechanické vlastnosti při přijatelné ceně.

VŠST v Liberci byl zadán výzkumný úkol č. III - 1 - 6/1-02. Tento úkol se zabývá vlivem podmínek obrábění na stav povrchu při čelním a válcovém frézování Al - slitin a čelním frézováním a broušením Ti - slitin. Tato diplomová práce se zabývá částí tohoto úkolu při zkoumání povrchových vrstev obráběných válcovým frézováním.

2. ZÁKLADNÍ POZNATKY O HLINÍKU A JEHO SLITINÁCH

Hliník je jeden z nejvíce používaných neželezných kovů. Jeho slitiny jsou používány jako konstrukční lehký prvek v letecké technice, v automobilovém průmyslu, elektrotechnice, stavebnictví i spotřebním průmyslu.

Spotřeba hliníku ve světě roste, což je dáno chemickými a fyzikálními vlastnostmi. V přírodě se vyskytuje ve sloučeninách a je třetím nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře. Vyrábí se například elektrolýzou oxidu hlinitého rozpuštěného v roztaženém kryolitu $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{H}$. Základní surovinou je bauxit. Nevýhodou výroby je velká spotřeba elektrické energie 20 kWh/kg, což znamená zvýšení ceny.

2.1 Hliník

Hliník je nepolymorfní kov bílé barvy o měrné hmotnosti $2,69 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$. Krystaluje v soustavě krychlové plošně středěné. Teplota tání je $660 \text{ }^\circ\text{C}$. Tepelná vodivost je za teploty $20 \text{ }^\circ\text{C}$ $222 \text{ J}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Mechanické vlastnosti hliníku závisí na čistotě zpracování. Tvářením za studena lze čistý hliník zpevnit na 160 až 200 MPa. Čistý hliník je velmi špatně slévateľný, avšak velmi dobře tvárný za tepla. /13/

Mechanické vlastnosti hliníku ovlivňuje nejen čistota kovu, ale také způsob předchozího zpracování, jehož výsledkem je různá velikost zrna. U jemnozrného materialu nacházíme podobně jako u jiných kovů vyšší pevnost a tvrdost než u hliníku hrubozrného. Je proto snaha vyrábět hliník s jemným zrnem.

2.2 Základní údaje o Al - slitinách

Vlastnosti hliníku je možno zlepšit přísadami dalších prvků. Z přísad, které se vyskytují ve slitinách hliníku jsou významné Cu, Mg, Mn, Si a Zn.

Al- slitiny se používají ve stavu tvářeném nebo litém, tepelně zpracované i nezpracované. Mají také na rozdíl od čistého hliníku podstatně lepší mechanické vlastnosti, což vede k jeho širšímu používání.

2.3 Hodnocení slitin hliníku

Obvykle se slitiny hliníku dělí do dvou základních skupin. Na slitiny pro tváření a na slitiny k odlévání. Společné pro obě skupiny je, že se v obou skupinách objevují stejné přísadové prvky. Některé slitiny, které stojí na hranici mezi oběmi skupinami je možné použít jak pro tváření, tak pro odlévání.

Základní binární slitiny jsou soustavy Al - Cu, Al - Mg, Al - Mn, Al - Zn a Al - Si. V těchto soustavách tvoří hliník s příslušnými komponenty substituční tuhý roztok α , který je při dobré tvárnosti a houževnatosti, pevnější a tvrdší než čistý hliník. V praxi jsou potom nejčastěji používány tyto slitiny : Al - Cu - Mg, Al - Zn - Mg, Al - Mg - Si.

2.4 Obrobitelnost slitin hliníku

Pojem obrobitelnosti vyjadřuje míru schopnosti materialu být opracován obráběním. Obrobitelnost Al-slitin závisí na jejich chemickém složení, způsobu zpracování polotovaru / tažení, kování, slévání /, u některých také na tepelném zpracování.

Z legovačích přísad zlepšující obrobiteľnosť hliníku - Cu, Mg, Mn, Zn, Ni, Cr, V, zhoršuje ju Si.

Z hľadiska chemického zloženia je možno slitiny hliníku rozdeliť podľa stupňa obrobiteľnosti do troch skupín :

a/ najľahšie obrobiteľné sú slitiny hliníku : Al - Cu, Al - Mg, Al - Cu - Mg / dural /, Al - Cu - Zn - Mn.

b/ ľahšie obrobiteľné sú slitiny hliníku : Al - Si, Al - Si - Cu, / Si 5 % /

c/ najťažšie obrobiteľné sú slitiny hliníku : Al - Si / až 12 % /, slitiny s prísadou Ni, Fe, Mn, Co, Cu, Mg.

Z hľadiska mikroštruktúry zlepšujú obrobiteľnosť prvky, ktoré tvoria s hliníkom tuhý roztok, ale iba do určitého obsahu, a potom vytvárajú mäkké a krehké zlúčeniny ako Mg_2Al_3 , $TiAl_3$, prípadne eutektikum, ako je vizmut. Tvrdá eutektika s prvky Si, Mn majú na obrobiteľnosť veľmi negatívny vplyv.

Rozdielnosť v obrobiteľnosti týchto troch slitín lze charakterizovať indexom pomerné obrobiteľnosti tak, že má-li u tvárnych materiálov prvá skupina hodnotu 1, je u druhej skupiny hodnota 0,67 a u tretej hodnota 0,25.

Vzhľadom k veľkému počtu činiteľov, ktoré ovplyvňujú stupeň obrobiteľnosti, majú materiály rovnakého chemického zloženia vyrobené u rôznych výrobcov, prípadne z rôznych tavieb rôznou obrobiteľnosť. Príčinou môže byť rôzny obsah nečistôt ako napr. oxidov, nitridov alebo rôzny spôsob tepelného spracovania - vplyv na štruktúru.

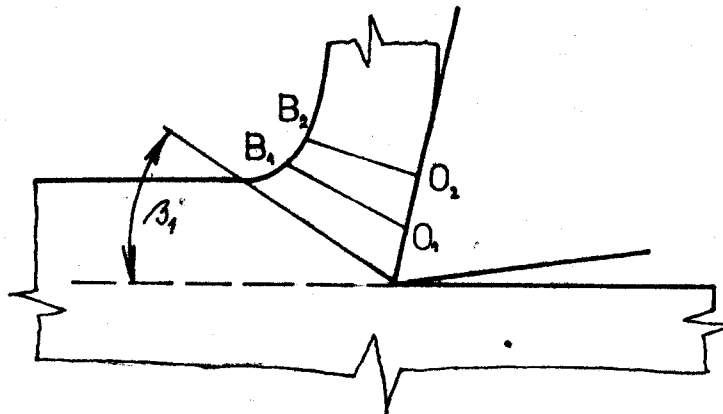
3. TEORIE OBRÁBĚNÍ

Tříška je charakteristickým znakem obrábění. Na její vznik bylo vypracováno mnoho teorií. Ty popisují mechanismus tvorby třísky v jedné střižné rovině.

3.1 Schema tvorby třísky podle Brixe

Tříška se tvoří periodickým posouváním tenčích vrstev ve směru úhlu β_1 , tj, podél roviny smyku AB. Přitom se částice příčně stlačují a získávají klíovitý tvar. /obr.1/

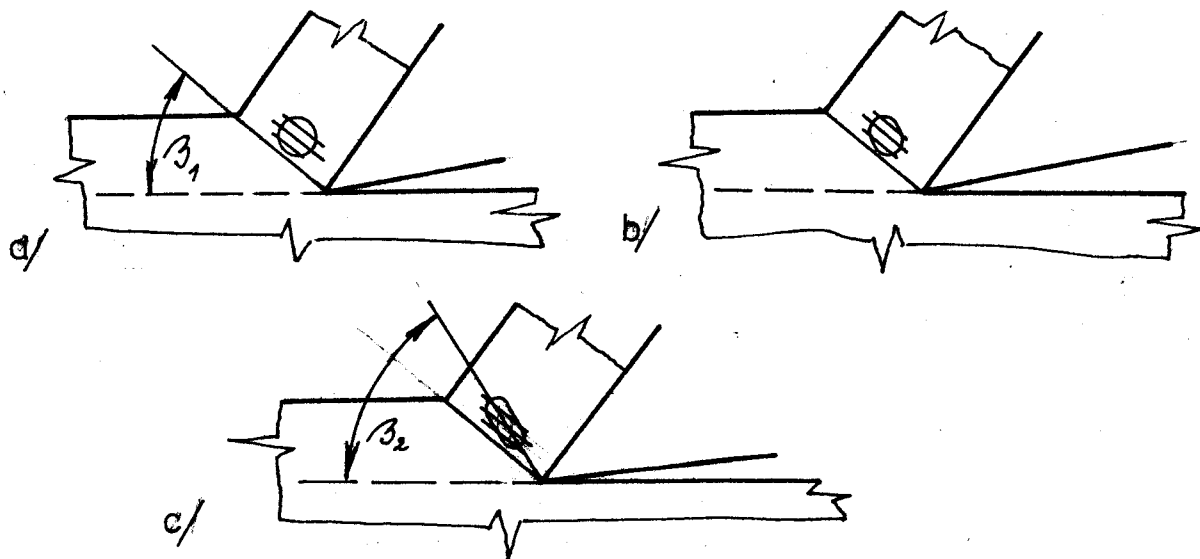
/7/



Obr. 1 Schema tvorby třísky podle Brixe

3.2 Schema tvorby třísky podle Glebova

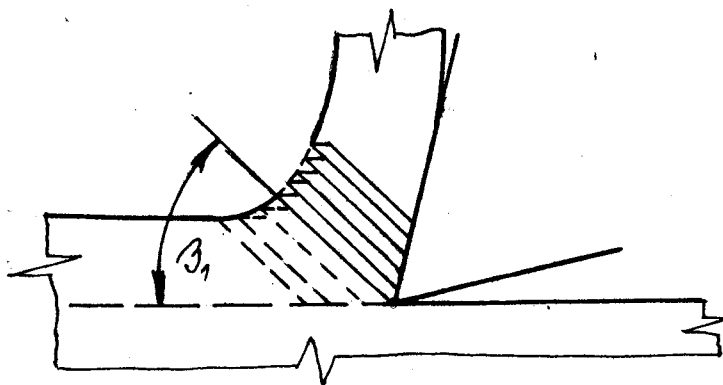
Mechanismus deformace při obrábění je založen na potočení zrn materialu v důsledku většího množství skluzů v mikroskopických tenkých vrstvách zrn ve směru pod úhlem β_1 . V důsledku toho se osa protáhnutých zrn ustálí pod úhlem β_2 . /obr. 2/. /7/



Obr. 2 Schema tvorby třísky podle Glebova

3.3 Schema tvorby třísky podle Merchanta

Podle této teorie se částice materialu posouvají ve směru β_1 ve formě tenkých plátek /obr. 3 /.

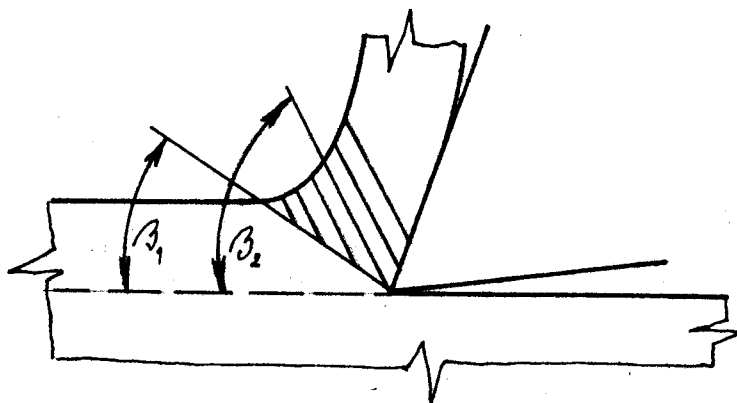


Obr. 3 Schema tvorby třísky podle Merchanta

Tato teorie vyvolává mnoho námitek. Udává se například, že nízké vrstvy materialu v třísce nemohou být posunuté relativně k základní hmotě materialu, protože jejich smyková pevnost / už deformovaného materialu / je vyšší než tlaková pevnost. Dále se namítá, že příčné stlačení je vyločené, protože odpor proti deformaci už deformovaného materialu je vyšší než u základního nedeformovaného. /7/

3.4 Schema tvorby třísky podle Usačeva

Objasňuje tvorbu plynulé třísky. Podle této teorie vznikají plastická posunutí v celé přechodné oblasti. Nepochybují však pod úhlem β_1 , ale pod úhlem β_2 / obr. 4 /.



Obr. 4 Schema tvorby třísky podle Usačeva

Schema určuje směr orientace textury třísky. Výzkumy ukázaly, že u plynulých třísek nejsou jiná posunutí kromě posunutí ve směru β_2 .

Po důkladném objasnění stavu povrchových vrstev a mechanismu plastické deformace při obrábění musíme vycházet z nových představ založených na výzkumu jevů, které probíhají v oblasti kořene třísky a v bezprostřední blízkosti aktivních ploch nástroje čela a hřbetu. Moderní představy o tvorbě třísky předpokládají obtékání řezného klínu obráběným materiálem. Při tomto procesu část materialu třísky u čela nástroje zaznamenává vysoký stupeň deformace. /7/

3.5 Druhy třísek

Podle způsobu oddělování třísky v odřezávané rovině obráběného materialu vznikají dva základní druhy třísek :

1. netvářená tříska - vzniká lomem, štěpením, vytržením bez předchozí plastické deformace /u křehkých látek /.

2. tvářená tříska - vlivem zatížení /tlaku/ dojde k plastické deformaci odřezávané vrstvy materialu, dochází ke tváření. Dle tloušťky odebírané vrstvy, vlastností obráběného materialu a rychlosti nástroje dělíme tvářené třísky na :

a/ plynulé - u materialu s výraznou deformační schopností, struktura je v celém objemu stejnorodá a rovnoměrná. Tvorba třísky musí probíhat bez chvění.

b/ člankovité - s deformací klesá pevnost materialu ve střižné rovině, struktura je nestejnorodá, vznik chvění vede ke kolísání tloušťky třísky.

c/ elementární - tříska je tvořena z jednotlivých částí, které vzniknou usmykáním a potom se znovu částečně spojí svařením. Element třísky se odděluje v místě největší deformace.

4. PROCESY UTVÁŘENÍ TRÍSEK

4.1 Pružné a plastické deformace

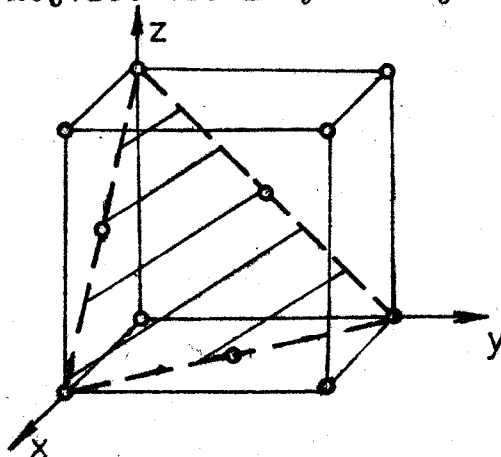
K pochopení podstaty řezání kovů je potřeba znát základní zákonitosti stavby materialu. Tzv. strukturu kovu, která představuje způsob přesného uspořádání částic, z nichž se kov skládá / atomy, molekuly / a způsob jejich seskupování ve větší celky, zvané krystaly.

U pružných deformací nastávají jen pružné přechodné změny meziatomových vzdáleností a jsou charakterizovány tím, že jejich velikost je přímo úměrná zatížení / Hookův zákon /.

Při plastické deformaci se vzájemně posouvají atomové roviny - objem přetvořeného krystalu se nemění.

Třetí typ deformace je deformace křehká nebo-li rozrušivá. Zde se porušuje celistvost tělesa po tvoření mikroskopických trhlinek, dochází k oddělování částic materialu.

Posun / skluz / při plastických deformacích se děje v nejhustěji obsazených rovinách a směrech v krystalové mřížce. U plošně centrované kubické mřížky / Al / dochází k deformacím v krystalografických rovinách (111) . Existují čtyři roviny / procházejí nejvíce vzdálenými rohy krychle / obr. 7.



Obr. 7 Rovina kluzu v krystalové mřížce Al

4.2 Hypotézy plasticity

Podle hypotéz teorie plasticity nastane porušení tvárného materialu účinkem maximálního smykového napětí τ , jež dosáhne při určitém zatížení hodnoty kluzové. Pro zjednodušení předpokládáme, že material je bez zpevnění ve stavu rovinné napjatosti. Smykové napětí dosáhne hodnoty kluzového napětí $\tau = \tau_k$ v rovinách hlavního smykového napětí. Podle třetí a čtvrté teorie pevnosti platí/4/ :

$$\tau = \tau_k = \frac{\sigma_{pb}}{2} = 0,5 \sigma_{pb}$$

$$\tau = \tau_k = \frac{\sigma_{pb}}{\sqrt{3}} = 0,57 \sigma_{pb}$$

kde τ_k je mez kluzu materialu

σ_{pb} je dovolené napětí v tahu

Křivky kluzu mohou tvořit vzájemně kolmé přímky nebo kružnice a k nim kolmé poloměry. Sít křivek kluzu splňující podmínku rovnováhy a plasticity musí splňovat tyto hlavní požadavky :

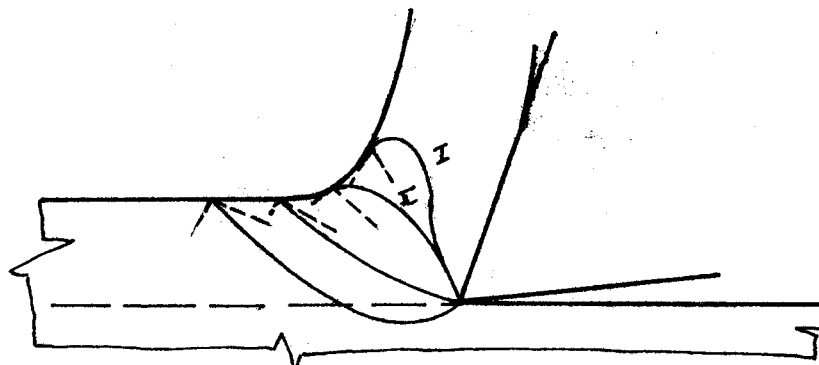
1. křivky kluzu musí být spojité
2. obě soustavy křivek musí být ortogonální
3. křivky kluzu jsou skloněny pod úhlem 45° ke směru hlavních normálních napětí
4. křivky kluzu procházejí přes dotykovou plochu bez tření pod úhlem 45° /4/.

4.3 Mechanika tvorby třísky

Teorie obrábění se snažila už od svých počátků určit základní závislosti mezi geometrií nástroje, řeznými silami a řeznými podmínkami při procesu obrábění.

Při tvorbě třísky u obrábění kovů probíhají obdobné deformační pochody uvnitř odřezávaného materialu, jako při tváření kovů. Relativní pohyb nástroje vzhledem k obrobku vyvolává v odřezávané vrstvě materialu vznik a růst napětí. Při překročení meze úměrnosti materialu se kov trvale deformuje v oblasti působení řezných sil./4/

Jakmile velikost smykového napětí v odřezávané vrstvě materialu dostoupí meze kluzu, dojde k porušení materialu posuvem elementárních částic ve směru křivek kluzu, vytvářejících soustavu křivek, vějířovitě vycházejících ze špičky nástroje /obr.8/

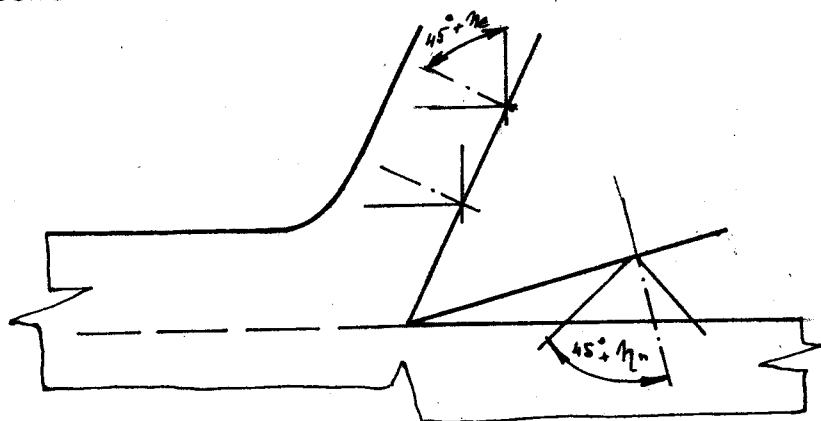


Obr.8 Schematické zobrazení křivek kluzu v oblasti tvorby třísky

Na směr i tvar křivek kluzu má vliv rovnoběžnost protějších povrchů materialu v oblasti tvorby třísky a velikost tření materialu odcházející třísky na čele nože a tření hřbetu nože po ploše řezu. Takto vznikající doplňkové napětí odklání původní směry křivek kluzu o velikost úhlu tření η_e , respektive úhlu tření na hřbetě η_n /obr. 9/.

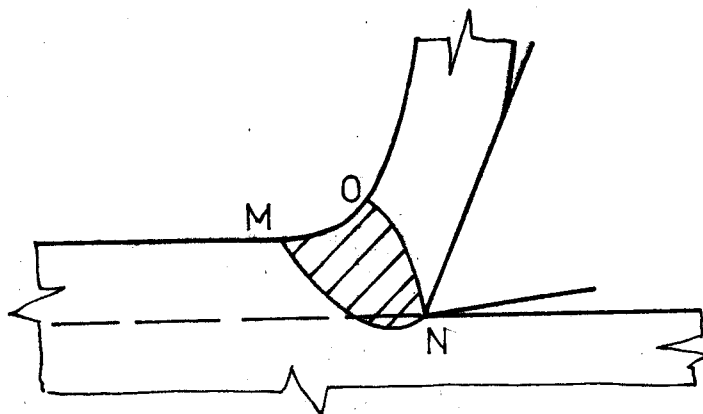
Jelikož ke kluzu dochází především podle křivek I /obr. 8/ a protože při běžných řezných podmínkách probíhají plastické deformace v úzké vrstvě materialu, lze považovat hodnotu poměrného posunutí γ_τ s dostatečnou přesností za hodnotu intenzity

plastické deformace.



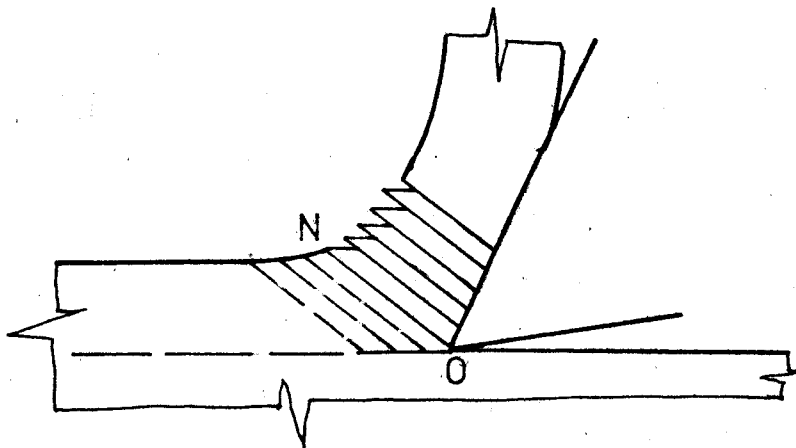
Obr. 9 Vliv úhlu tření η_e a η_n na průběh křivek kluzu.

Plastickou deformací vzniká v oblasti OMN /obr. 10/ smykové napětí, které se zvětšuje ve směru plochy ON, v níž dosahuje maximální kritické velikosti, t.j. meze pevnosti ve smyku. V důsledku vzniklého napětí dochází v oblasti kluzové plochy ON ke kluzovému posuvu určitého objemu materialu - vytváří se element třísky /3/.



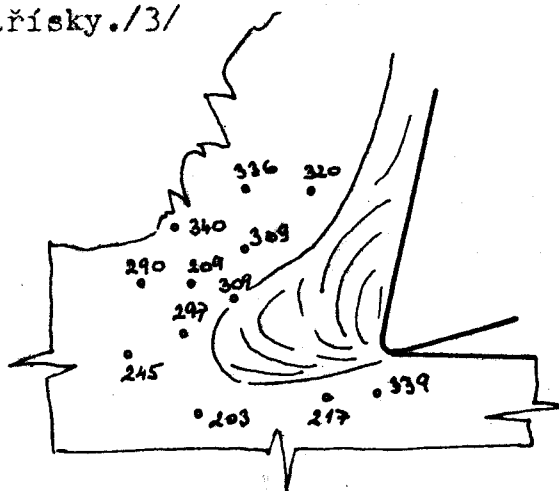
Obr. 10 Oblast plastické deformace v odřezávané vrstvě materialu

Zjednodušené schéma tvoření třísky, skládající se z jednotlivých elementárních částic, je naznačeno na obr. 11, kde je smyková plocha nahrazena smykovou rovinou. /3/



Obr. 11 Mechanika tvorby třísky.

Material v odřezávané vrstvě materialu se plastickou deformací zpevňuje, zvyšuje se jeho pevnost a tvrdost/ obr. 12/. Takže tvrdost materialu třísky je o 50 až 100 % vyšší než material obrobku. Vyšší je rovněž pevnost ve smyku materialu ve smykové rovině ON, v níž dochází ke kluzovým posuvům jednotlivých elementů třísky./3/



Obr. 12 Zvýšení tvrdosti materialu obrobku v oblasti řezání.

Stupeň zpevnění materialu v odřezávané vrstvě závisí na fyzikálních vlastnostech materialu obrobku, na jeho mikrostruktuře, na úhlu řezu δ_n a poloměru ostří r_N , dále na řezné rychlosti a tloušťce třísky. Se zvyšující se plasticitou materialu a jeho

zpevnovací schopností se intenzita plastické deformace zvyšuje. S rostoucí řeznou rychlostí se oblast plastické deformace OMN / obr. 10/ zmenšuje a snižuje se stupeň zpevnění. Se zvětšujícím se úhlem řezu δ_n a zmenšující se tloušťkou třísky se stupeň zpevnění zvětšuje.

Plastická deformace k níž dochází v odřezávané vrstvě materialu obrobku před jeho transformací v třísku, kterou označujeme jako primární plastickou deformaci, pokračuje dále v materialu třísky, jenž přiléhá k čelu břitu. Odcházející tříska má na styčné ploše s čelem řádově 10^2 °C a na její styčnou plochu s čelem působí tlaky $10^2 - 10^4$ MPa. V důsledku toho dochází v této vrstvě materialu k tzv. sekundární plastické deformaci, jejímž důsledkem je další zvýšení pevnosti a tvrdosti v této části třísky. /3/

Terciální plastická deformace vzniká v povrchové vrstvě plochy řezu - respektive obrobeké plochy. Vzniká stykem mezi hřbetem nástroje a obrobekou plochou v důsledku stlačování určitého malého objemu materialu z odřezávané vrstvy pod ostří nástroje. /8/

4.4 Primární plastická deformace

Na obrázku č. 10 je experimentálně stanovený tvar oblasti primární plastické deformace, který předchází vzniku jednotlivých elementů třísky. Pro slitiny hliníku je typická tříska plynulá nebo člankovitá. Hranice této oblasti / OM a O'N / jsou křivky.

Při teoretickém studiu primárních plastických deformací při řezání sledujeme :

1. způsob zatěžování a druh vznikání deformace

2. tvar a velikost deformovaného objemu, tj, oblasti OMNO'
3. intenzitu proběhlé deformace a deformační rychlosti/2/

4.5 Důsledky primární plastické deformace

Plastické primární deformace probíhají v oblasti OMNO' a mají za následek nejen transformaci odřezávané vrstvy v třísku, ale i změnu jejich rozměrů a vnitřní stavby. Průřez třísky $/S_1 = a_1 \cdot b_1 /$ je totiž vždy větší než průřez odřezávané vrstvy $/S = a \cdot b /$ a délka třísky l_1 je menší než odpovídající dráha nástroje l . Tato skutečnost je vyjádřena tzv. součinitelem přechování třísky K_S respektive K_1 , který je definován :

$$K_S = \frac{S_1}{S} > 1 \qquad K_1 = \frac{l_1}{l} > 1 \qquad /2/$$

kde K_S je příčný součinitel přechování

K_1 je podélný součinitel přechování

při zachování stálého objemu platí :

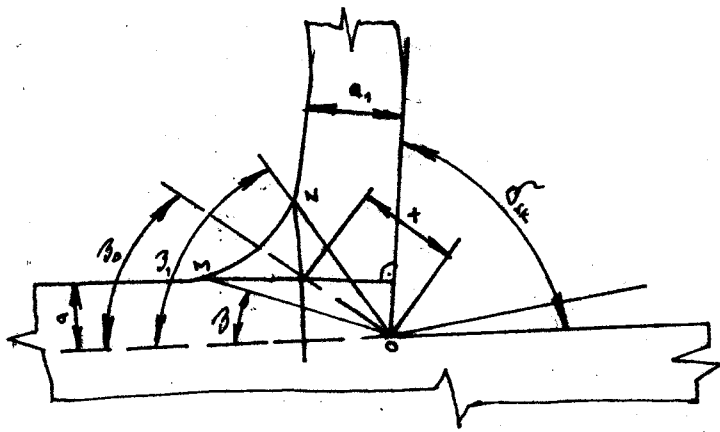
$$a_1 \cdot b_1 \cdot l_1 = a \cdot b \cdot l$$

$$\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b} = \frac{l}{l_1} \Rightarrow K_S = K_1$$

protože šířka b se mění velmi málo $/b_1 = b /$, může se součinitel příčného přechování vyjádřit jako poměr tloušťky třísky k tloušťce odřezávané vrstvy :

$$K = K_S = K_2 = \frac{a_1}{a}$$

Mezi součinitelem přechování a již uvedeným kritériem pro intenzitu plastické deformace ρ existuje jednoznačný vztah, který lze odvodit z obr. 13.



Obr. 13 Odvozené závislosti $K = f/\gamma/$

$$K = \frac{\sin / \beta + \delta /}{\sin \beta} \quad /2/$$

dalším odvozením z obr. 13 a na základě rovnice :

$$\gamma_{\text{ION}} = \cotg \beta \cdot \cotg / \beta + \delta /$$

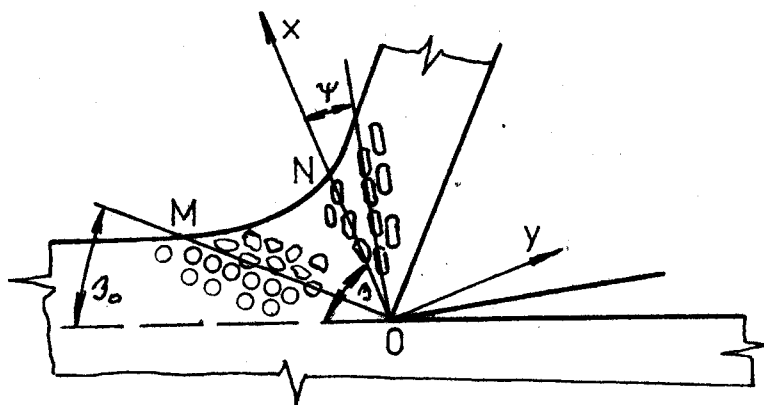
dostaneme :

$$\gamma = \frac{K^2 - 2K \cdot \cos \delta + 1}{K \cdot \sin \delta} \quad /2/$$

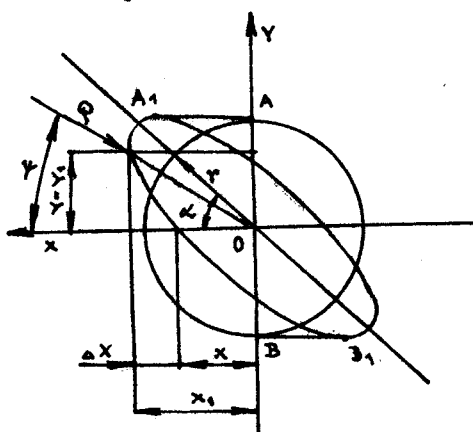
Z rovnice lze vyčíst, že s rostoucí intenzitou kluzu roste i součinitel pýchování třísky K. Na základě tohoto velikost K poslouží jako kritérium pro intenzitu primární plastické deformace při obrábění. Výhodou tohoto kritéria je poměrně rychlý a jednodušší způsob jeho experimentálního stanovení. Naproti tomu je součinitel pýchování jen přibližnou hodnotou a je pouze pro relativní studium.

Velikost součinitele pýchování ovlivňují faktory, které také působí na β_0 , β a γ . Jsou to δ , v , a , režného prostředí a obráběného materialu na tento součinitel.

Kromě změny vnějšího tvaru způsobuje primární plastická deformace i změnu textury odřezávané vrstvy obr. 14 /2/.



Obr. 14 Textura třísky.



Obr. 15 Výpočet úhlu ψ .

Výpočet úhlu ψ dle Zoreva, který dospěl k logickému výrazu pro výpočet úhlu ψ na základě předpokladu o postupně se zvyšující deformaci zrna v oblasti OMNO'. Zrno kruhového průřezu přitom následkem kluzové deformace nabývá tvaru elipsy. Směr větší poloosy této elipsy udává směr tzv. příčné textury třísky /2/.

Z obr. 15 vyplývá :

$$x_1 = x + \Delta x \quad \psi = \frac{\Delta s}{r}$$

$$y_1 = y \quad \psi = \frac{\Delta x}{y}$$

$$\Delta x = \gamma \cdot y \quad x_1 = x + \gamma \cdot y$$

při použití polárních souřadnic r a α se středem v 0 dostaneme :

$$x = r \cdot \cos \alpha \quad y = r \cdot \sin \alpha$$

pro stanovení křivky, která vznikne kluzovou deformací kružnice v polárních souřadnicích ρ a ψ :

$$\rho^2 = x_1^2 + y_1^2 \quad \rho^2 = / x + \gamma \cdot y /^2 + y^2$$

$$\rho^2 = / r \cdot \cos \alpha + \gamma \cdot r \cdot \sin \alpha /^2 + r^2 \cdot \sin^2 \alpha \quad - \text{ rovnice elipsy /1/}$$

směr delší poloosy :

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{y_1}{x_1} \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{y}{x + \gamma \cdot y} \quad \frac{x}{y} = \operatorname{cotg} \alpha$$

$$\operatorname{cotg} \psi = \operatorname{cotg} \alpha + \gamma \quad /2/$$

po nahrazení úhlu α poměrným kluzem, derivací rovnice /1/ a přirovnáním $\frac{d\rho}{d\alpha} = 0$ dostaneme :

$$\gamma = - 2 \cdot \operatorname{cotg} 2\alpha$$

po dosazení do /2/ :

$$\operatorname{cotg} \psi = \frac{\gamma}{2} + \sqrt{1 + \frac{\gamma^2}{4}}$$

kde ψ je funkcí deformace.

Konečný Zorevův vztah ukazuje na to, že rozdíl mezi směrem maximální kluzové deformace a maximálním protažením zrna je funkcí intenzity deformace, která předchází vzniku elementu třísky. Čím větší je γ , tím menší je $\psi = \beta_2 - \beta_1$, tj. směr příčné textury se blíží ke směru maximálních tečných napětí a

kluzové deformace. /2/ Ostatní teorie a výpočty toto potvrzují.

4.6 Sekundární plastická deformace

Tříška vytvořená sekundární plastickou deformací odchází po čele nástroje a v největší části svého objemu se již prakticky nedeformuje. Tato tříška má teplotu řádově 10^2 °C a na její styčnou plochu s čelem působí tlaky $10^2 - 10^4$ MPa.

Mezi tříškou a čelem nástroje dochází ke tření. Třecí síla je přitom výslednicí dvou složek :

1. síly překonávající mechanické překážky / mikronerovnosti povrchu /

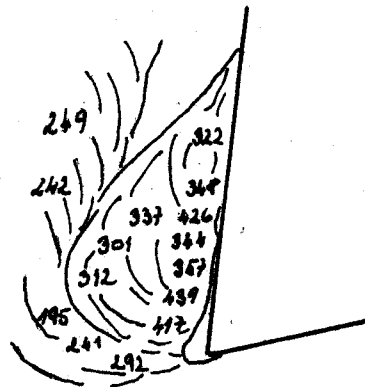
2. síly překonávající adhezi mezi materiálem třísky a materiálem nástroje. /2/

Na začátku se styk třísky s čelem uskutečňuje jen po vrcholcích mikronerovností čela nástroje. Vysoké teploty a tlaky však krátce po začátku styku umožňují místní plastickou deformaci těchto vrcholků. Při této deformaci popraskají vrstvy oxidů na povrchu nástroje. Tím vzniká kontakt čistých kovových ploch, při němž se výrazně uplatní adhezní síly a dochází k místnímu navařování za studena mezi tříškou a nástrojem. Další pohyb třísky proti nástroji může nastat jen za současného rozrušování těchto svarů. Při velké pevnosti svarů to znamená výrazné stoupanutí tečných sil na čele a zvýšení tečných napětí v přiléhajících vrstvách třísky a nástroje. Tato tečná napětí zpravidla přesahují hodnotu τ_K / pevnosti kluzu / zpevněného materialu třísky, čímž dochází k sekundární plastické deformaci.

4.7 Důsledky sekundární plastické deformace

Sekundární plastická deformace vede k dalšímu zvyšování

napětí, čímž se překročí kohezivní pevnost / vnitřní rozrušení materialu třísky /. Sekundárně deformovaná vrstva nedo její část přitom zůstává navařena na nástroji. Tuto vrstvu nazýváme nárůstek, který vzniká intenzivní plastickou deformací. Je pevně spojený s břitem nástroje a vyznačuje se vysokou pevností a tvrdostí / je 2x - 3x vyšší než tvrdost materialu třísky / obr. 16.



Obr. 16 Mikrotvrdość / Vickers / jednotlivých míst nárůstku/2/

MATERIAL : ocel o pevnosti 530 MPa

$$v = 10 \text{ m.min}^{-1}$$

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

$$h = 3 \text{ mm}$$

Nárůstek

Nárůstek je schopný řezat a přebírá po dobu své stability funkci břitu. Další tření, sekundární deformace a rozrušení probíhají již ve vrstvě třísky přiléhající k čelu nárůstku tj. za podmínek vnitřního tření. V procesu tvorby nárůstku rozeznáváme v blízkosti ostří dvě oblasti :

1. oblast = plného váznutí A - vlastní nárůstek
2. oblast = poměrného váznutí

V oblasti 1. se kov proti nástroji nepohybuje je na něj navařen.
V oblasti 2. se rychlost pohybu mění od nuly až na rychlost
odchodu třísky v_k . /2/

Prvním předpokladem pro vznik nárůstku, ať už sekundární deformací, nebo navařením vznikoucí oblasti, je existence čistého kovového styku nástroje a obrobku, jejich schopnost adhezivního svařování. Druhou podmínkou je dobrá zpevňovací schopnost materialu. Na tvorbu nárůstku působí tedy tyto vlivy :

1. Chemické složení , krystalická stavba a stav povrchů obou materiálů
2. Teplota styčných ploch
3. Rozložení napětí na styčné ploše
4. Řezné podmínky /2/

4.8 Vliv nárůstku na proces řezání

Existence nárůstku na břitu nástroje ovlivňuje proces řezání. Zmenšení úhlu δ_{sk} má za následek zúžení oblasti OMNO', menší intenzitu primární plastické deformace.

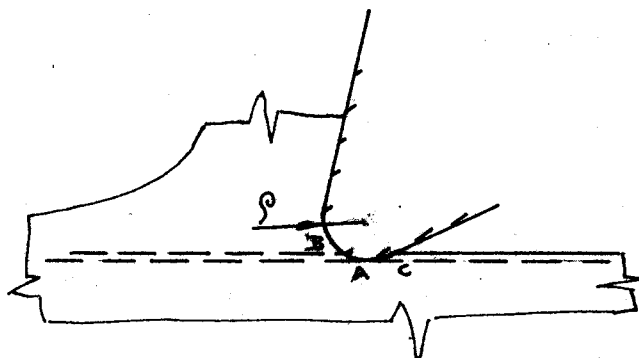
Stabilní část nárůstku chrání břit před mechanickými a tepelnými účinky třísky a plochy řezu. Tím po dobu stability snižuje otěr čela a hřbetu nástroje. Tvorba nárůstku však může výsledné otupení nástroje někdy zvýšit. Je to tím, že při rozrušování nárůstku nebo jeho části dochází k vyštípení ostří. Mimo tohoto se při tvorbě nárůstku otírá špička a vedlejší hřbet abrazivním účinkem částic nárůstku.

Jednoznačně negativní je vliv nárůstku na kvalitu obrobenej plochy. Zvyšuje se drsnost povrchu. Periodické rozrušování a tvorba nárůstku vede ke změně a kolísání řezné síly, což může

způsobit rozkmitání soustavy stroj - nástroj - obrobek. /2/

4.9 Deformace obrobeneho povrchu

Relativní pohyb nástroje proti obrobku způsobuje deformace též na obrobene ploše a ploše řezu. Hlavní příčinou deformace povrchové vrstvy obrobku je tvar řezné hrany nástroje. Ostří nástroje není ideální přímka, ale část válcové plochy o poloměru $5 - 20 \mu\text{m}$. Nástroj se tedy stýká s obrobeneým povrchem na ploše BAC / obr. 17 /.



Obr. 17 Skutečný tvar ostří

Plastická deformace v těchto místech probíhá při teplotě nižší než je teplota rekrytalizační. Efekt zpevnění převažuje nad zotevením. Výsledné zpevnění povrchové vrstvy ovlivní kromě deformačního účinku sil na hřbetě také tvar a velikost oblasti primární plastické deformace /OMNO'//, která za určitých podmínek zasahuje pod plochu řezu. Jako míra zpevnění se nejméně často uvažuje mikrotvrdost povrchové vrstvy obrobene plochy. Hliník jako kov s dobrou deformační schopností se při obrábění zpevňuje intenzivně. /2/

Z řezných podmínek ovlivňují intenzitu a hloubku zpevnění:

- řezná rychlost
- tloušťka odřezávané vrstvy
- šířka třísky

Z geometrických parametrů nástroje působí na zpevnění povrchové vrstvy obrobku : - úhel řezu δ

- úhel hřbetu α

- poloměr špičky r

- poloměr ostří ρ

r_w

4.10 Zbytková pnutí po obrábění

Plastické deformace povrchové vrstvy obrobené plochy spolu se vznikem tepla při obrábění, a tím ohřátí obrobku je příčinou vzniku značných pnutí v povrchových vrstvách obrobku. Mohou nastat dva případy :

1. při mechanickém zatížení za nízkých teplot, dochází v tenké povrchové vrstvě k plastickým deformacím a ve vrstvách pod ní k deformacím pružným. Po odlehčení se pružně deformovaná část snaží vrátit do svého původního stavu a vykonává při tom tlak na vrstvu deformovanou. To vede ke vzniku tlakového napětí ve zpevněné povrchové vrstvě a ve spodních vrstvách působí napětí tahové.

2. současně s plastickou deformací je povrchová vrstva obrobené plochy vystavena tepelnému účinku tepla vznikajícího při obrábění. / až 800°C / Takto ohřátá povrchová vrstva, plasticky deformovaná se snaží při ochlazování zmenšit svůj objem. Tomu brání spodní studenější vrstva, takže v povrchové vrstvě vzniká napětí tahové a ve vrstvách spodních napětí tlakové./2/

5. METODY EXPERIMENTÁLNÍHO STUDIA DEFORMACÍ PŘI OBRÁBĚNÍ

Experimentálně lze plastické deformace studovat buď během vlastního řezání, pozorováním změn právě probíhajících, nebo až po ukončení obráběcího procesu - studium ukončených změn.

5.1 Posouzení charakteru a intenzity deformace

K posouzení charakteru a intenzity deformace v oblasti I, II, III, je třeba sledovat tyto charakteristiky :

1. polohu, tvar a velikost oblasti primárních plastických deformací / α_{NO} , β_0 , β /

2. intenzitu sekundární deformace, tloušťku a tvar deformované vrstvy v oblasti II, popřípadě velikost, tvar a vnitřní stavbu vznikajícího nárustku / h_{max} , δ_{SK} , ρ_{SK} /

3. intenzitu deformace v oblasti I, charakterizovanou poměrným skluzem γ a deformační rychlostí $\dot{\gamma}$

4. intenzitu a hloubku deformace v III oblasti

5. velikost součinitele přechování K a objemového součinitele W jako projevu plastické deformace

6. stav napjatosti materialu odřezávané vrstvy třísky, povrchové vrstvy obrobene plochy a namáhané části nástroje /2/

5.2 Studium ukončených změn

Možnost studia procesu vzniku třísky a vytvoření obrobene plochy je omezená. Většina poznatků o procesu řezání byla získána studiem kořene třísky až po ukončení obrábění.

Toto studium předpokládá získat kořen třísky u něhož známe řezné podmínky jeho vzniku. Pro získání neporušeného kořene

třísky se používají různé přerušovače řezu. Ty okamžitě přeruší řez v okamžiku tvorby třísky. Přitom nedojde k porušení kořene třísky.

6. METALOGRAFICKÉ ZKOUMÁNÍ VZORKŮ

6.1 Obecná příprava vzorků

Při odebírání vzorků a jejich přípravě se musí přistupovat velmi opatrně, aby se zabránilo deformaci opracované plochy špatným upnutím nebo strukturní změně přílišným zvýšením teploty při rychlém odřezání.

Vzorky se zalévají dentakrylem, tím jsou připraveny pro další mechanickou a chemickou přípravu. Broušení provádíme na metalografickém výbrusu, tím odstraňujeme hrubší nerovnosti povrchu, popřípadě plasticky zdeformovaná, zpevněná místa. Postupně brousíme metalografickým papírem o zrnitosti 220, 280, 400 a 600. Vzorkem při broušení na jednotlivých papírech neotáčíme / rýhy po broušení jsou jedním směrem /. Při přechodu na papír s větší zrnitostí nejprve opláchneme vodou. Tím odstraníme případně ulpělá zrna na vzorku. Očištěný vzorek pootočíme o 90° a brousíme tak dlouho dokud nezmizí stopy po předchozím broušení. Na vzorky během broušení netlačíme. Leštění provádíme na sametu či jelenici. Leštidlem je jemnější plavený Al_2O_3 . Po ukončení leštění se vzorek zbavuje leštících prostředků pomocí vody a lihu, suší se proudem teplého vzduchu.

Pro přípravu vzorků se používá řada různých leptadel, dle typu slitiny a struktury, kterou chceme dostat.

6.2 Leptadla

Pro naleptání hliníku a jeho slitin se používají tato leptadla :

- a/ $0,5 \text{ cm}^3$ kyseliny fluorovodíkové
- $99,5 \text{ cm}^3$ vody

používá se pro všechny Al - slitiny. Výbrus se ponoří

do roztoku na 10 - 12 sekund.

b/ 1 - 10 g hydroxidu sodného

90 - 99 g vody

roztok pro slitiny Al - Cu - Mg - Si. Doba leptání 4 - 5 sekund v roztoku o teplotě 70°C.

c/ 1 objem kyseliny dusičné

1 - 2 objemy kyseliny fluorovodíkové

3 objemy glicerinu

pro vnitrokrystalické odkrytí. Doba leptání 1 - 10 s.

d/ 20 cm³ kyseliny chlorovodíkové

80 cm³ vody

pro odkrytí složek obsahující Fe. Teplota leptání je 70°C a doba leptání je 15 - 40 s.

e/ 20 cm³ kyseliny dusičné

80 cm³ vody

pro odkrytí fází Mg₅Al₈, CuAl₂, ve slitinách Al - Cu,

Al - Mg. Teplota leptání je 40°C a doba leptání je 40s.

f/ 10 cm³ kyselina solná

15 cm³ kyselina flurovodíková

25 cm³ kyselina dusičná

950 cm³ voda

Toto leptadlo se označuje jako DIXA - KELLER. Doba leptání je 15 - 20 s, naleptáním se zvýrazní vnitřní krystaly.

6.3 Optický systém metalografického světelného mikroskopu

Mikroskop se skládá z částí osvětlovací a zobrazovací. Úkolem osvětlovací části je vytvořit svazek rovnoběžných paprsků viditelného světla a osvětlit jím pozorovanou část plochy

výbrusu. Při nejčastěji používaném způsobu kolmého osvětlení se osvětluje přes objektiv, do něhož je usměrněn pomocí semi-transparentního zrcátka svírajícího s osou objektivu úhel 65° , část paprsků prošlých objektivem se po odrazu od vzorku do objektivu vrací a je využita k zobrazení. Buď vstupují do okuláru a pozorují se, nebo je lze objektivem promítnout na citlivou vrstvu fotomateriálu a zviditelnit fotochemickou cestou.

Zobrazovací soustava mikroskopu je tvořena objektivem a okulárem. Každý z nich může být principiálně tvořen jedinou spojnou čočkou, ale v praxi se používá kombinace několika spojek a rozptylek ze skel o různých indexech lomu - tím se částečně kompenzují vady čoček. Celkové zvětšení mikroskopu je dáno součinitelem zvětšení objektivu a okuláru. V optimálním případě činí maximálně 1500 až 2000x.

Objektiv je kromě údaje o jeho zvětšení ještě označen hodnotou tzv. "číselné apertury". Je to číslo z intervalu $0 < A < 1,5$, definované vztahem $A = n \cdot \sin \alpha$, kde n je index lomu prostředí mezi objektivem a předmětem, α je poloviční otvorový úhel objektivu, tj. úhel sevřený okrajovým paprskem směřujícím do průsečíku rovin výbrusu s optickou osou objektivu a touto osou. Je-li prostředím mezi objektivem a vzorkem vzduch, jehož $n \approx 1$, pak A je menší než 1. Použijeme-li mezi objektiv a vzorek kapalinu o vyšším indexu lomu / např. bromnaftalen - $n = 1,66$ /, lze dosáhnout $A = 1,5$. Maximální užitečné zvětšení mikroskopu $Z_{už}$ je dáno Abbého pravidlem. Podle něhož $Z_{už} = 1 / A$. Celkové zvětšení může být větší než užitečné, ale nedokáže rozlišit více detailů než zvětšení užitečné.

Roulišovací schopnost objektivu je dána vztahem :

$$d_{obj} = \lambda / A$$

kde d je nejmenší vzdálenost dvou objektivem rozlišitelných bodů

λ je vlnová délka světla

A je numerická apertura

Rozlišovací schopnost lidského oka je $d_{\text{oka}} = 0,3$ mm. užitečné zvětšení mikroskopu je pak určeno podílem $d_{\text{oka}} / d_{\text{obj}}$ - okulár nemůže rozlišit více než rozlišil objektiv./15/

6.4 Dosavadní poznatky metalografických rozborů Al - slitin

Problematikou metalografických rozborů a mikroskopického sledování povrchu tyčí z hliníkových slitin řečí výzkumná zpráva 33.6.4033 z ČVUT Praha.

Pro prováděná sledování byly obedrány vzorky z tyče A.8 část přibližně 10 cm dlouhá - označená A.8.30 : Tyč A.8 byla vyrobena ze slitiny AlCu4Mg1 - ONZ 42 4202 - tavba 1837.

Část vzorků pro metalografické pozorování byla pokovena Ni. Vyšetřovaná plocha byla po zalití do dentakrylu mechanicky broušena a leptána. Struktura pak byla leptána leptadlem podle Dixe a Kellera o tomto složení :

- 10 cm³ kyselina solná
- 15 cm³ kyselina fluorovodíková
- 25 cm³ kyselina dusičná
- 950 cm³ destilovaná voda /16/

Z připravených vzorků byly zhotoveny snímky mikrostruktur na metalografickém mikroskopu NEOPHOT 21. Dále byly sledovány preparáty připravené pro transmisní a elektronovou mikroskopii.

Při kvalitativním strukturním hodnocení primárních a sekundárních fází byly na základě pozorování naleptaných vzorků na světelném mikroskopu rozlišeny tyto tři typy fáze :

1. světle, slabě do hněda se leptající - fáze typu CuAl_2
2. tmavě, leptající fáze - typu CuMgAl_2
3. fáze leptající se slabě do modra - komplexní fáze s Fe, Si a Mn - masivní fáze. /16/

Typickou sekundární fází byl tyčkový precipitát CuAl_2 vyskytující se v základní hmotě. Jeho délka je 0,1 až 1 μm . Četnost precipitátů se značně lišila.

Při metalografických rozborech a mikroskopickém sledování povrchu tyče dospěl tým pozorovatelů z ČVUT Praha k těmto závěrům :

1. u sledovaných vzorků byla zjištěna usměrněná řádkovitost struktury se zbytky primárních vyloučených fází typu CuAl_2 a CuMgAl_2 a komplexních fází Fe, Mn a Si. Částice primárních fází se nejčastěji vyskytují o velikosti 1 až 4 μm . Byly rovněž uspořádány do řádků a velmi často uspořádány tak, že jsou prodlouženy ve směru protlačování.

2. typickou sekundární fází byl tyčkový precipitát CuAl_2 o délce 0,1 až 1 μm o průměru 0,01 až 0,05 μm . Četnost výskytu v zrnech byla proměnlivá. Výrazné rozdíly mezi povrchovou a vnitřní vrstvou byly pouze v substruktuře dislokací. V blízkosti povrchu byly zjištěny převážně pásy a shluky o vysoké hustotě dislokací 10^{10} až 10^{11} cm^{-2} . Ve srovnání s tím je pro střední partie vzorku typický výskyt dislokačních sítí o hustotě dislokací řádově 10^9 cm^{-2} . /16/

7. HODNOCENÍ POVRCHOVÝ VRSTEV

7.1 Material vzorků

Zkušební material je hliníková slitina z tavby č. 7657
v elektrické peci KO Děčín.

Tavící teplota : 730°C

Doba ustalovací : 90 minut

Rafinace : Aluflux 2,3 kg.t⁻¹

koks

2x filtrační tkanina

Sivex

Licí teplota : 720°C

Homogenizace : 420°C / 12 hodin

Výsledné chemické složení - přísady v % :

Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Zn	Ni	Ti	Pb	H ₂ ^x
4.32	1,59	0,69	0,16	0,22	0,02	0.03	0,01	0,01	0,15

x v cm³ / 100 g.

Ze základního materialu byly vyrobeny tyče o průřezu
100 x 12 ve směru podélném a příčném byly zjišťovány mechanic-
ké vlastnosti za těchto podmínek :

rozsah síly 20 000 N

rozsah deformace : 2 %

jmenovitá délka zkušební tyče : 45mm

7.2 Způsob obrábění zkoumaných vzorků

Před vlastním obráběním byly zhotoveny zkušební vzorky.
Ty byly připraveny podle odběrového plánu. Při jejich odebrání-

ní nesmělo dojít ke změně struktury základního materialu deformací ani teplotou.

Vlastní obrábění probíhalo ve dvou fázích. První část vzorků byla obráběna v n. p. Rudý Letov na obráběcím stroji FNL 08 NC, / vzorky pořadového čísla 1 - 13 /. Druhá část vzorků byla obráběna v dílnách KOM VŠST na stroji FA 4V / vzorky pořadového čísla 14 - 16 /. Vzorky byly pokaždé uputy do přípravku, který znemožňoval deformaci skoumané vrstvy, zároveň byla vždy z materialu odebrána tvářením zpevněná vrstva.

Technické parametry FNL 08 NC :

příkon	7,5 kW
řídící systém	SINUMERIK 550 / NSR /
řetační měnič	TENECEM / Francie /
rozsah otáček	1500, 3000, 6500, 9000 ot. min ⁻¹

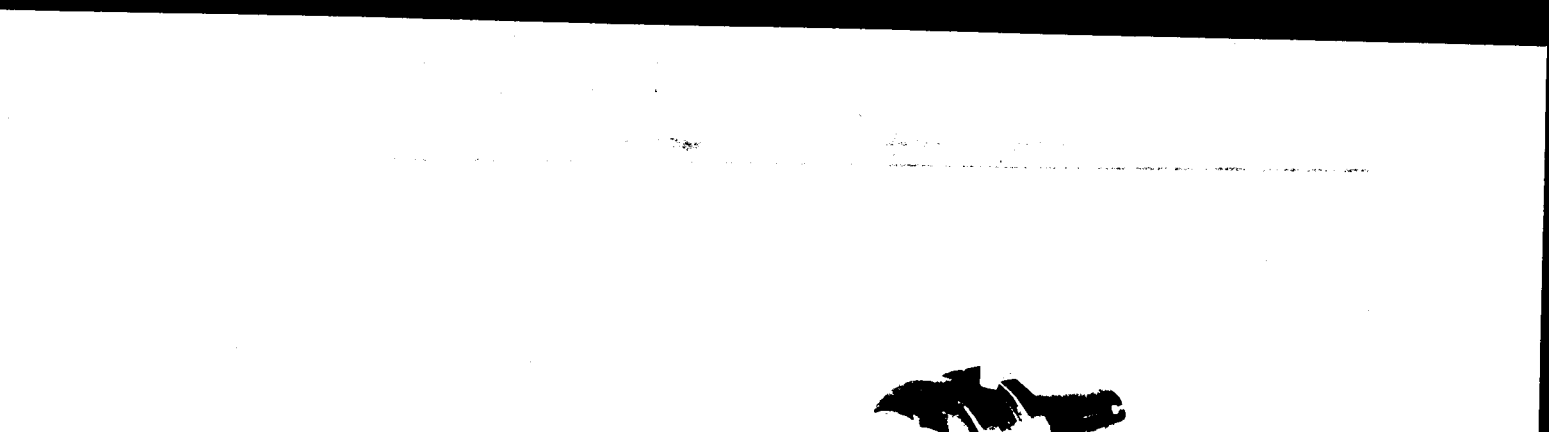
Technické parametry FA 4V :

příkon	7,5 kW
rozsah otáček	32 - 1400 ot.min ⁻¹
podélný posuv	10 - 12500 mm.min ⁻¹

Vzorky byly obráběny sousledně i nesousledně. Řezným nástrojem byla frézovací hlava osazená destičkami ze slinutých karbidů / K40 /.

Základní geometrické údaje frézy : obr. 18

průměr frézy	48,20 mm
úhel hřbetu	16,7 °
délka čela	6,98 °
sklon ostří	2 °





Obr. 18 Fréza \varnothing 48,2 mm

7.3 Rezné podmínky

D. č.	Prac. ozn.	Odběrové označení	Rok výroby	Stroj	Řez. rychl., m.min ⁻¹	Hl. řezu mm	Posuv s_z mm	Způs.
1	A1	R3.Z.3.L	1986	FNV 08NC	462	0,5	0,08	S

7.4 Zamezení odbroušení povrchové vrstvy

Při broušení vzorku na metalografické brusce docházelo na zkoumané hraně vzorku k odbroušení povrchové vrstvy, v které jsme zkoumali deformaci struktury po ofrézování. Aby k tomuto nedocházelo, vyzkoušeli jsme tyto druhy ochrany :

I. povlakování vzorků ochranou vrstvou Ni

III. mechanická ochrana :

a/ vzorky sešroubované šroubem M3 s vloženou žiletkou / vzorek č. 2 /

b/ vzorky sešroubované šroubem M3 s vloženou destičkou z Cu o tloušťce 0,5 mm / vzorek č. 3 /

c/ vzorky sešroubované šroubem M3 a slepené epoxidovou pryskyřicí / vzorek č. 4 /

d/ vzorky sešroubované šroubem M3 / vzorek č. 5 /

Jako nejlepší se jevila ochrana povrchové vrstvy d/ - vzorky sešroubované šroubem M3.

7.5 Metodika vlastní přípravy vzorků

Vzorky oddělíme pilkou na kovy ze základního materialu. Odřezané vzorky řádně označíme. Takto připravené vzorky provrtáme na stojanové vrtačce, vrtákem z rychlořezné oceli o průměru 3,1 mm. Je-li nutné co nejjeměji odjehlíme vzorky, abychom vzorek nepoškodili a abychom je k sobě co nejtěsněji přišroubovali. Nyní vzorky sešroubojeme šroubem M3 o délce 15 a maticí M3 / pozor na nečistoty mezi vzorky /. Na sešroubovaných vzorcích zarovnáme zkoumanou stranu lehce jemným pilníkem. Dále vzorky vložíme do kroužku z PVC, zalejeme DENTAKRYLEM a opět označíme.

Po zaschnutí dentakrylu vzorky brousíme na metalografických papírech o zrnitosti 220, 400, 600. Po vybroušení vzorky leštíme na jehlicí a přidáváme leštící emulsi. Leštění na umělém sametu se nám neosvědčilo, neboť na vzorku zanechává velké rýhy.

Po vyleštění vzorky naleptáme leptadlem :

- 15 cm³ HF / 48 % /
- 10 cm³ HCL / 37 % /
- 25 cm³ HNO₃ / 65 % /
- 950 cm³ H₂O

Přitom opláchneme proudem vody a ostříkneme lihem. Vzorek usušíme proudem horkého vzduchu. Vzorek nedoporučujeme otírat, velmi lehce se poškrábe. Strukturu pozorujeme na metalografickém mikroskopu NEOPHOT při různých zvětšeních, pořizujeme při tom fotografie mikrostruktur.

7.6 Zpevnění

Bylo měřeno pomocí mikrotvrdosti dle Vickerse. Na přístroji PMT 3 metodou šikmých řezů.

Zhodnocením dosažených výsledků vyplývají tyto závěry :

A/ pro stupeň zpevnění / SZ /

- SZ nabýval hodnot od 35 do 48 %

- zvýšení rezné rychlosti ze 157 na 220 m.min⁻¹ nevedlo při srovnatelných minimálních / 0,02 resp. 0,03 / a maximálních posuvech / 0,45 mm / k významné změně SZ / nad 5 % / pro oba způsoby frézování

- zvýšení posuvu z minimálního / 0,02 resp. 0,03 / na maximální srovnatelný / 0,45 mm / při rezných rychlostech 157 i 220 m.min⁻¹ vedlo ke zvýšení SZ o 3 až 7 % při obou způsobech frézování

B/ pro hloubku zpevnění / HZ /

- HZ nabývala hodnot od 36 do 42 μm
- změnou řezných podmínek v uvedeném rozsahu nedošlo k významné změně HZ. /10/

7.7 Zbytkové napětí

Měření zbytkových napětí bylo provedeno metodou průběžného určování deformace vzorku elektrolyticky odleptávaného na zařízení KOM VŠST.

Z naměřených hodnot vyplývá :

- průběh zbytkového napětí pod obrobeným povrchem je monotonní a ve všech sledovaných případech má tlakový charakter
- špičky napětí pod obrobeným povrchem dosahovaly pro nesousledné frézování hodnot : -150 až -400 MPa. Pro sousledné frézování hodnot : -150 až -550 MPa.
- při řezných rychlostech 157 a 220 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ docházelo zvětšováním posuvové rychlosti při obou způsobech frézování k nárůstu špičky napětí pod povrchem
- zvýšením řezné rychlosti ze 157 na 220 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ při srovnatelných hodnotách posuvu nedošlo k významné změně velikosti špičky a průběhu zbytkového napětí pod povrchem
- při srovnání sousledného a nesousledného způsobu za shodných řezných podmínek byly v 70 % špičky napětí při sousledném způsobu vyšší o 20 - 50 % než při nesousledném způsobu frézování. /10/

7.8 Hodnocení metalografických výbrusů

Fotografie metalografických výbrusů jsou ve zvětšení :

a/ 100x

b/ 500x

Na snímcích je patrna dělicí rovina dvou vzorků / mezera /.
Struktura vzorků je převážně rádkovitá u jednotlivých vzorků
po lisování tyče při výrobě. Rádkovitost je ve směru obrobené-
ho povrchu / resp. řezné rychlosti /. To znesnadňuje /někdy /
i zcela vylučuje / vyhodnocování deformací v oblasti terciál-
ních plastických deformací na základě mikrostruktury /10/.

Z některých fotografií by snad mohlo být částečně vidět
zjemění struktury po obrábění.

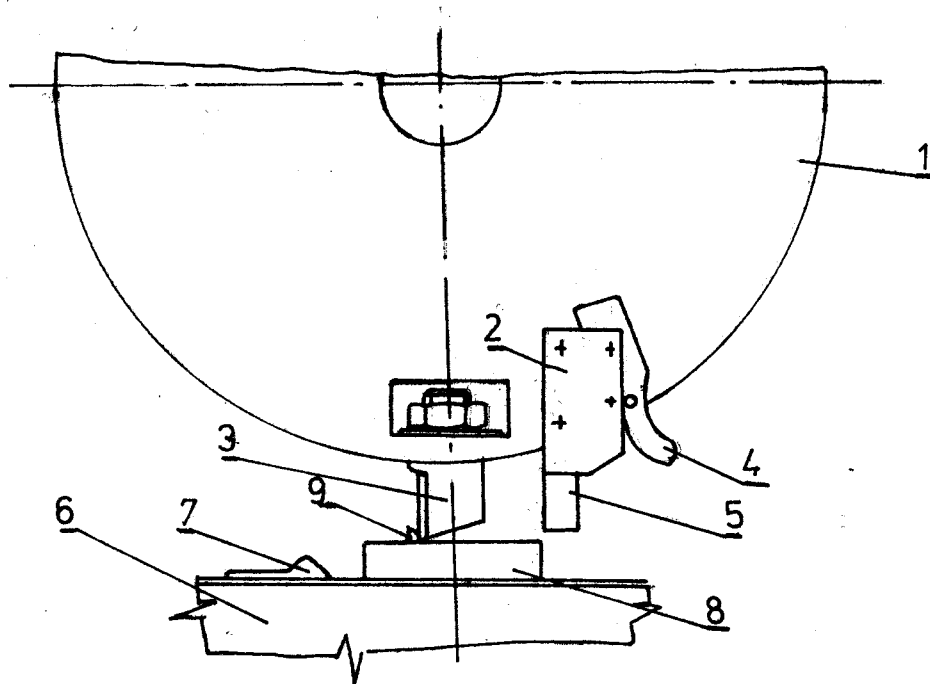
Metalografické výbrusy nám tady jednoznačně nepotvrdily
výsledky z měření zbytkového napětí a stupně zpevnění. Z mikro-
fotografií je vidět zřetelná rozdílnost struktur vzorků.

Fotografie vzorků uvedených v tabulce č. 1 jsou v pří-
loze 3. - 18.

8. STUDIUM KOŘENE TŘÍSKY

8.1 Přerušovač řezu

Pro získání kořene třísky bylo použito přerušovače řezu, na který byla vydána přihláška vynálezu / PV 6564 - 84 /. Tento přerušovač pracuje na principu vysunutí obrobku z místa řezu obr. 19



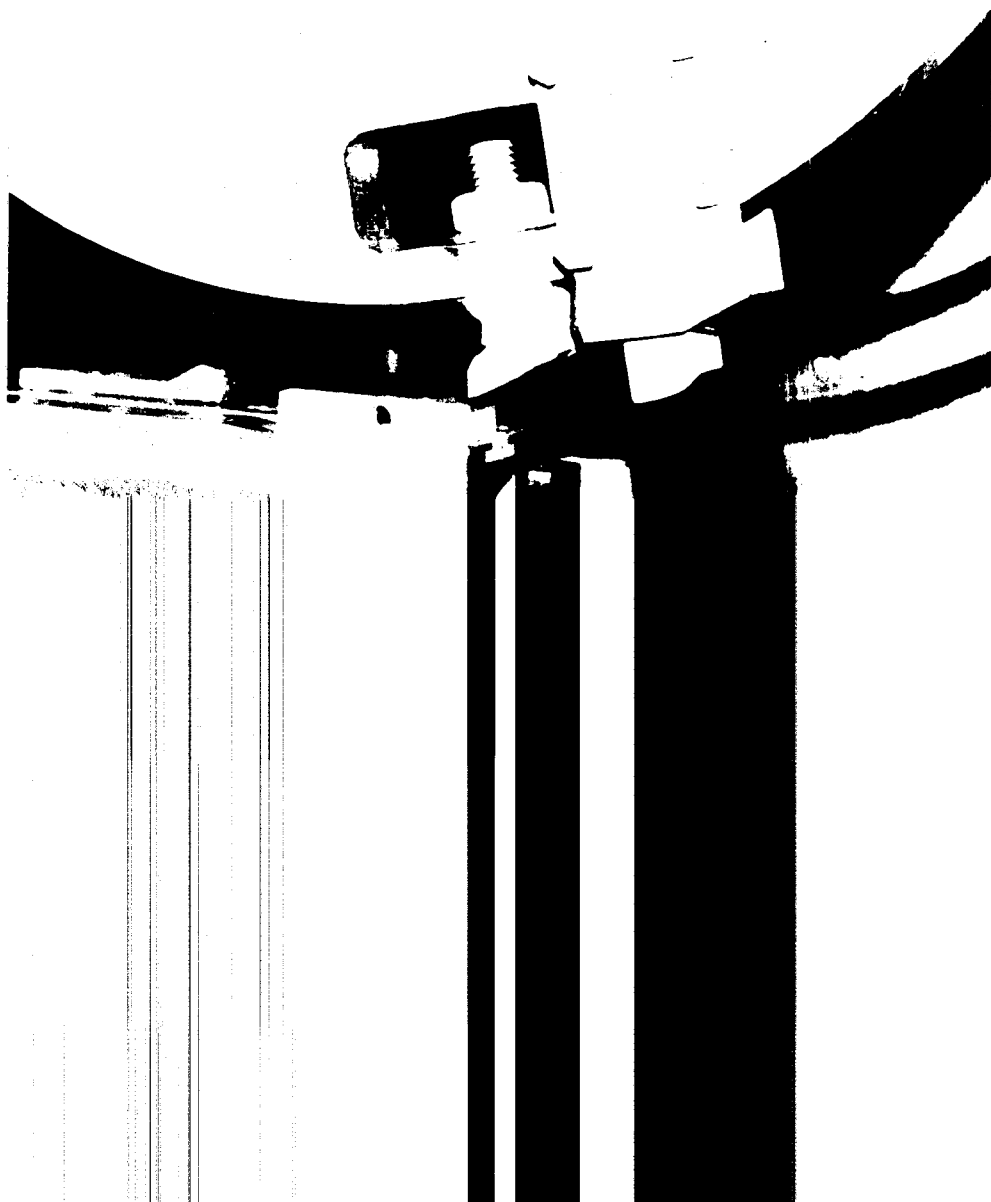
1 - ocelový kotouč, 2 - těleso vyražeče, 3 - nástroj
4 - narážecí páčka, 5 - vyražeč, 6 - přípravek, 7 - doraz,
8 - vzorek pro získání kořene třísky, 9 - místo vzniku kořene třísky

Obr. 19 Přerušovač řezu - vyražeč v nabíjecí poloze

Na ocelový kotouč o průměru 300 mm je přišroubován upravený soustružnický nůž, který má břit ze slinutého karbidu/H10/, jeho ostří odpovídá zubu frézy. Na obvodu tohoto kotouče je připevněn i ocelový vyražeč. Ten je v zajištěné poloze držen táhlem, které působí proti síle pružiny. Tím vystřelovací prožinu zadržuje. Po nárazu páčky na doraz vysune pružina

vyražeč do pracovní polohy, Během téže otáčky vystřelí vyražeč

zkusební vzorek z přípravku. Ten je upnut ve svěráku, který je
připevněn na stole horizontální frézky.



vyražeč do pracovní polohy, Během téže otáčky vystřelí vyražeč

zkusební vzorek z přípravku. Ten je upnut ve svěráku, který je
přípevněn na stole horizontální frézky.



7	1407	800	0,5
8	563	"	0,5
9	905	"	0,3
10	1126	"	0,1
11	563	"	0,1
12	1407	"	0,5
13	563	"	0,5
14	713	"	0,4
15	563	"	0,3
16	357	"	0,2
17	1407	"	0,3
18	1126	"	0,3

Tabulka č. 2

Fotografie vzorků uvedených v tabulce č. 2 jsou v příloze 19. - 36.

8.5 Příprava kořene třísky pro studium mikrozměn

Kořeny třísek, získané přerušením řezu, je třeba pro další studium náležitě zpracovat.

Kořen se nejdříve vyřízne ze vzorku / výkres vzorku viz příloha č. 2 / a zakotví do technického dentakrylu. Potom se brousí na metalografických papírech o hrubosti 200, 400 a 600. Leští se za pomoci jelenice a leštící emulze. Mikrostruktura jsme vyvolaly tímto leptadlem :

- 1 objem kyseliny dusičné
- 2 objemy kyseliny fluorovodíkové
- 3 objemy glycerinu

Doba leptání : 5 - 10 sekund

Dále jsme pro studium ukončených mikrozměn použili metalografického mikroskopu NEOPHOT 2.

8.6 Metalografické studium kořene třísky

Toto studium předpokládá získání kořene třísky, vzniklého za známých řezných podmínek. Na zhotovených výbrusech je možné pomocí mikrofotografií vyhodnotit :

1. polohu a tvar primární plastické deformace
2. intenzitu deformace v oblasti primární plastické deformace charakterizovanou poměrným kluzem γ
3. intenzitu sekundární plastické deformace, tloušťku a tvar deformované vrstvy, popřípadě tvar a vnitřní stavbu nárůstku.
4. intenzitu a hloubku deformace v oblasti terciální plastické deformace.
5. součinitel pýchování třísky K_S

6. úhel textury

Popřípadě další údaje / δ_{sk} , ρ_{sk} /. Na našich vzorcích jsme hodnotili kořen třísky dle bodů 2., 4. a 6.

8.7 Hodnocení studia kořene třísky

8.7.1 Intenzita deformace v oblasti I

Intenzita v oblasti primární plastické deformace je charakterizována poměrným kluzem γ . Hodnotu γ stanovíme přibližně z naměřených hodnot β a δ_{sk} dle vzorce :

$$\gamma = \cotg \beta - \cotg / \beta + \delta_{sk} /$$

Vypočtené hodnoty viz tabulka 3. Dále je možno intenzitu deformace určit měřením mikrotvrdosti viz příloha 4 - 13.

8.7.2 Intenzita a hloubka deformace v oblasti III

Intenzitu a hloubku deformace v oblasti terciální plastic-
ké deformace jsme posuzovali měřeními mikrotvrdosti na mikrotvr-
doměru PMT - 3 / podle Vickerse HV 0,02 / viz příloha 37- 45.
Měřili jsme přímo na povrchu obráběné plochy. Deformace v ob-
lasti III je též možno vyčíst z fotografií mikrostruktur, kde
se hloubka deformace pohybuje od 35 μm do 50 μm . / viz foto
příloha č.19-36/

8.7.3 Úhel textury

Úhel textury jsme měřili z fotografií struktur kovů pomo-
cí úhlooměru. Jde o tzv. měřený úhel textury β viz obr. 14.
U vzorků č. 15 není úhel textury zcela zřejmý. Naměřené úhly
jsou uvedeny v tabulce č.3.

Pořadové číslo	úhel textury	poměr. kluz γ	Pořadové číslo	úhel textury	poměr. kluz γ
1	33	2,09	10	30	2,22
2	37	1,97	11	25	4,11
3	45	1,86	12	25	4,11
4	30	2,22	13	42	1,89
5	30	2,22	14	20	3,03
6	35	2,02	15	40	1,92
7	36	2,00	16	30	2,22
8	40	1,92	17	35	2,02
9	32	2,13	18	33	2,09

Tabulka č. 3 - poměrný kluz počítán pro $\delta_{cr} = 86^\circ$.

9. ZÁVĚR

Úkolem této diplomové práce bylo dokončit výzkum vlivu podmínek obrábění válcovým frézováním na stav povrchových vrstev. V první části práce se plně nepodařilo potvrdit deformací zrn, hodnoty zpevnění a zbytkového napětí v povrchových vrstvách po obrábění.

Vyvolané struktury vzorků neměly vhodně směrovanou řádkovitou strukturu.

V druhé části diplomové práce byla snaha o to, aby řádkovitost struktury byla kolmá k vektoru rychlosti obrábění. Pro překvapivě dosti rozdílnou strukturu se to u všech zkoumaných vzorků nepodařilo. Z fotografií mikrostruktur je i patrné zakmitání soustavy stroj - přerušovač - nástroj - obrobek, které bylo zapříčiněno nedostatečnou tuhostí upnutí nástroje v přerušovači řezu. Z těchto důvodů se zřejmě nepodařilo získat "čistý" kořen třísky při větších rychlostech obrábění.

Při měření mikrotvrdosti bylo naměřeno zpevnění v oblasti kořene třísky do hloubky 15 - 20 μ m pod obrobeným povrchem. Při obrábění bez přerušování řezu byla naměřena hloubka zpevnění 36 - 42 μ m. Rozdíl v hloubce zpevnění je způsoben tím, že tloušťka třísky při válcovém frézování vícebřitou frézou se mění podle jiné závislosti než při obrábění přerušovačem řezu, kdy tloušťka třísky v okamžiku přerušování řezu je rovna nastavené hloubce odebírané vrstvy.

Z výsledků této diplomové práce i prací předchozích zabývajících se tímto problémem vyplývá, že hloubka a stupeň zpevnění, velikost a charakter zbytkových pnutí nejsou takové, aby výrazněji zvýšily životnost strojních součástí. Pro zlepšení vlastností povrchové vrstvy je tedy nutné zaředit další zušlechťování povrchu jako je například balotínování.

Závěrem bych chtěl poděkovat pracovníkům KOM VŠST Liberec, zvláště vedoucímu diplomové práce Ing. A. Průškovi, za odborné rady a cenné připomínky k diplomové práci a s. Z. Heligarové za pomoc při zhotovování fotodokumentace. Dále bych chtěl poděkovat Doc. Ing. J. Horynovi, CSc, za odborné rady.

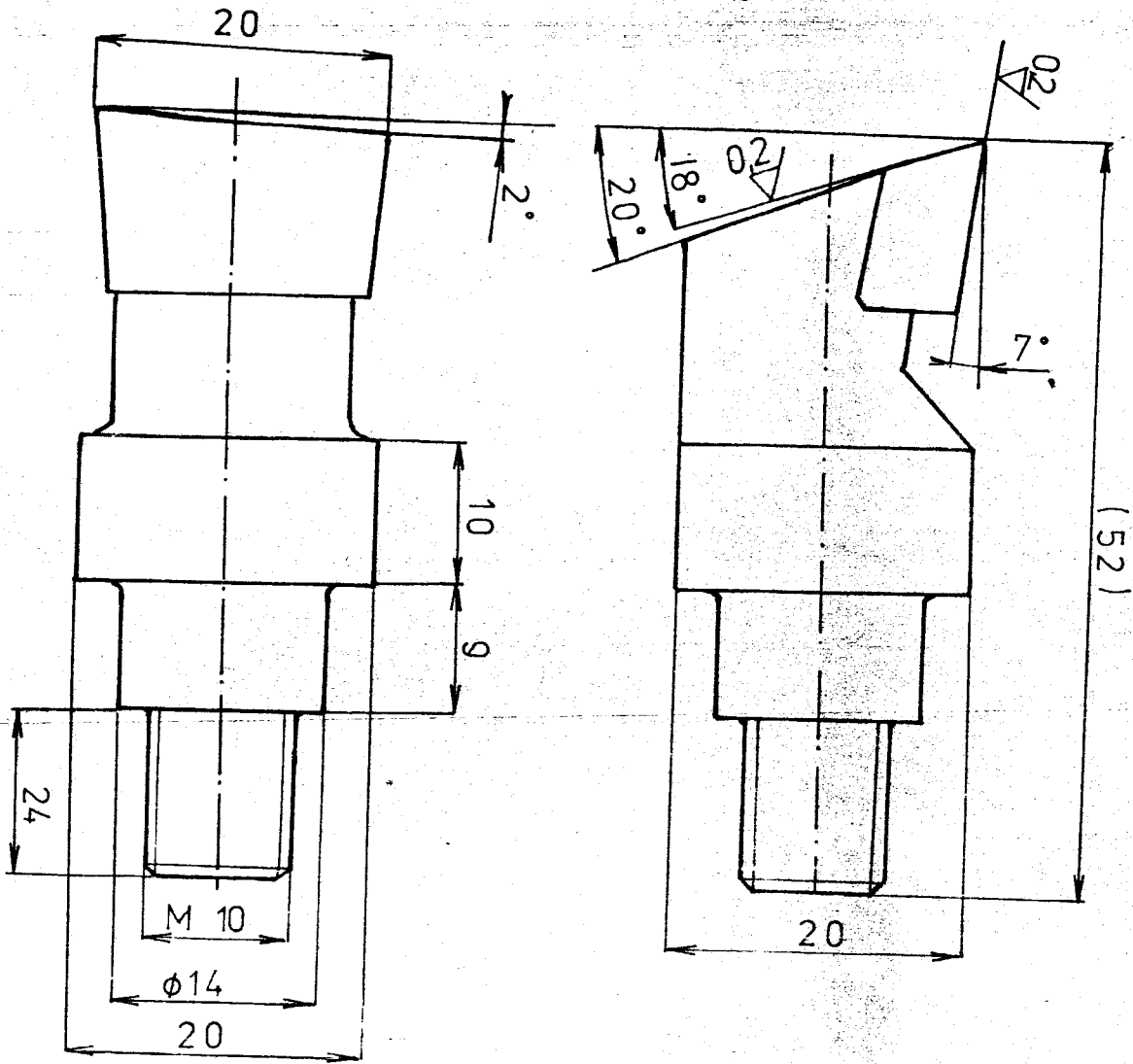
Na závěr bych chtěl poděkovat pracovníkům dílen KOM VŠST Liberec za pomoc při realizaci experimentální části.

POUŽITÁ LITERATURA

- /1/ Kolektiv: Příručka o hliníku, Praha, SNTL 1969
- /2/ Příkryl, Z. - Musílková, R.: Teorie obrábění, SNTL - ALFA, Praha, 1982
- /3/ Příkryl, Z. - Vigner, M.: Teorie obrábění, SNTL, Praha, 1984
- /4/ Limert, Drábek, Ondra, Vavřík, : Obrábění, SNTL, Praha, 1974
- /5/ Tomášková, H.: Válcové frézování slitin hliníku a vyhodnocování morfologie povrchu /Diplomová práce/ Liberec, 1987, VŠST, Fakulta strojní
- /6/ Slavíček, Z.: Stav povrchové vrstvy po obrábění Al-slitiny ČSN 42 4202 /Diplomová práce/, Liberec, 1988, VŠST, Fakulta strojní
- /7/ Hušák, B.: Modelování procesu broušení jedním zrnem /Diplomová práce/, Liberec, 1985, VŠST, Fakulta strojní
- /8/ Dráb, V.: Technologie I, VŠST, Liberec, 1985
- /9/ Kvapil, R. - Průšek, A. - Jersák, J.: Vliv podmínek obrábění na stav povrchu při čelním a válcovém frézování Al - slitin, /Výzkumná zpráva/, VŠST, Liberec, 1986
- /10/ Gabriel, V. - Bukač, K. - Janoušek, J. - Mašín, I. - Průšek, A.: Vliv podmínek obrábění na stav povrchu při čelním a válcovém frézování Al-slitin a čelním frézování a broušení Ti-slitin, /Výzkumná zpráva/, VŠST, Liberec, 1988
- /11/ Gazda, J, - Janoušek, J.: PV - 6564 - 84, Způsob vytváření a zachování kořene třísky a zařízením k provádění tohoto způsobu, 1984
- /13/ Pluhař, J. - Koritta, J.: Strojírenské materiály, SNTL -

ALFA, Praha, 1982

- /14/ Malcev, M., V. - Barsuková, T., A. - Borin, F., A.:
Metalografija cvětných mětalev i splavev, Moskva, 1960
- /15/ Janděš, F. a kolektiv: Využití laboratorních metod
v metalografii, SNTL, Praha, 1985
- /16/ Čmákal, J. - Holub, J. - Kudrman, J.: Metalografické roz-
bory a mikroskopické sledování povrchů vzorků Al - slitin,
/Výzkumná zpráva/, ČVUT, Fakulta jaderná a fyzikálně-
inženýrská, Praha, 1987



POLOTOVAR
J. HORAĀK

NUŽ

20 x 20

ČSN

22 3718

H10

2:1

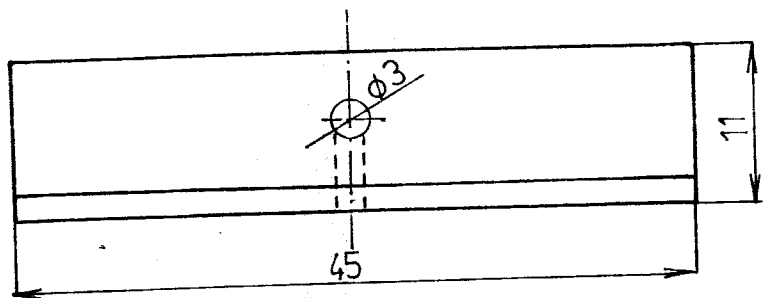
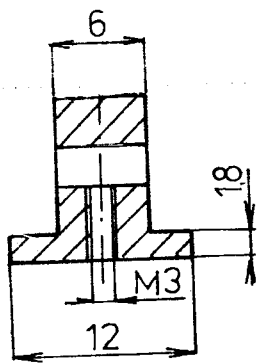
3.2.89

VŠST

NAŠTROJ

4-KOM-OM-186-01

list



POLOTOVAR TYČ 12 x 100
J. HORÁK

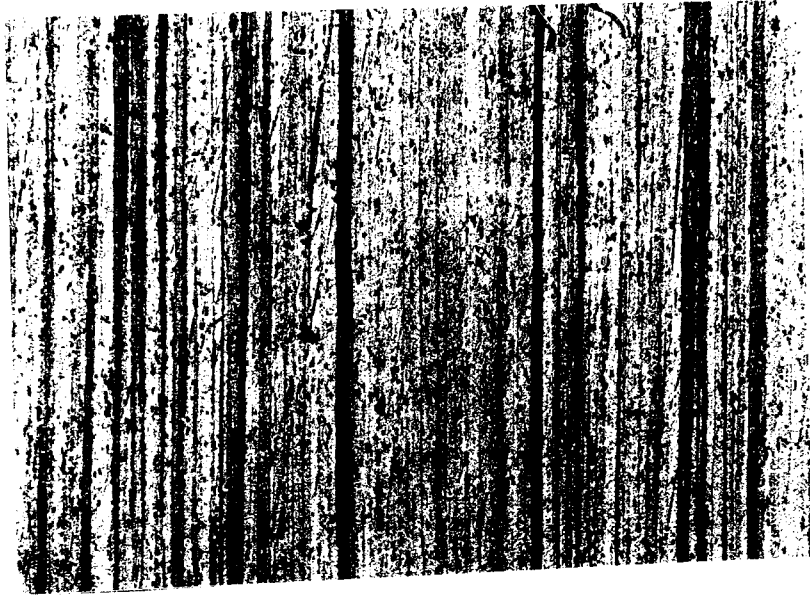
2:1

3.2.89

VŠST

VZOREK

4-KOM-DM-186-02

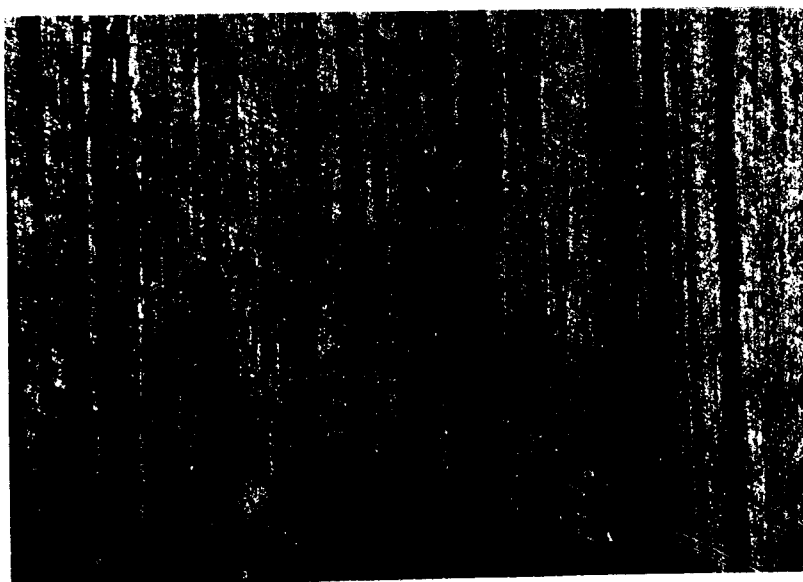


zvětšeno 100x

Vzorek A1 : $v_c = 462 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,08 \text{ mm}$ - sousledně

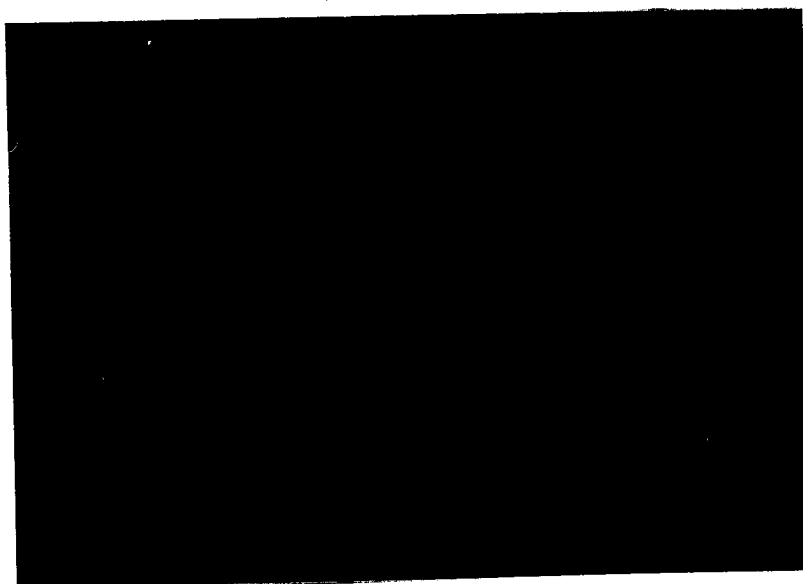


zvětšeno 500x



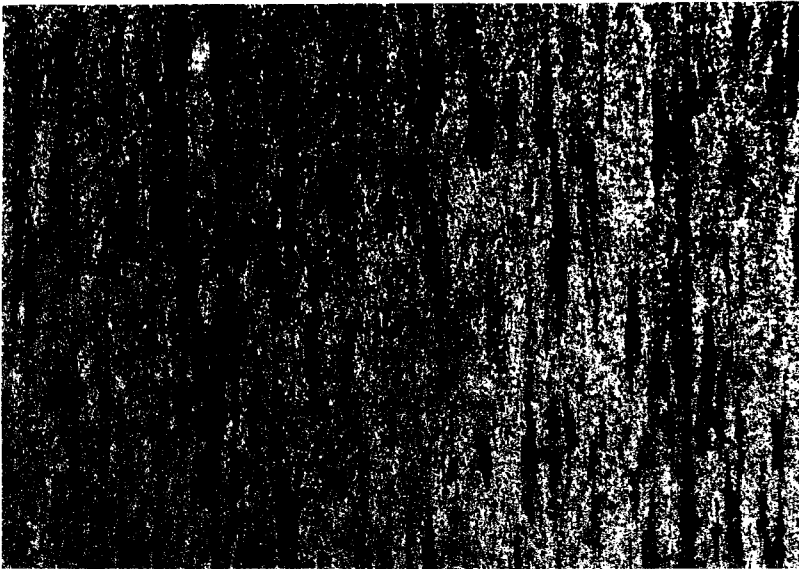
zvětšeno 100x

Vzorek B1 : $v_c = 462 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,08$ -- nesousledně



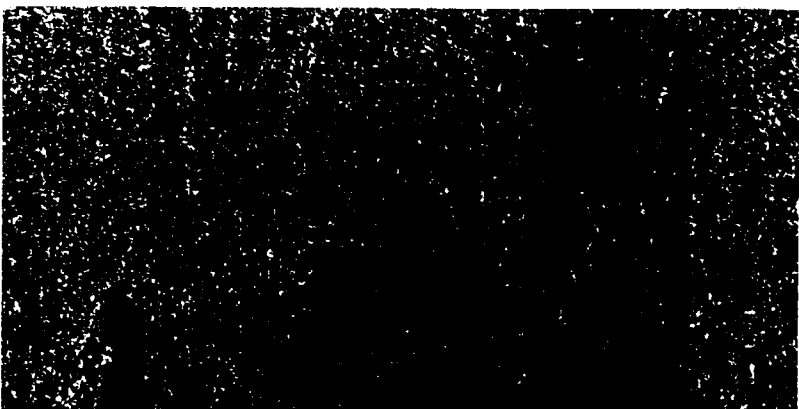
zvětšeno 500x

Příloha č. 4

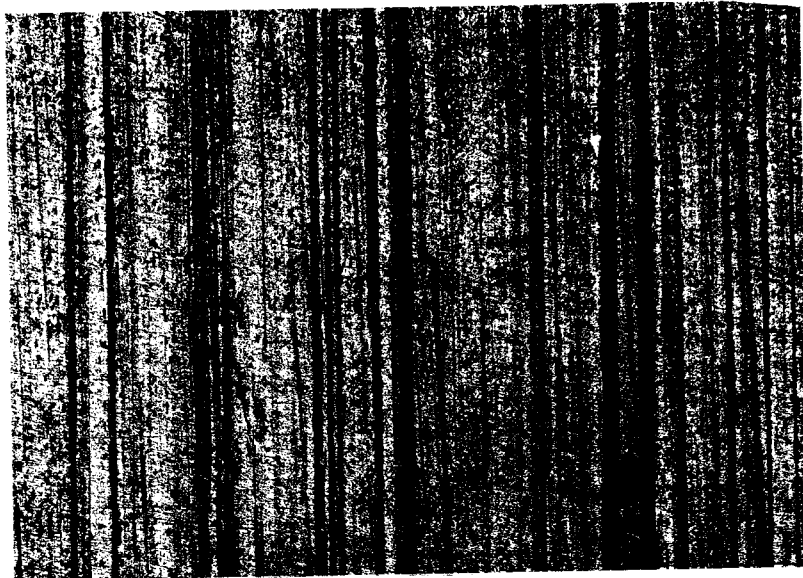


zvětšeno 100x

Vzorek B3 : $v_c = 462 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,33$ - nesousledně

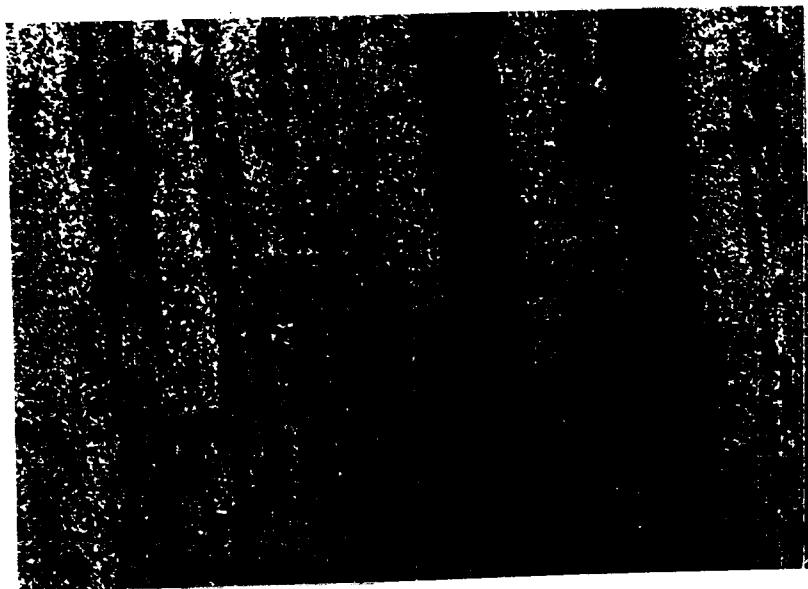


zvětšeno 500x



zvětšeno 100x

Vzorek A9 : $v_c = 1386 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,33 \text{ mm}$ - sousledně



zvětšeno 500x

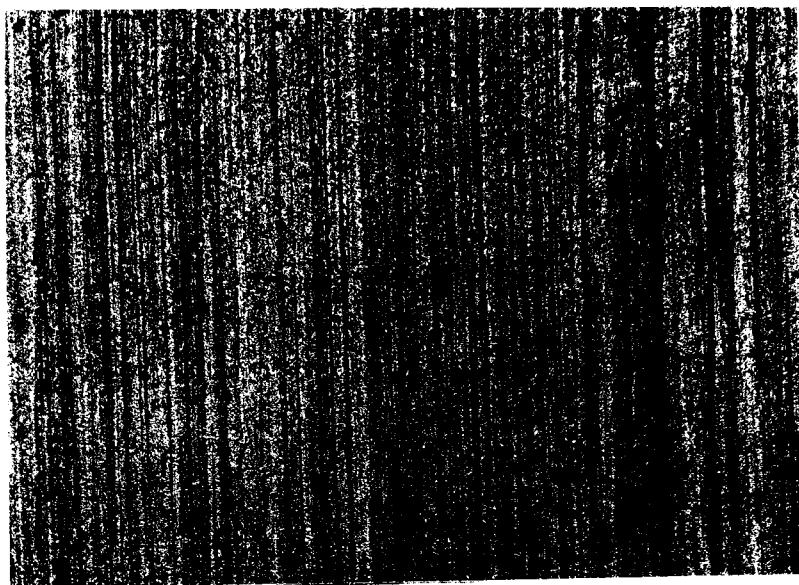


zvětšeno 100x

Vzorek B9 : $v_c = 1386 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,33 \text{ mm}$ - nesousledně



zvětšeno 500x

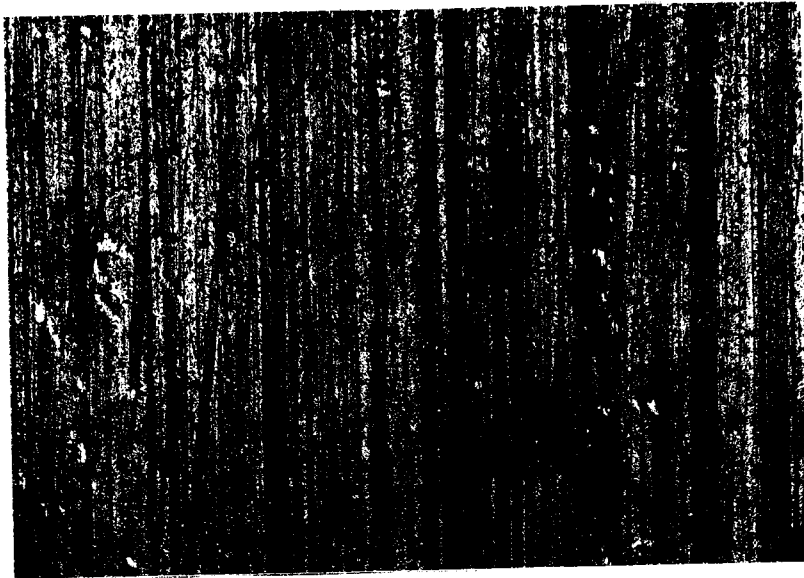


zvětšeno 100x

Vzorek A3 : $v_c = 462 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5$, $s_z = 0,33 \text{ mm}$ - sousledně

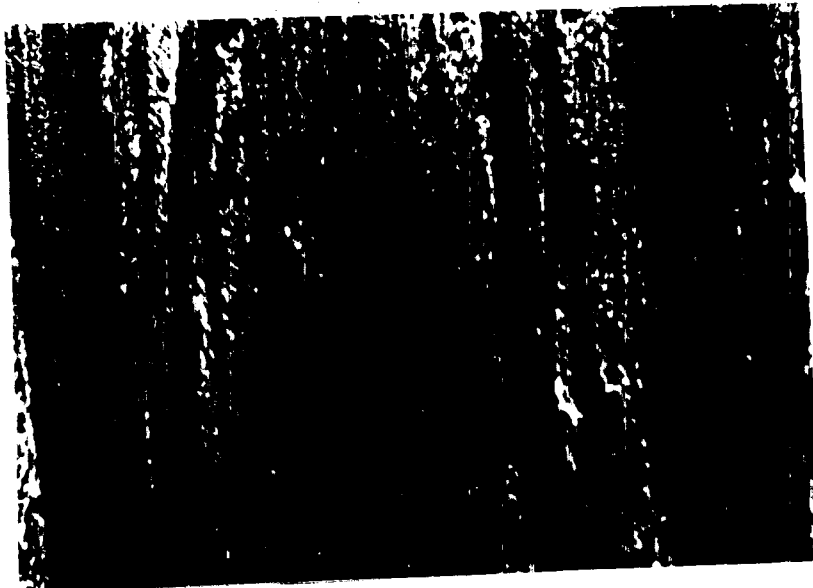


zvětšeno 500x

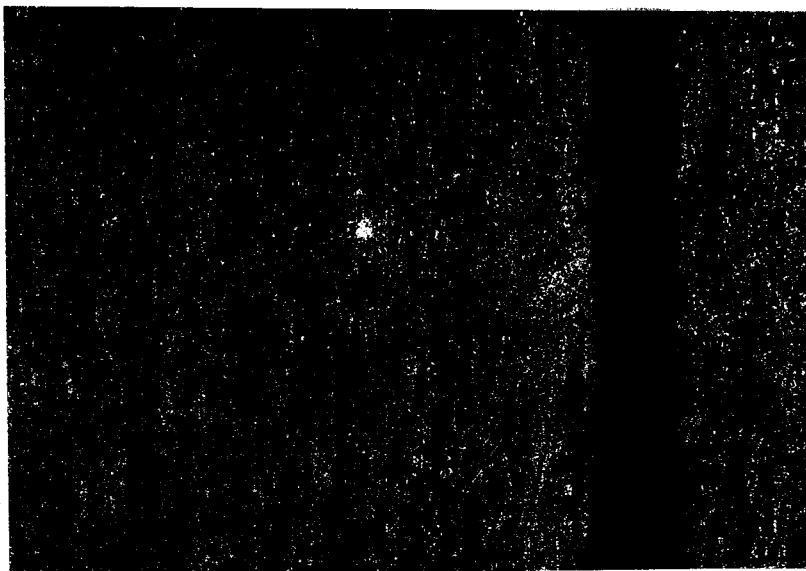


zvětšeno 100x

Vzorek A7 : $v_c = 1\,386 \text{ m}\cdot\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,08 \text{ mm}$ - sousledně

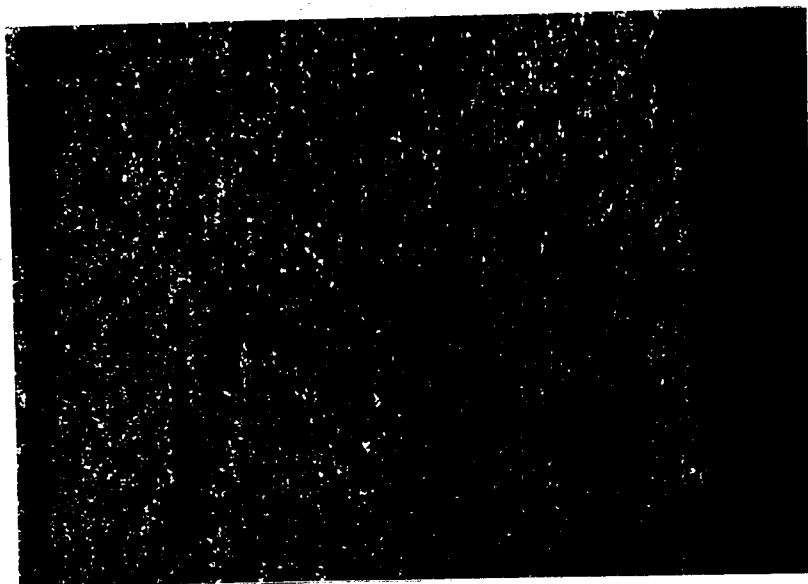


zvětšeno 500x



zvětšeno 100x

Vzorek B7 : $v_c = 1\,386 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,08 \text{ mm}$ - nesousledně



zvětšeno 500x

Příloha č. 10

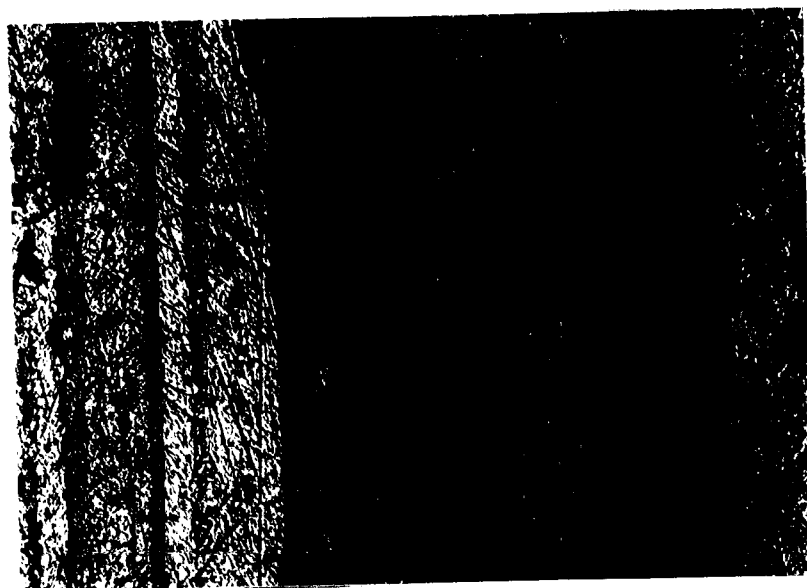


zvětšeno 100x

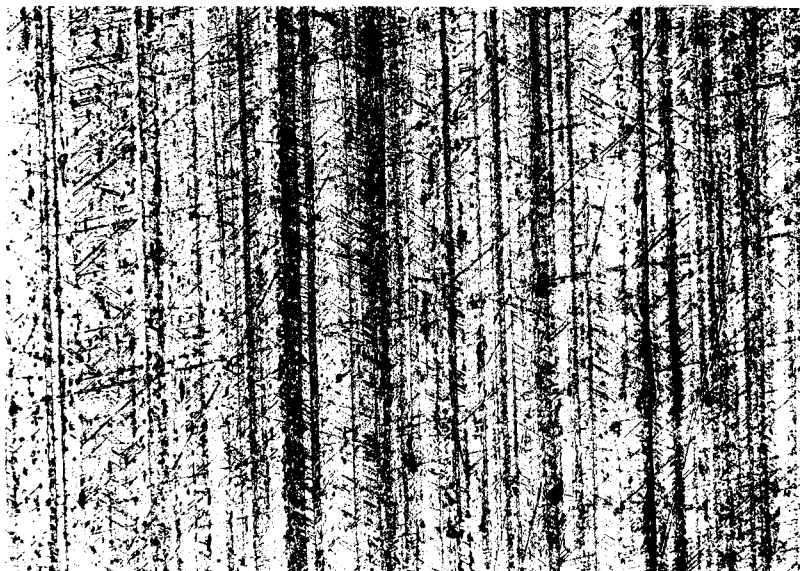


zvětšeno 100x

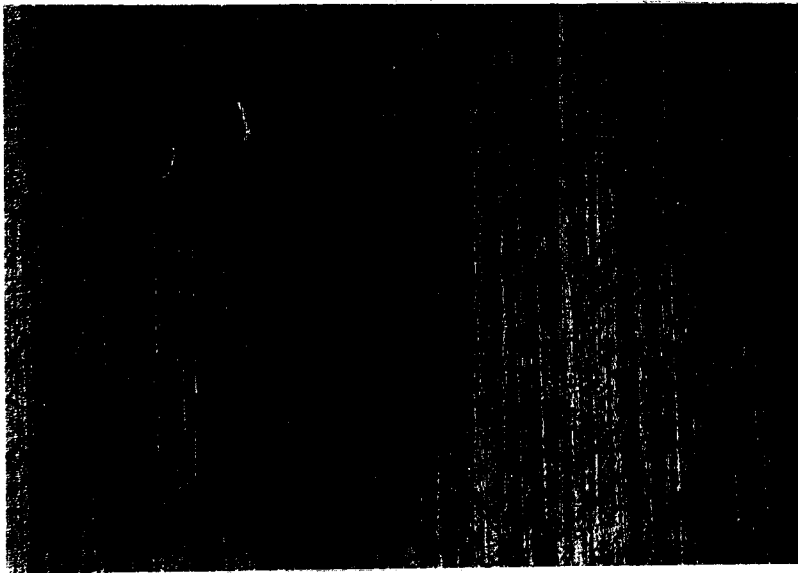
Vzorek B1⁺: $v_c = 462 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,06 \text{ mm}$ - nesousledně



zvětšeno 500x

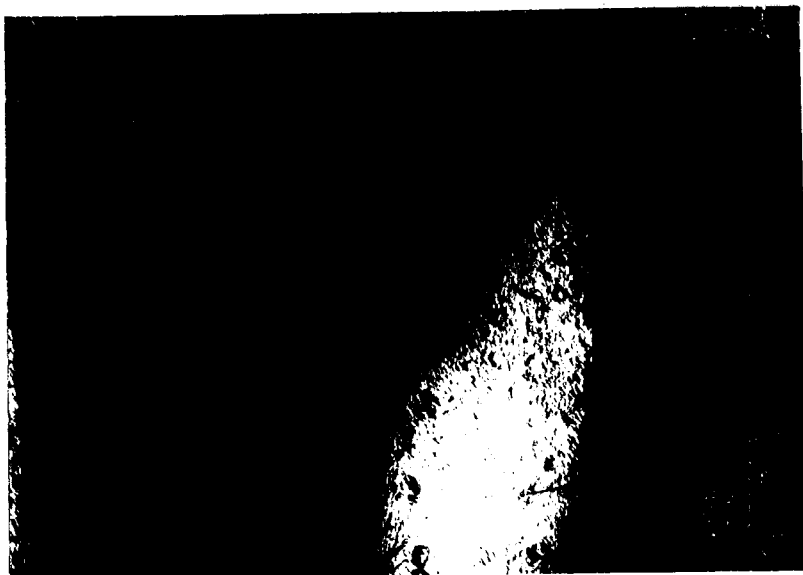


zvětšeno 100x



zvětšeno 100x

Vzorek A6⁺: $v_c = 1\,386 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,08 \text{ mm}$ - sousledně



zvětšeno 500x

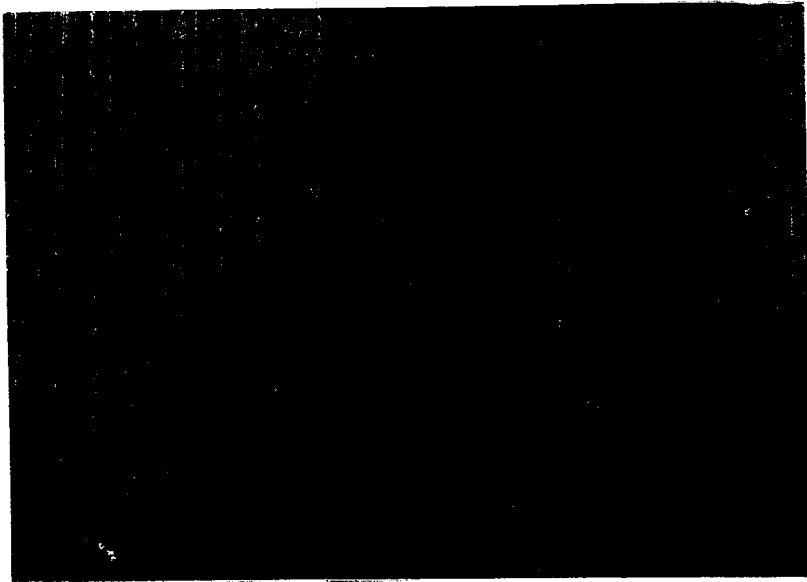


zvětšeno 100x

Vzorek A9⁺: $v_c = 462 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 4,0 \text{ mm}$, $s_z = 0,25 \text{ mm}$ - souledně

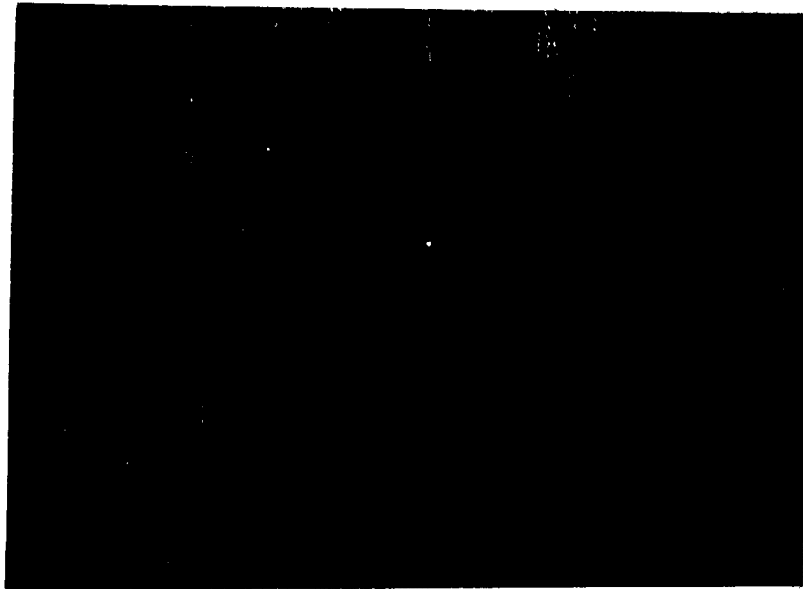


zvětšeno 500x



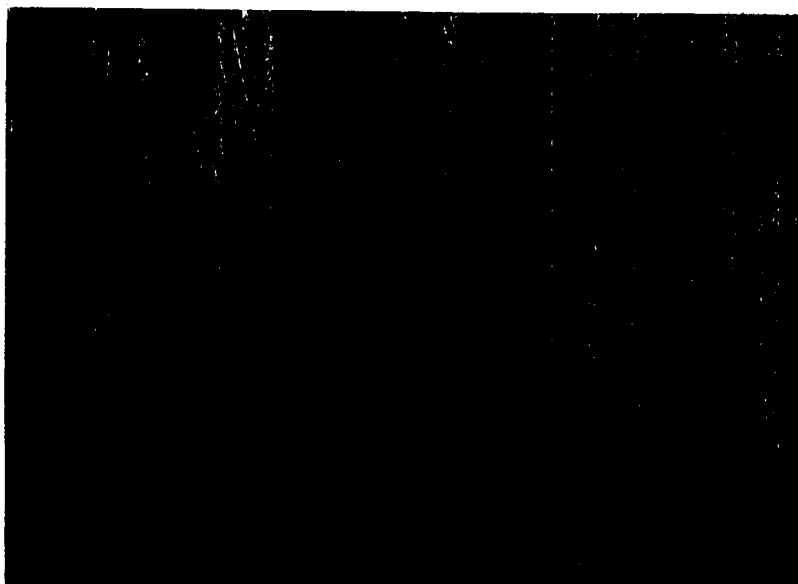
zvětšeno 100x

Vzorek K5 : $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,31 \text{ mm}$ - nesousledně



zvětšeno 500x

Příloha č. 16



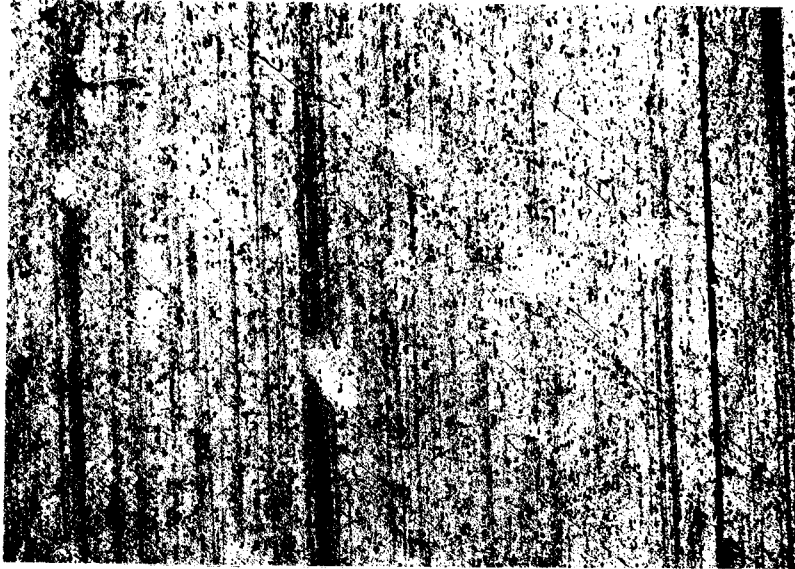
zvětšeno 100x

Vzorek K17 : $v_c = 220 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,31 \text{ mm}$ - sousledně



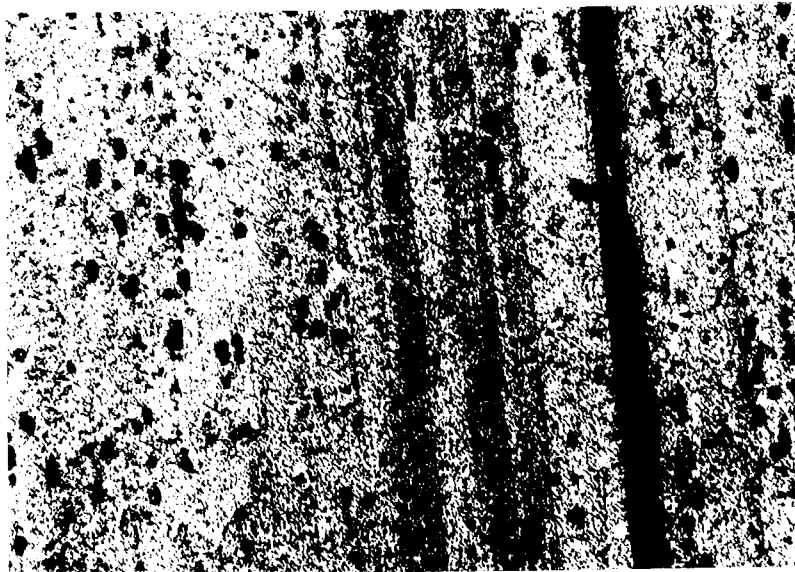
zvětšeno 500x

Příloha č. 17



Zvětšeno 100x

Vzorek M3 : $v_c = 79 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$, $s_z = 0,31 \text{ mm}$ - nesousledně



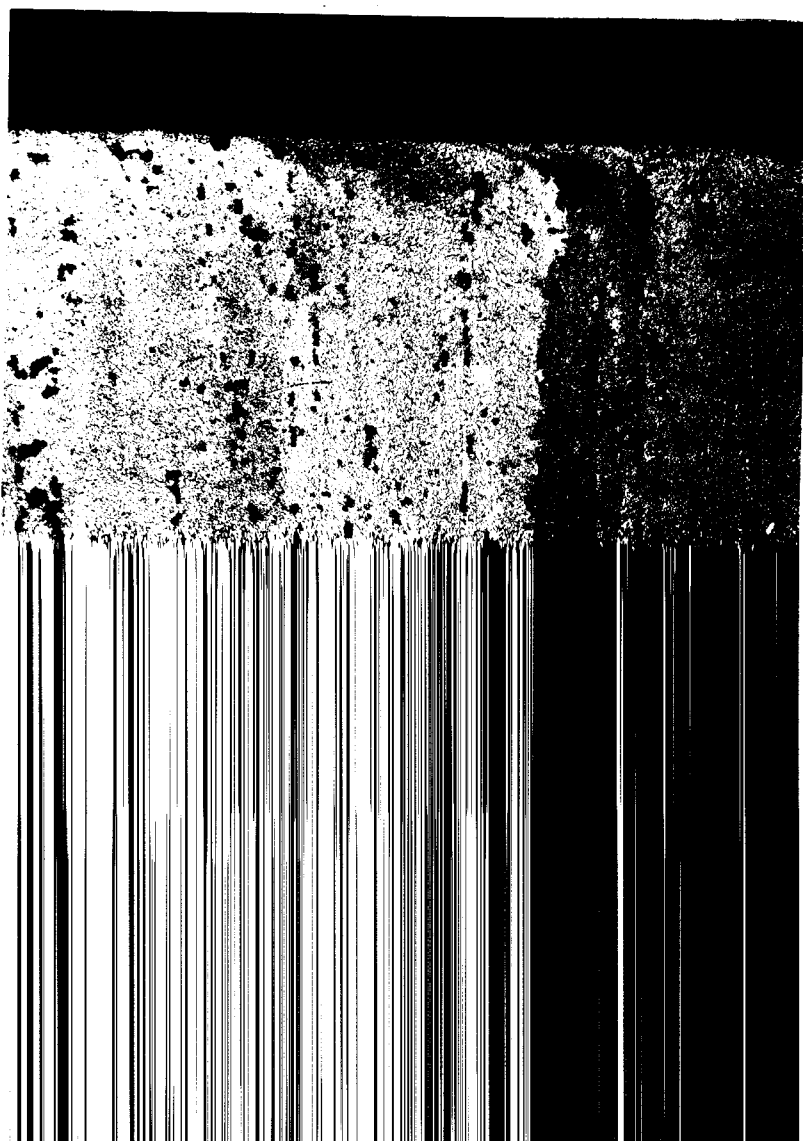
Zvětšeno 500x

Kořen třísky - zvětšeno 100x

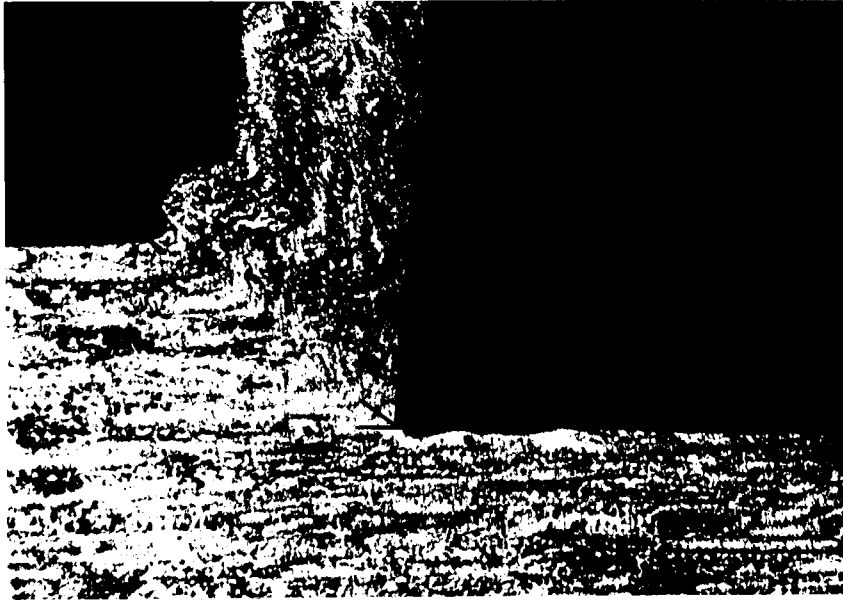


Vzorek p. č. 1 : $v_c = 905 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,38 \text{ mm}$

Obrobený povrch - zvětšeno 200x



Kořen třísky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 2 : $v_c = 357 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,3 \text{ mm}$

Příloha č. 20

Kořen třísky - zvětšeno 100x



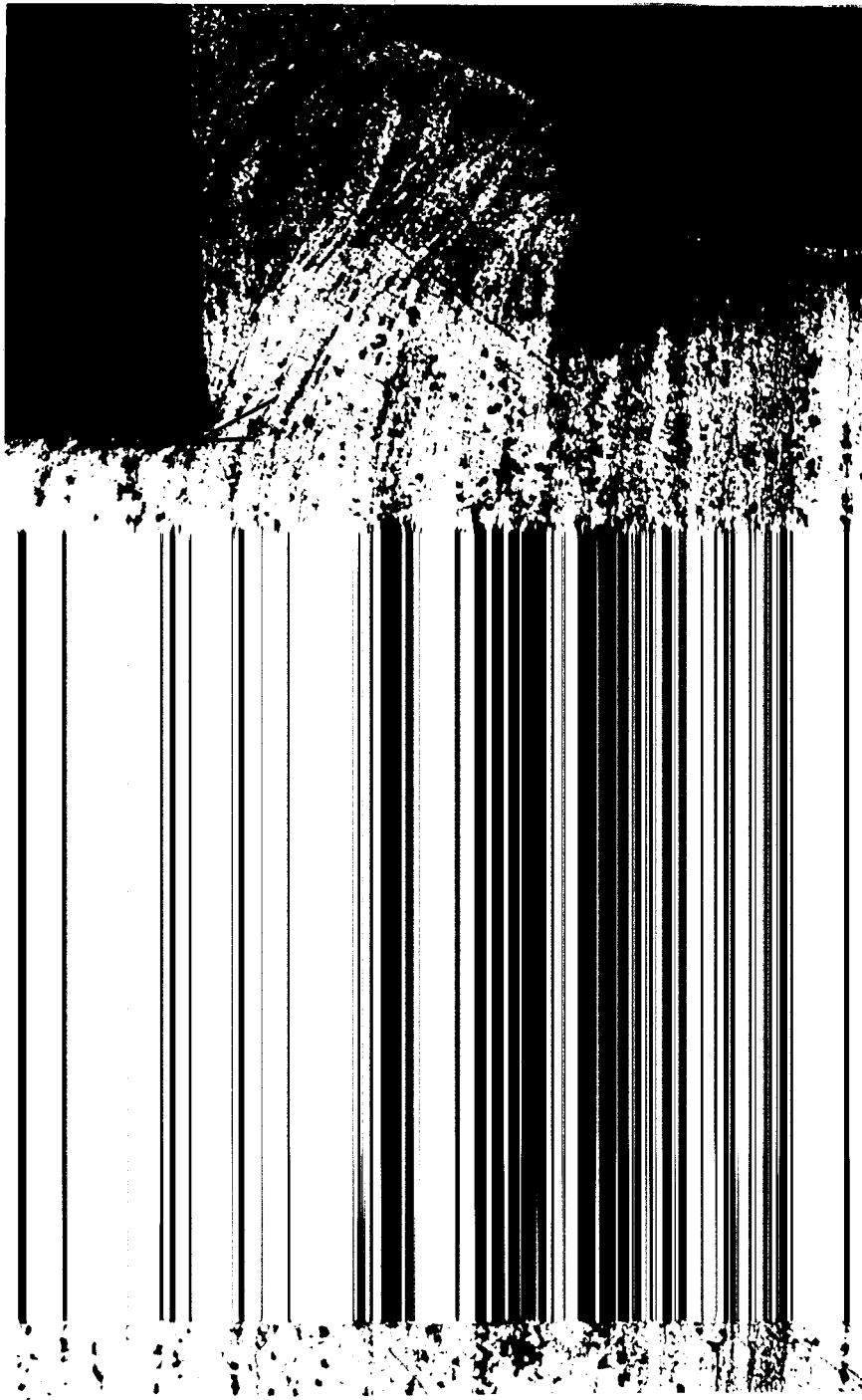
Vzorek p. č. 3 : $v_c = 714 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,3 \text{ mm}$

Obrobený povrch - 200x zvětšeno



Příloha č. 21

Kořen třísky - zvětšeno 100x

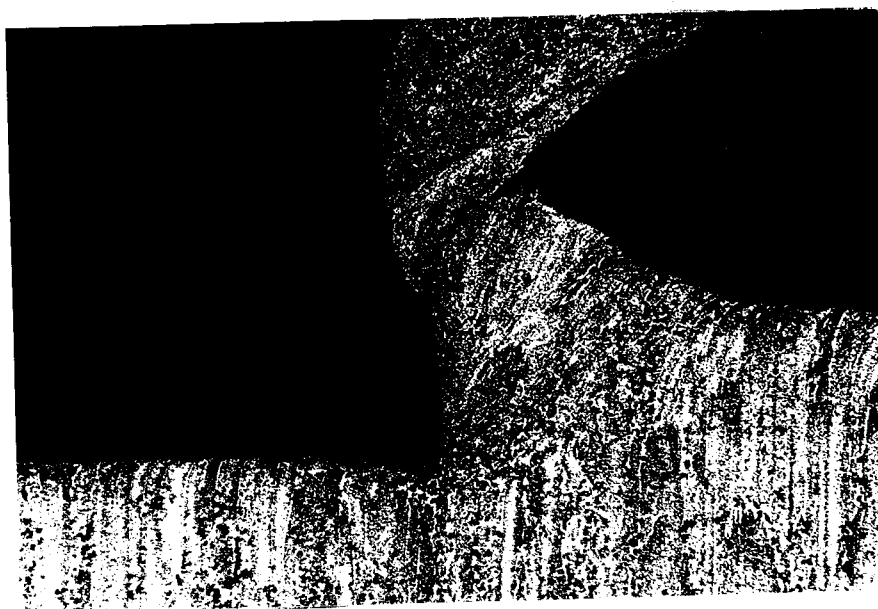


Vzorek p. č. 4 : $v_c = 563 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,3 \text{ mm}$

Obrobený povrch - zvětšeno 200x

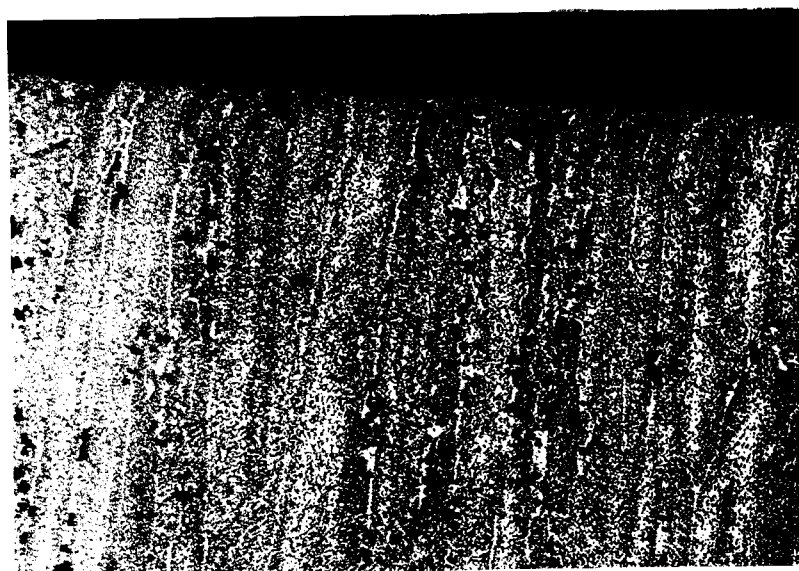


Kořen třísky - zvětšeno 100x

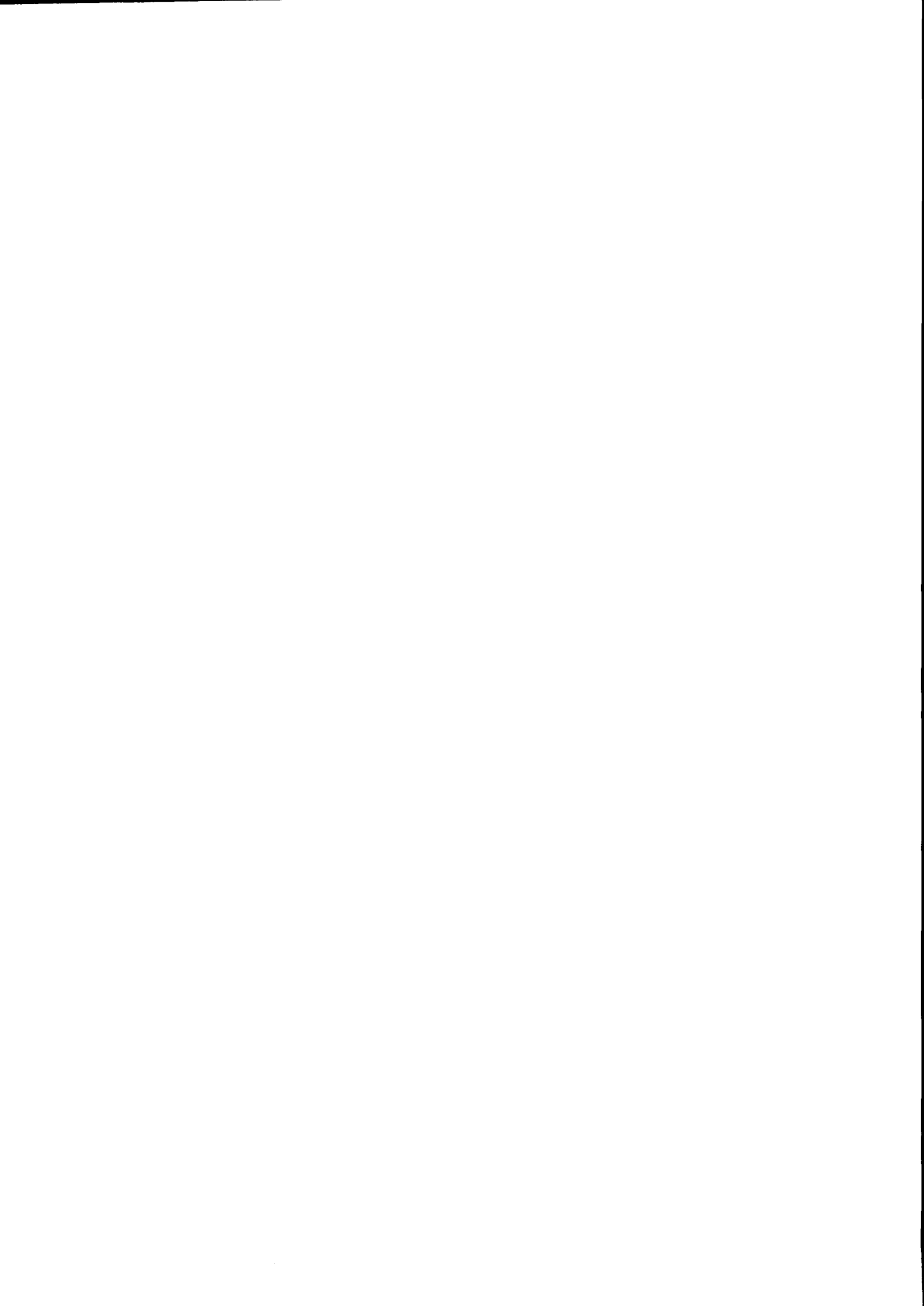


Vzorek p. ě. 5 : $v_c = 563 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,2 \text{ mm}$

Obrobený povrch - zvětšeno 200x



Příloha č. 23



Kořen třísky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 7 : $v_c = 1\,407 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$

Příloha č. 25

Kořen třísky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 8 : $v_c = 563 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$

Příloha č. 26

Kořen třísky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 9 : $v_c = 905 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,3 \text{ mm}$

Příloha č. 27

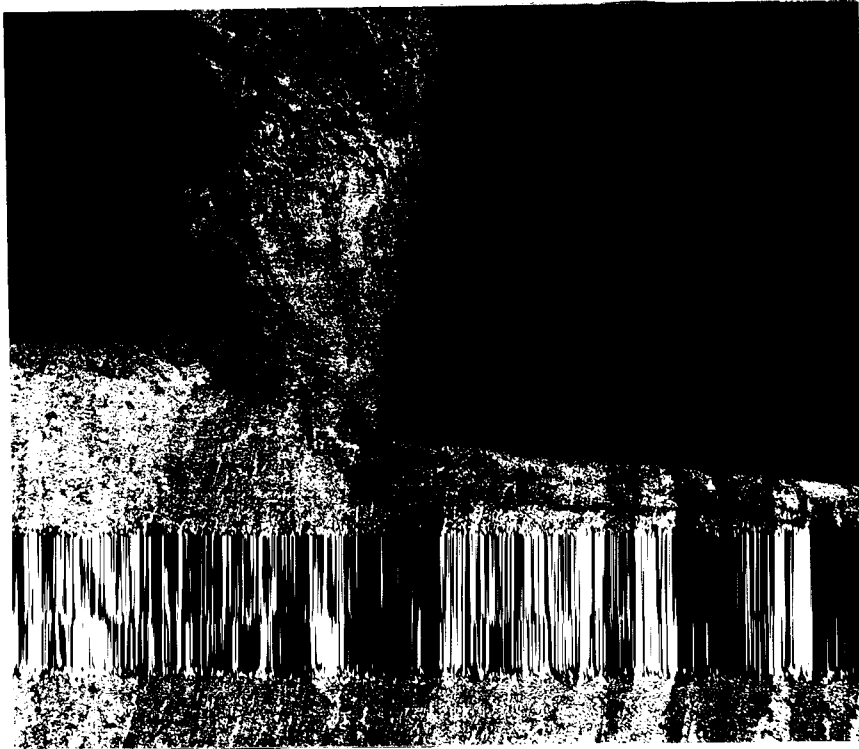
Kořen třísky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 10 : $v_c = 1\,126 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,1 \text{ mm}$

Příloha č. 28

Kořen třísky - zvětšeno 100x



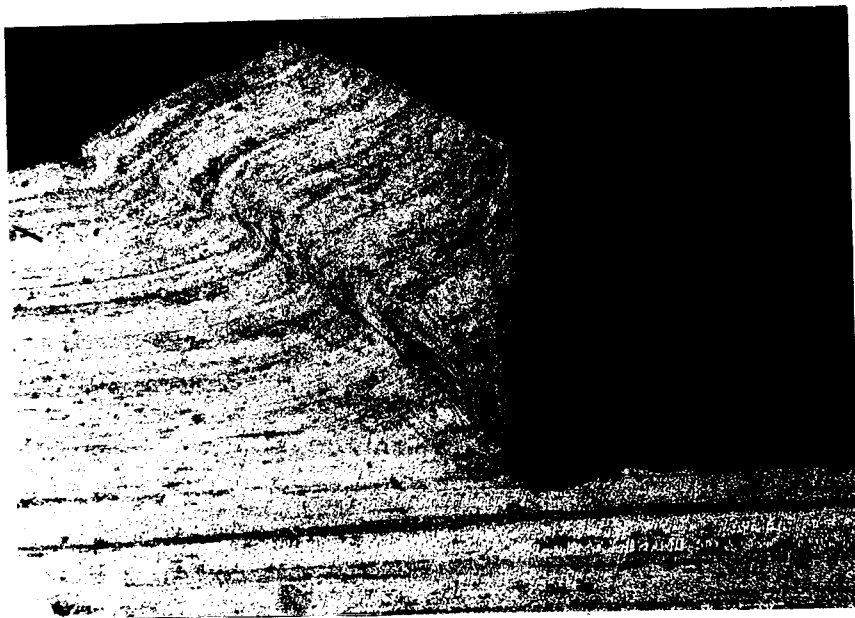
Vzorek p. č. 11 : $v_e = 563 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,1 \text{ mm}$

Obrobený povrch - zvětšeno 200x



Příloha č. 29

Kořen třísky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 12 : $v_c = 1\,407 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$

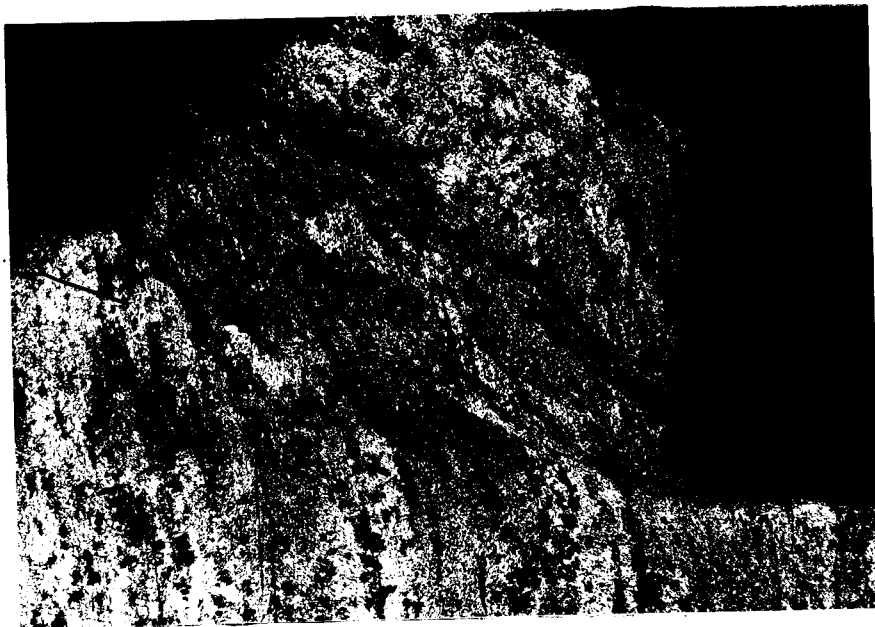
Příloha č. 30

Kořen třísky - zvětšeno 100x



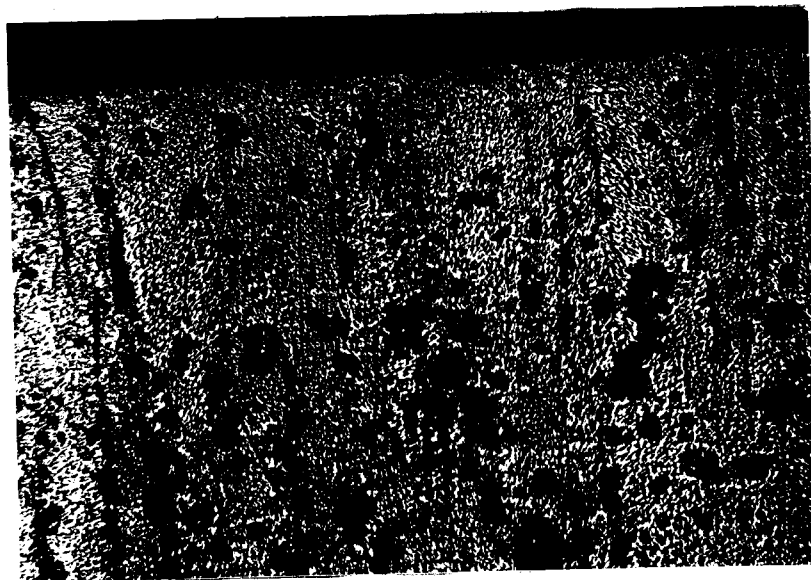
Vzorek p. č. 13 : $v_c = 563 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,5 \text{ mm}$

Kořen třísky - zvětšeno 100x



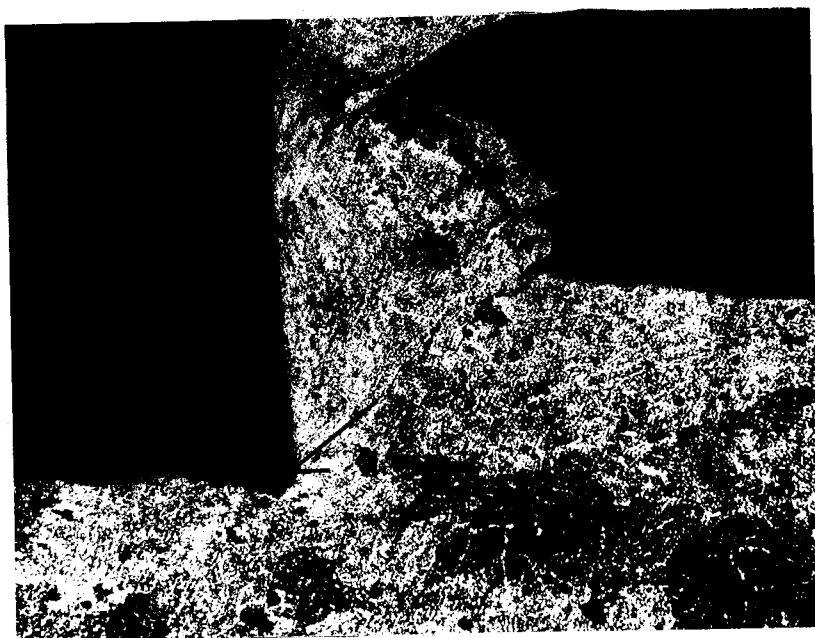
Vzorek p. č. 14 : $v_c = 714 \text{ m.min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm.min}^{-1}$, $h = 0,4 \text{ mm}$

Obrobená plocha - zvětšeno 200x



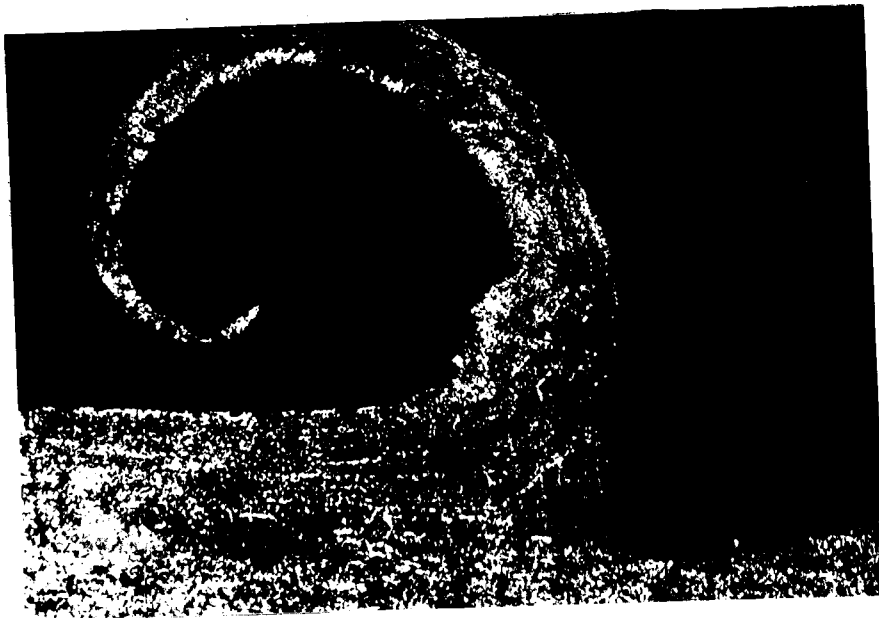
Příloha č. 32

Kořen třísky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 15 : $v_c = 563 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, $h = 0,3 \text{ mm}$

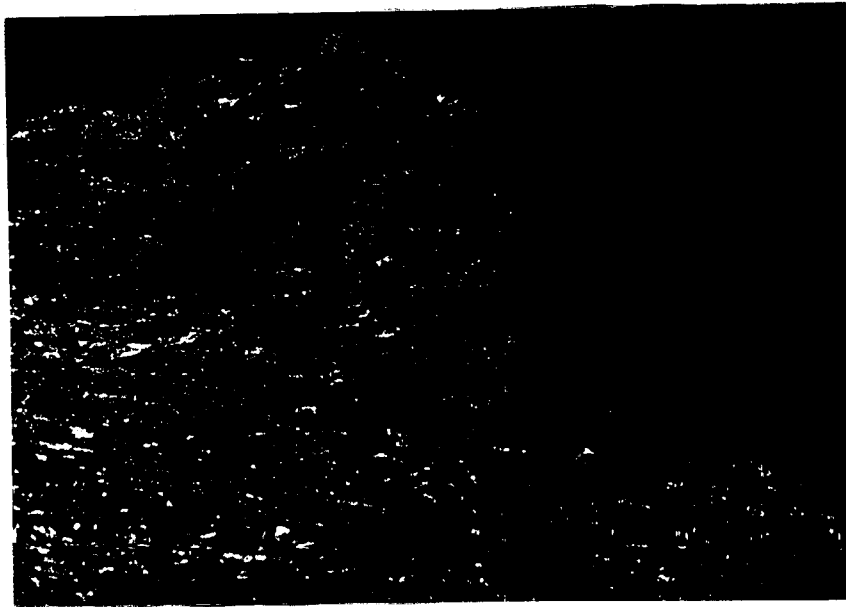
Kořen třísky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 16 : $v_c = 357 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,2 \text{ mm}$

Příloha č. 34

Kořen třísky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 17 : $v_c = 1\,407 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,3\text{mm}$

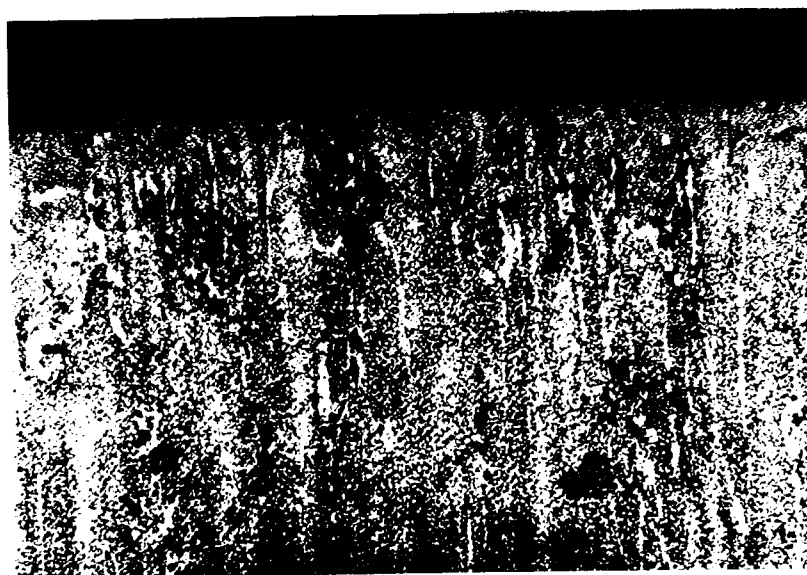
Příloha č. 35

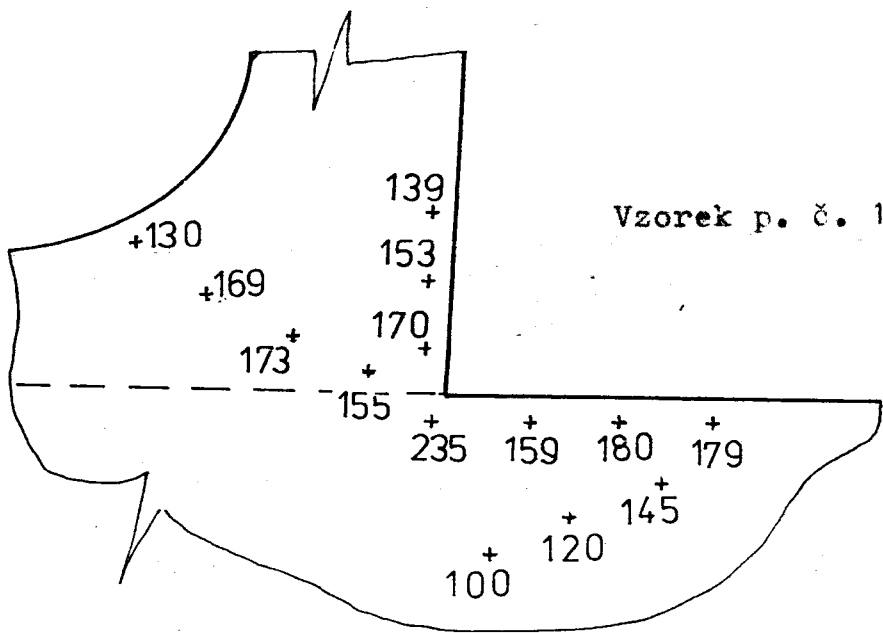
Kořen tisky - zvětšeno 100x



Vzorek p. č. 18 : $v_c = 1\,126 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $s = 800 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, $h = 0,3 \text{ mm}$

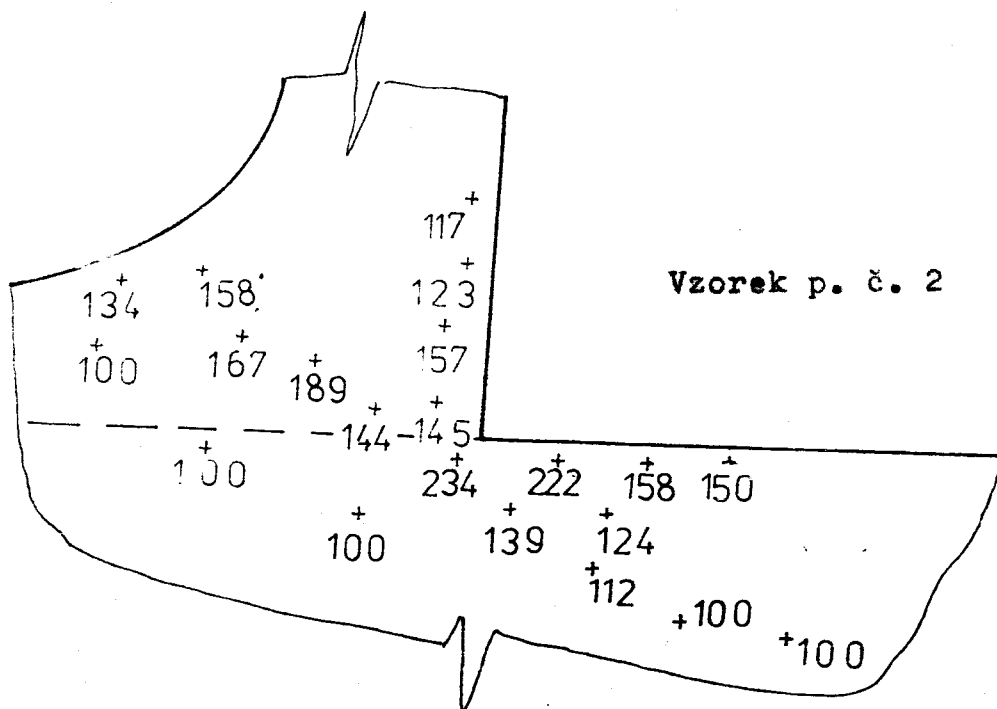
Obrobená plocha - zvětšeno 200x

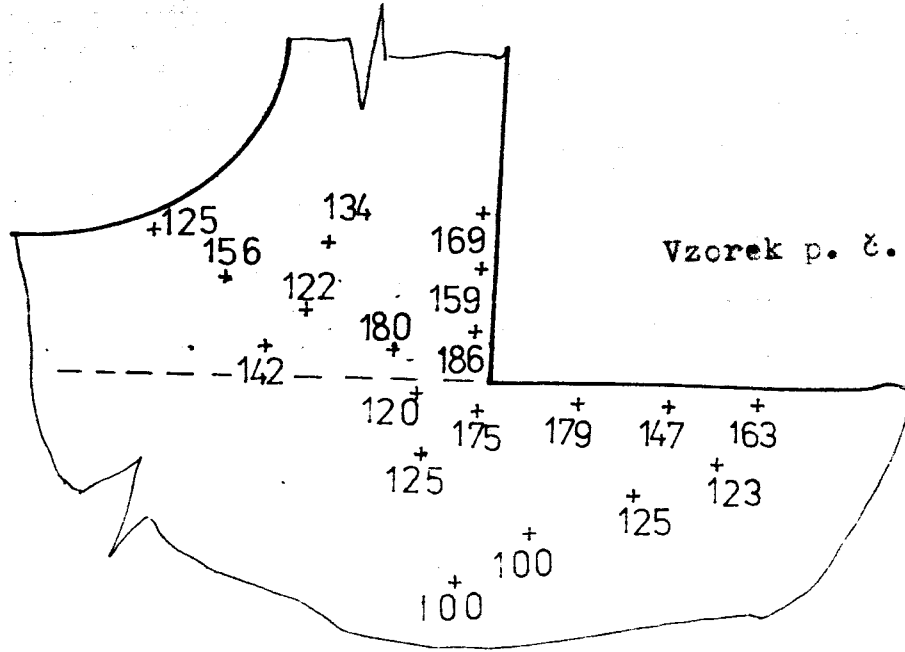




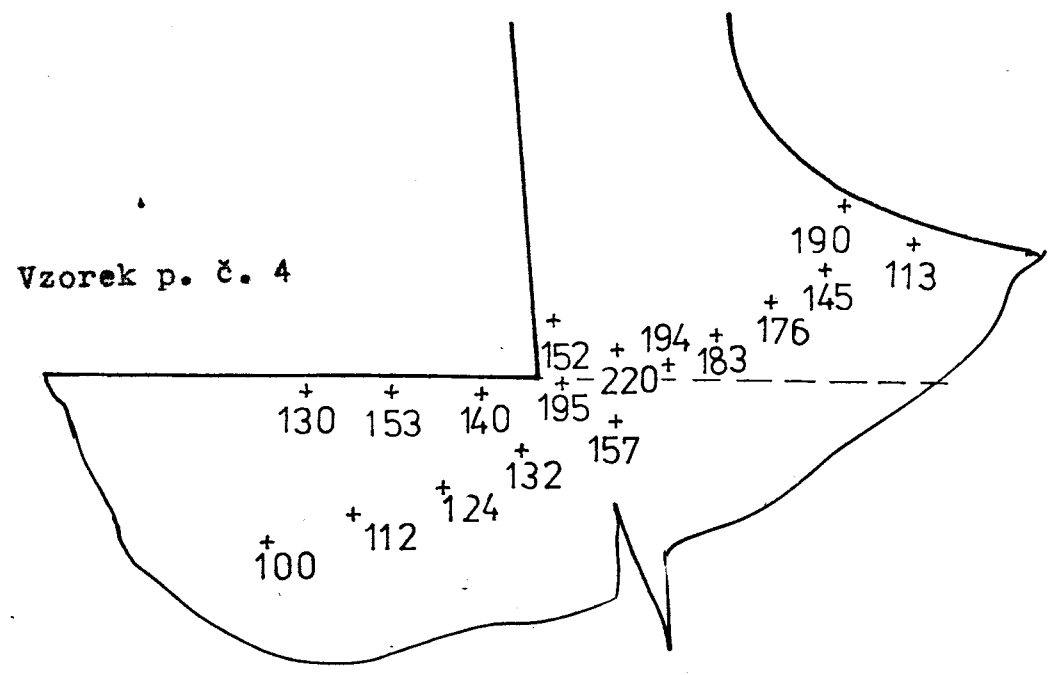
5 μm

Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

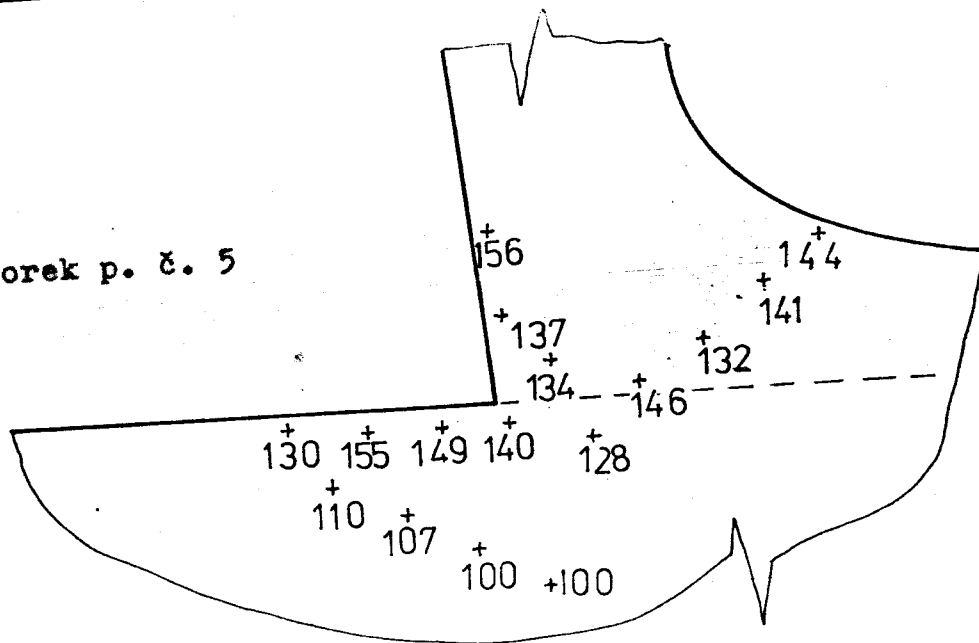




Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v % | 5µm

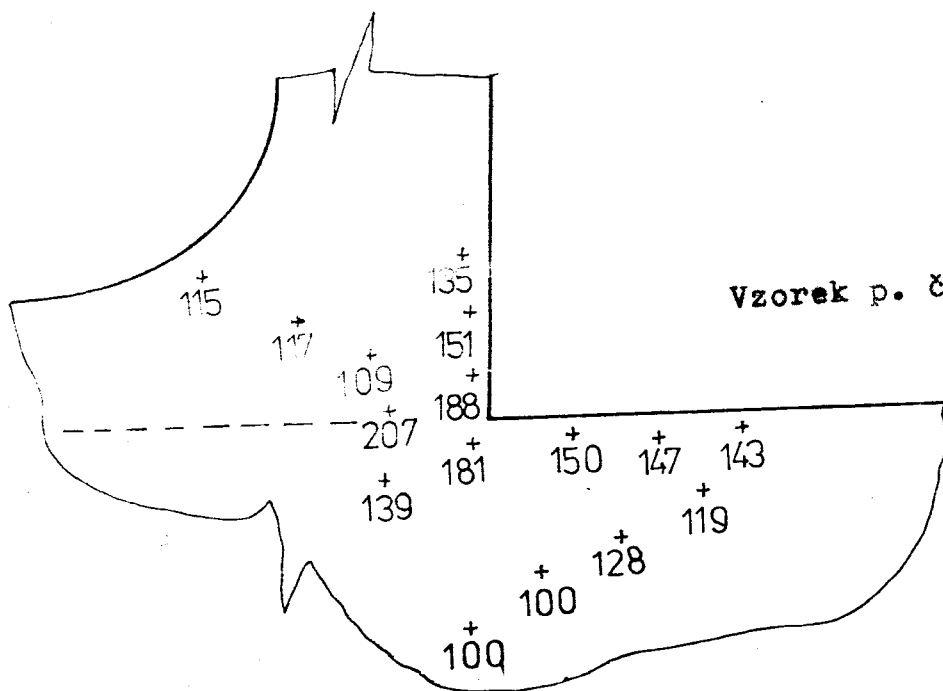


Vzorek p. č. 5

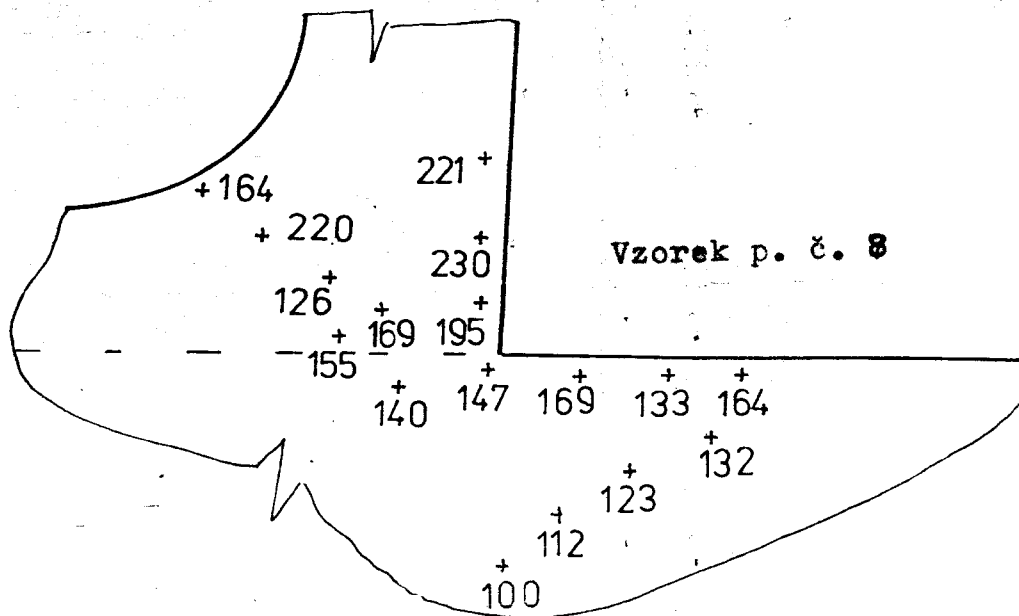


Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění V %

5 μm

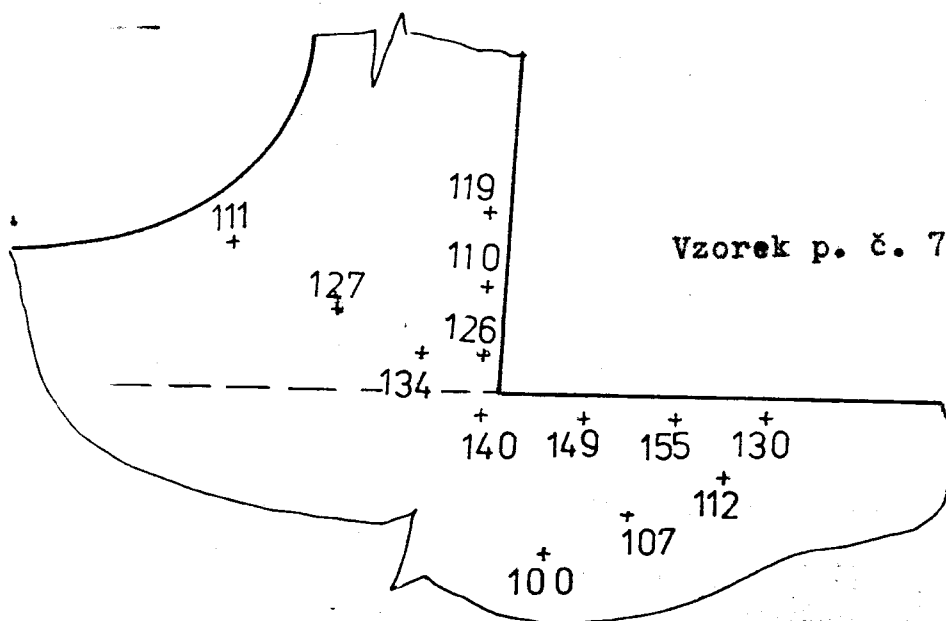


Vzorek p. č. 6

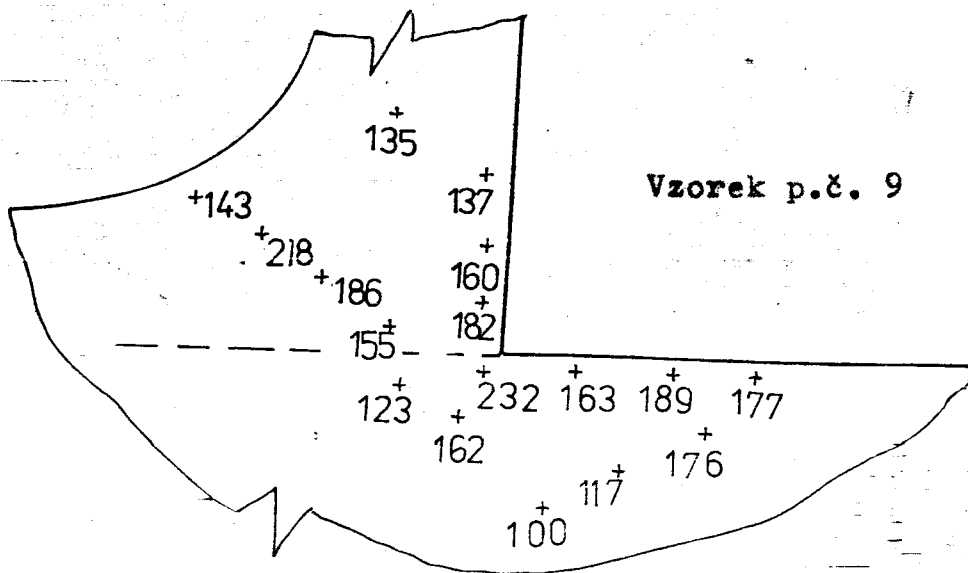


5 μm

Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

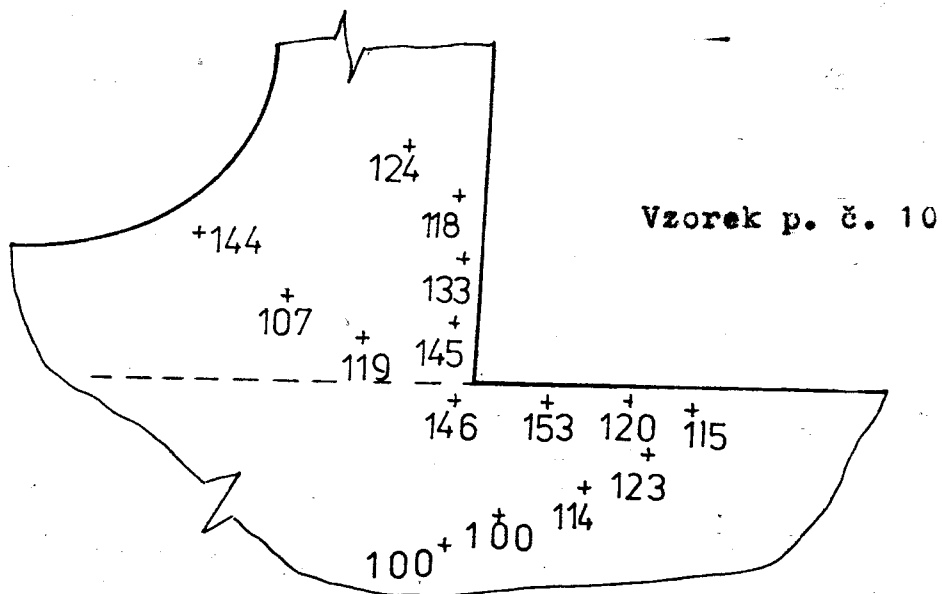


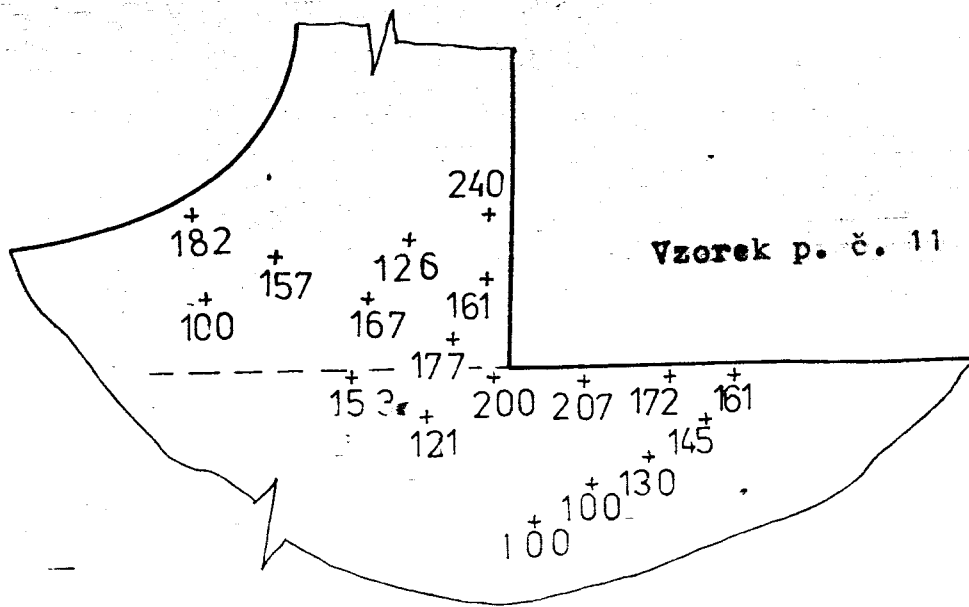
Příloha č. 40



Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

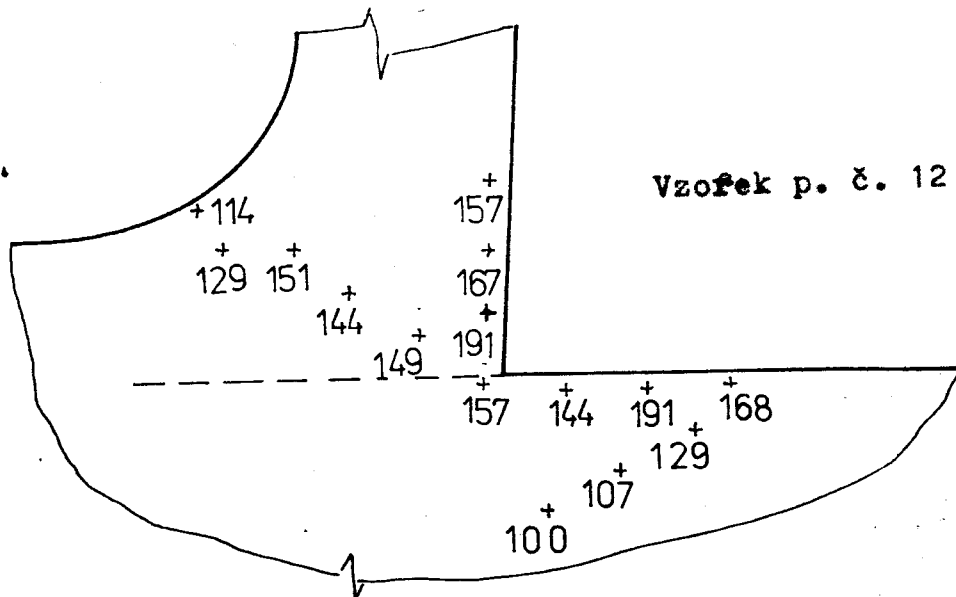
5 μm



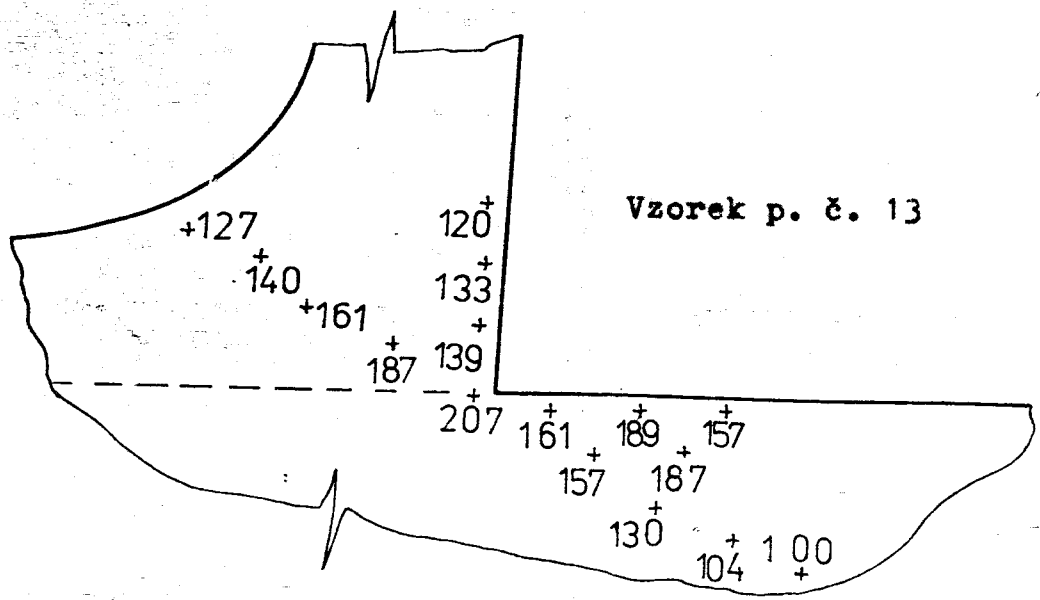


Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

[5 μm

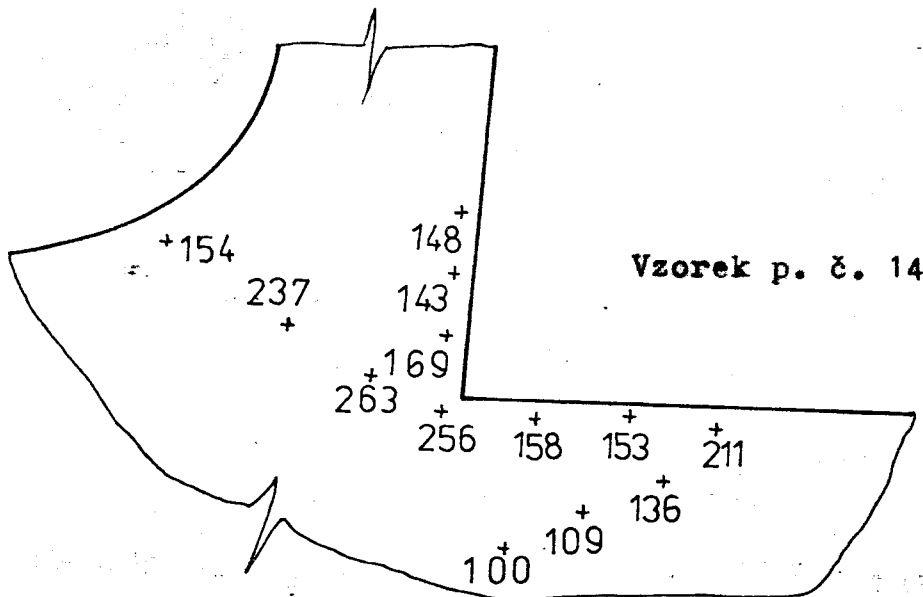


Příloha č. 42

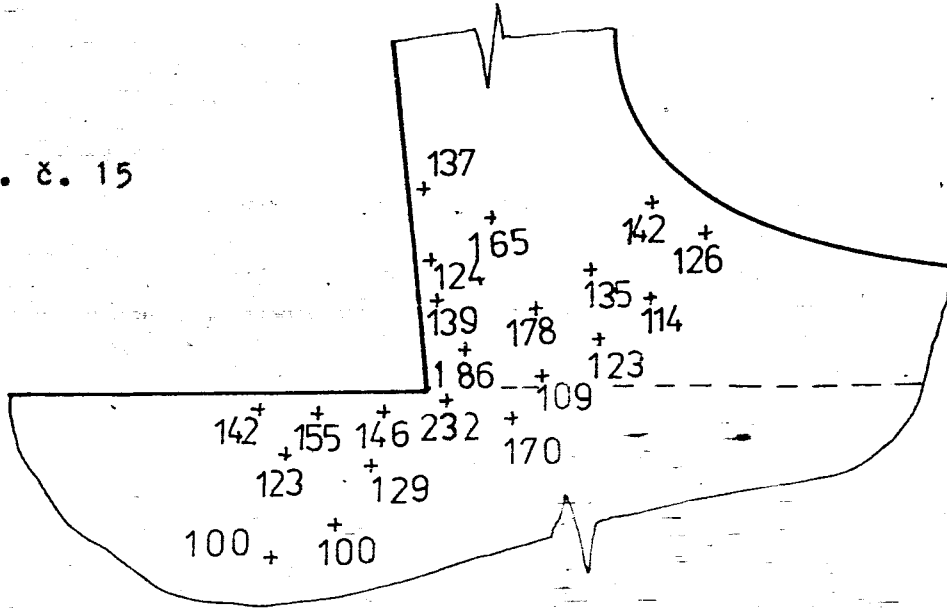


Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění ∇ %

I 5 μ m

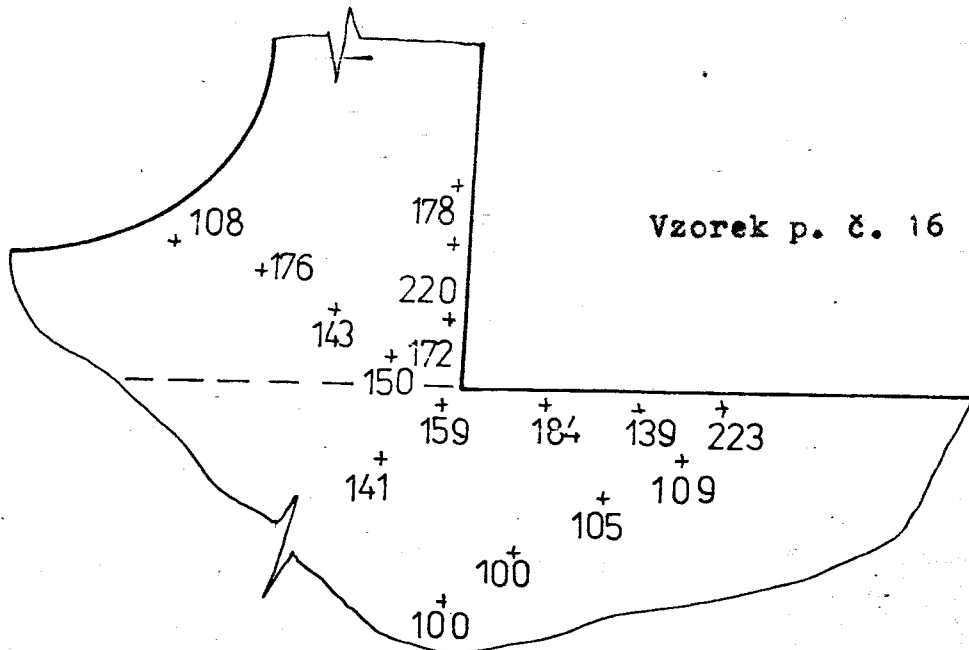


Vzorek p. č. 15

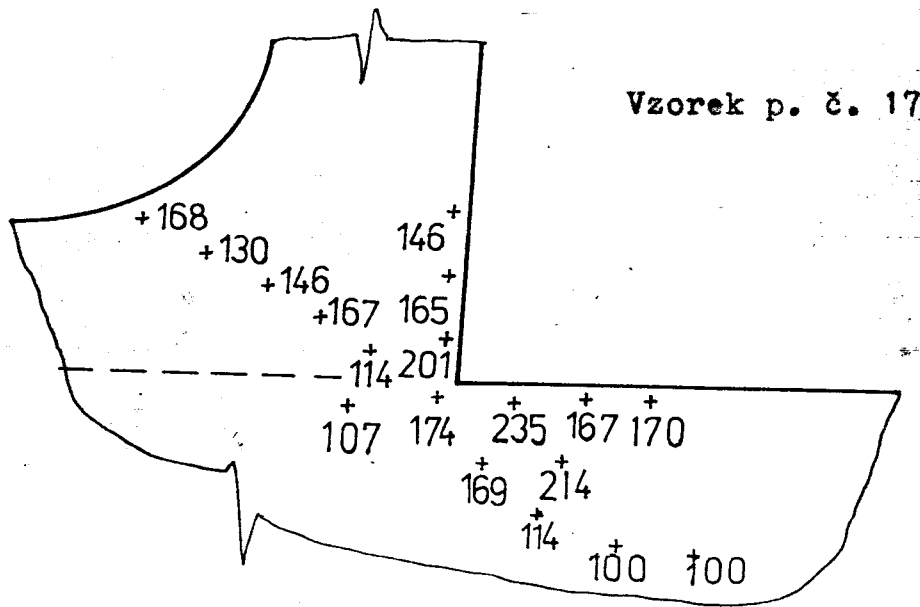


Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

5 μm

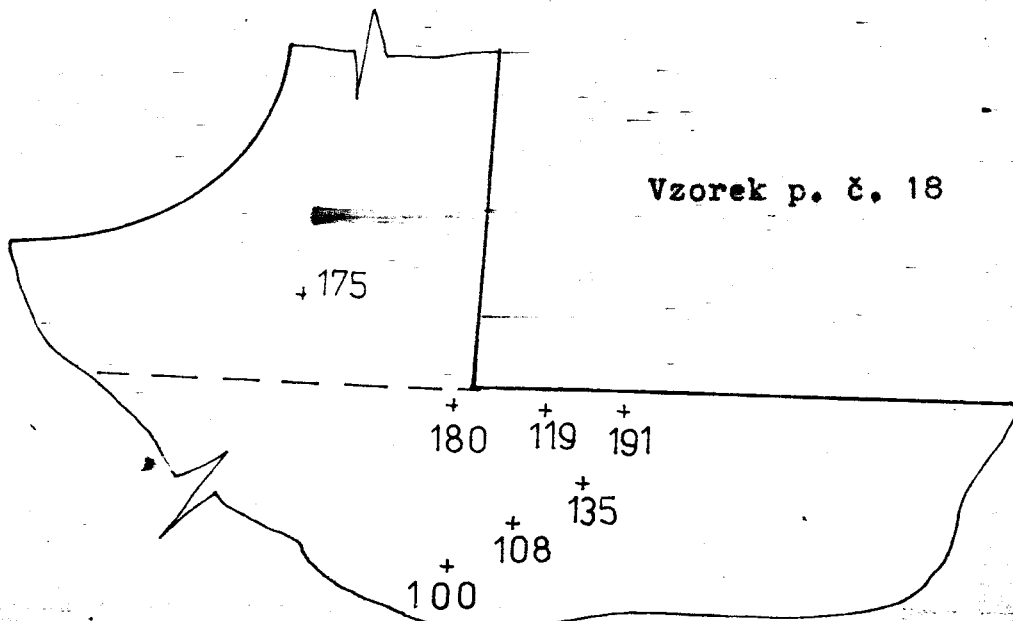


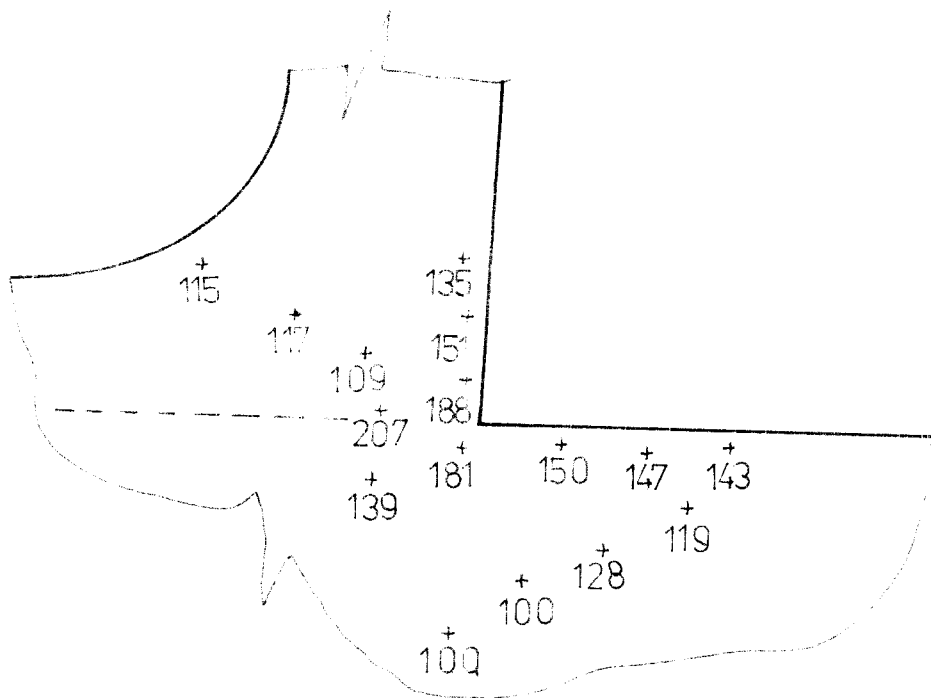
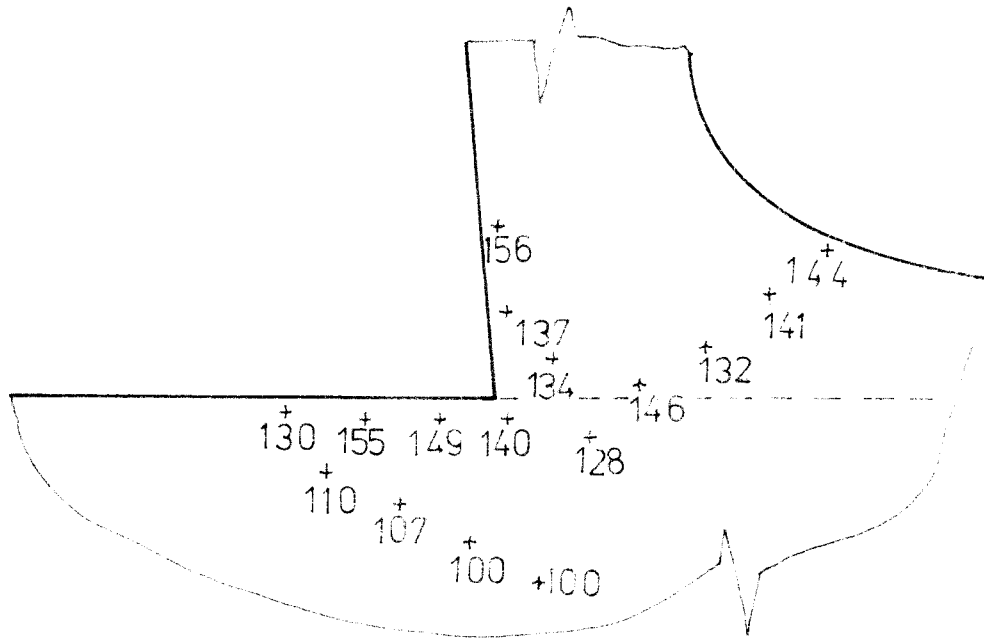
Vzorek p. č. 16



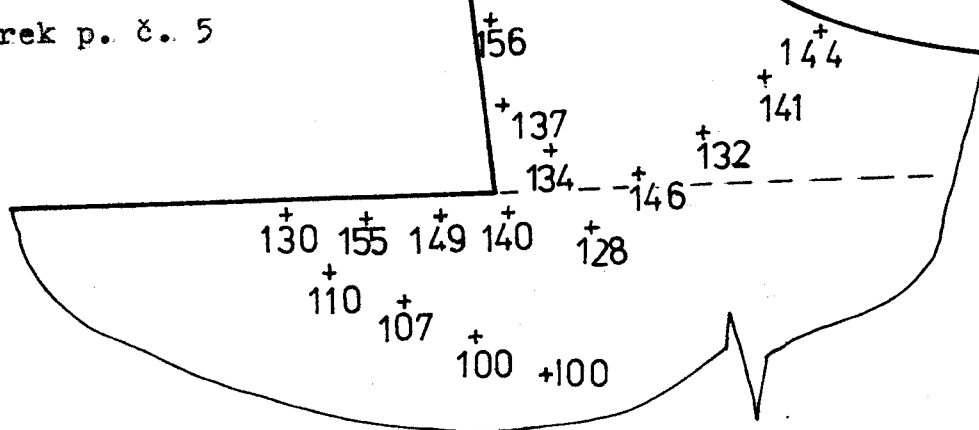
Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

5 μm



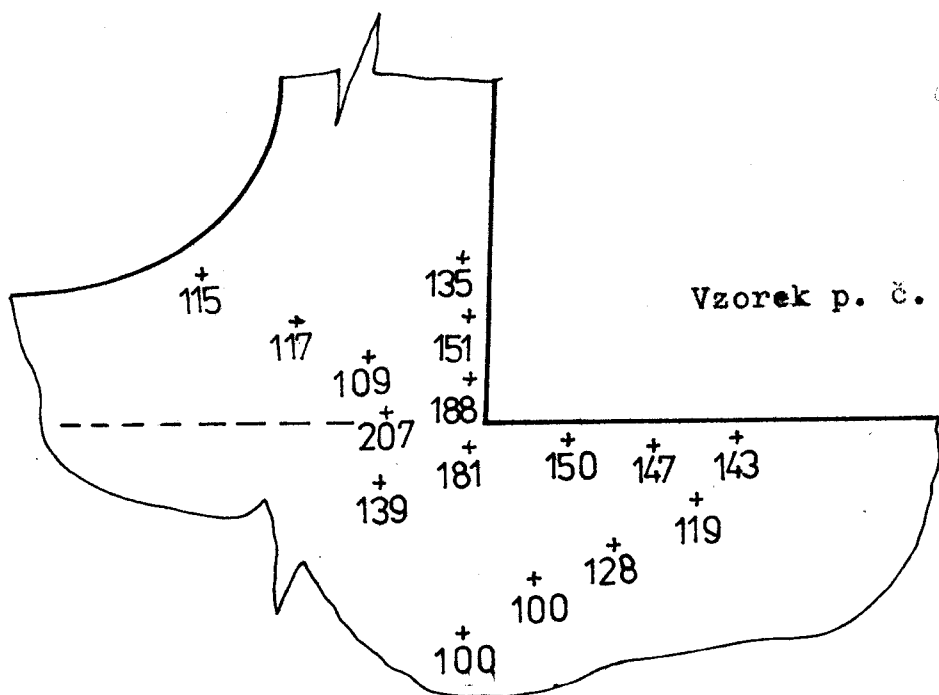


Vzorek p. č. 5

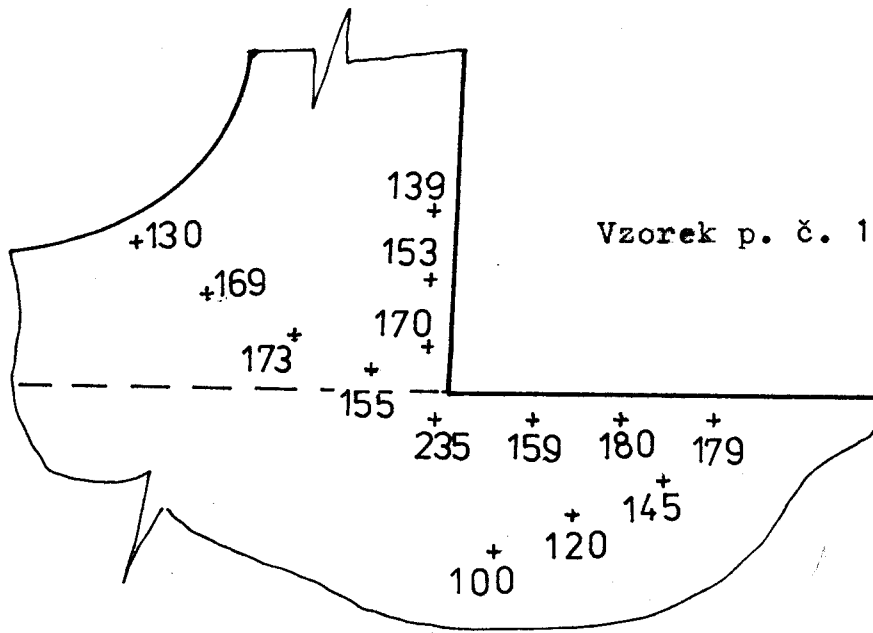


Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění V %

[5 μ m

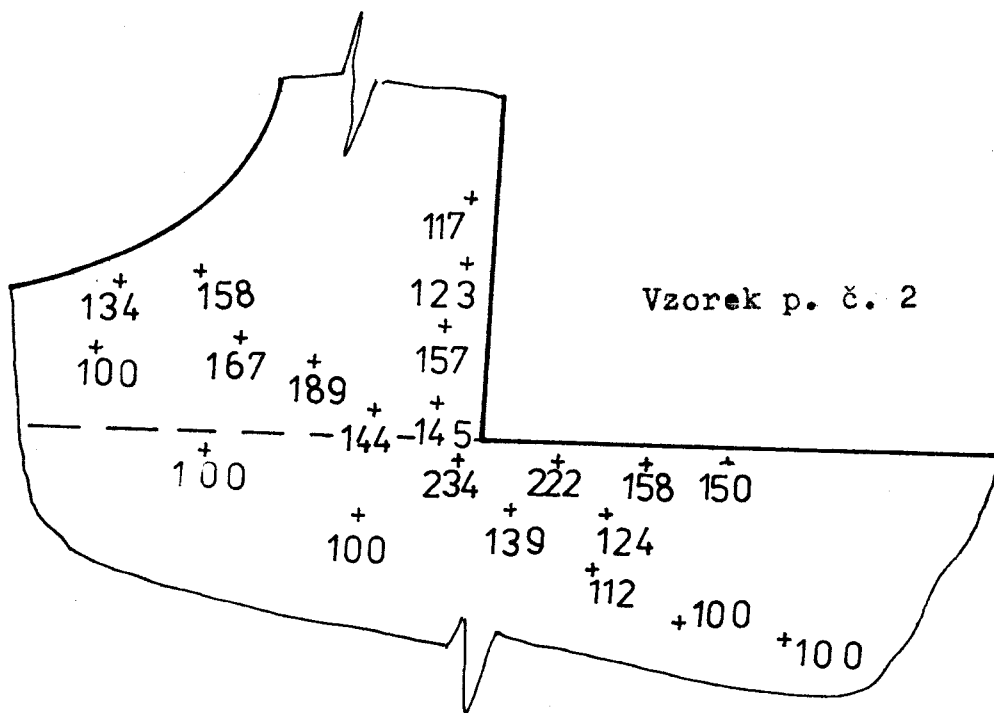


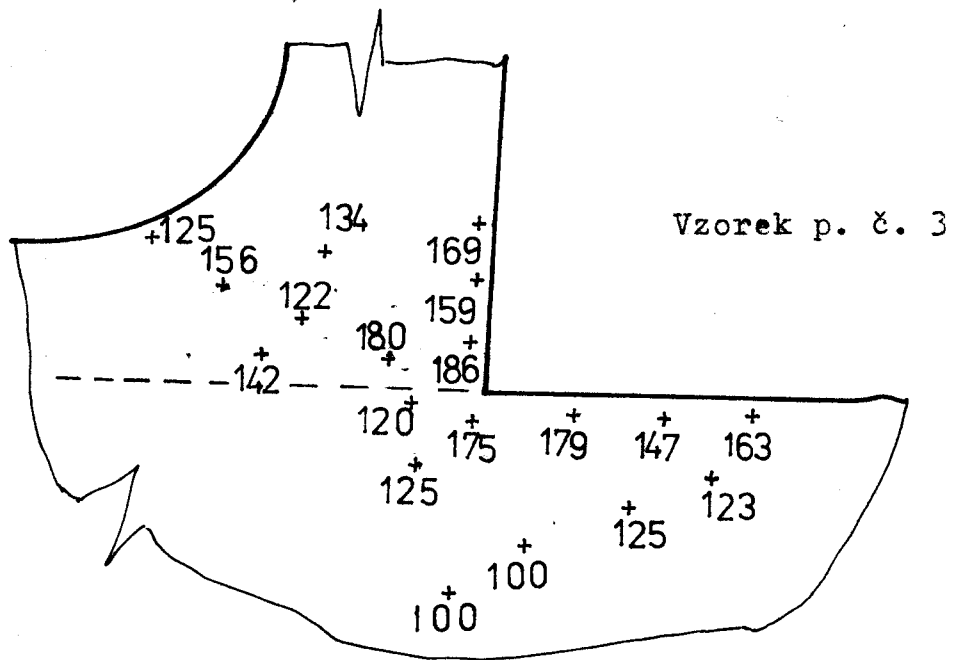
Vzorek p. č. 6



Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

5 μm

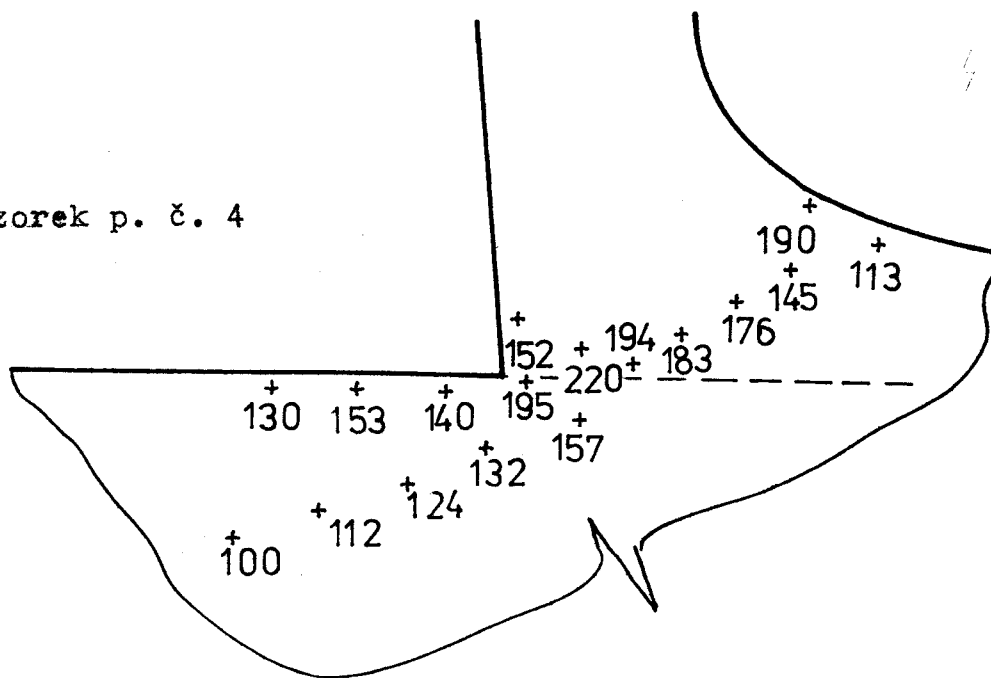




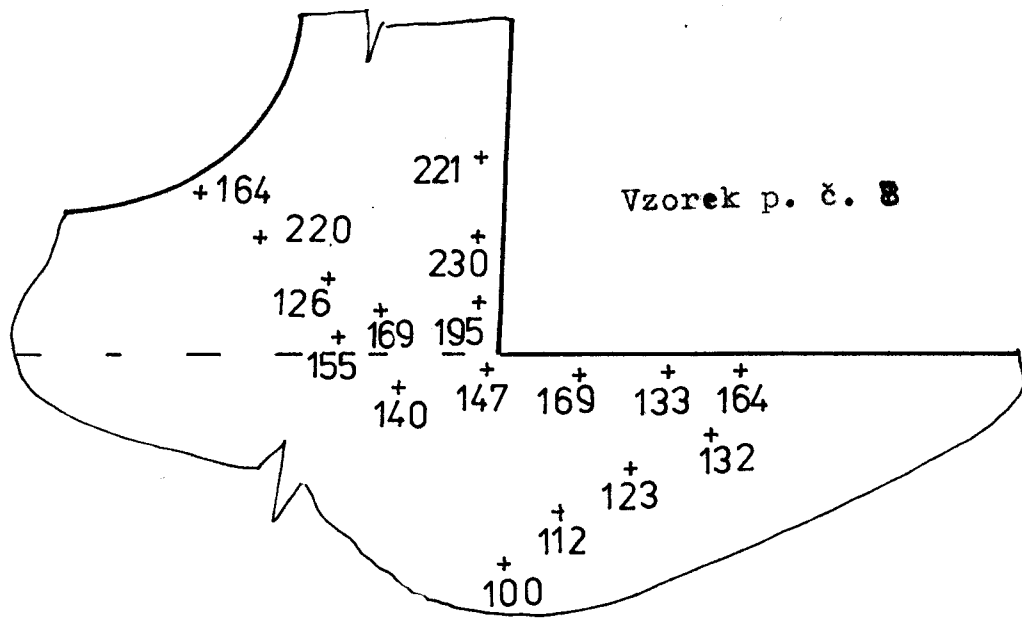
Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

[5 μm

Vzorek p. č. 4

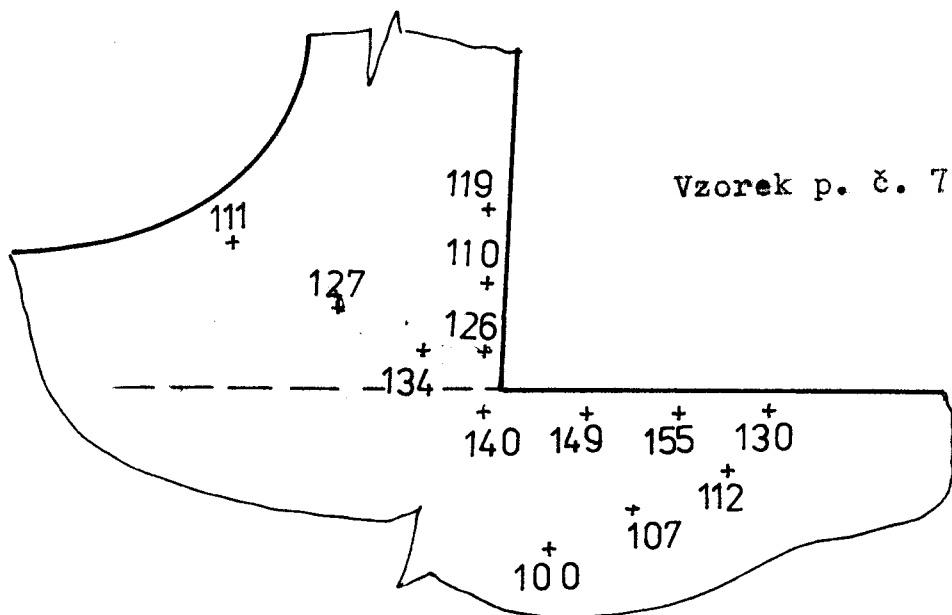


Příloha č. 38

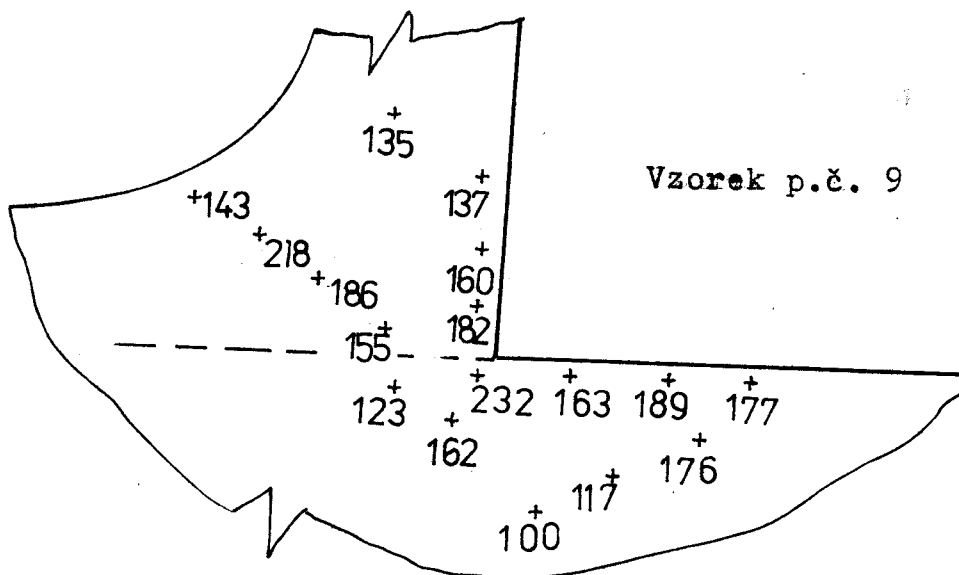


Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

5 μm

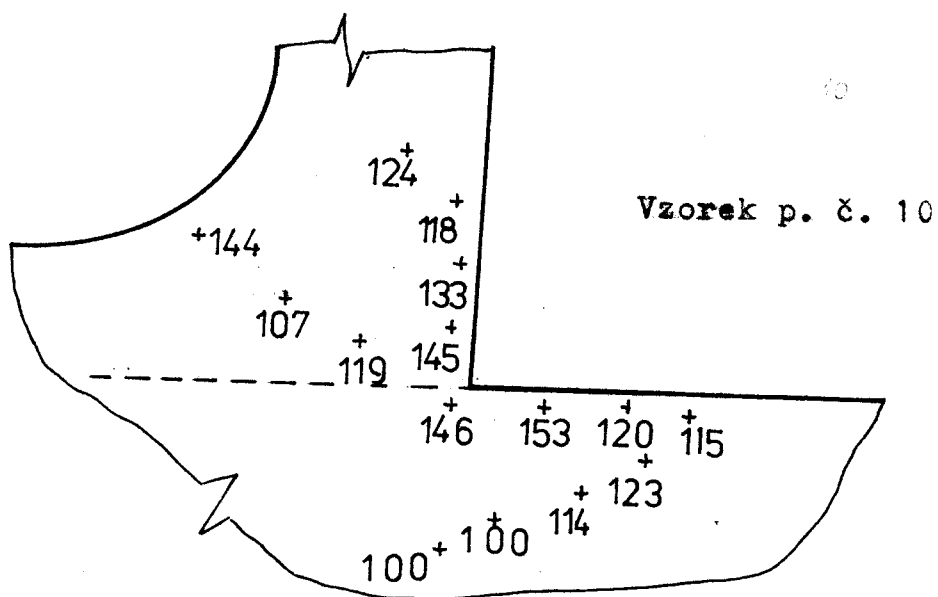


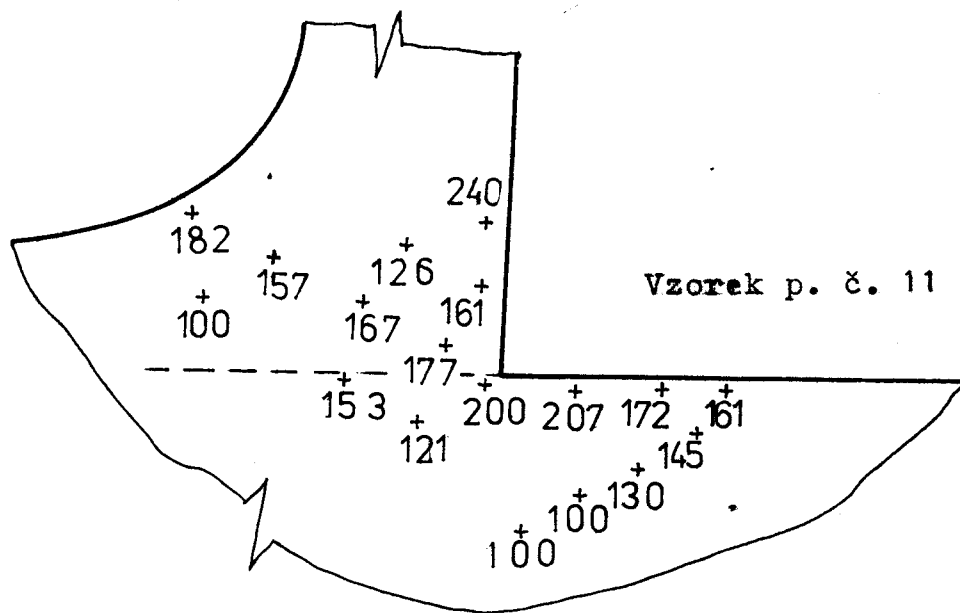
Příloha č. 40



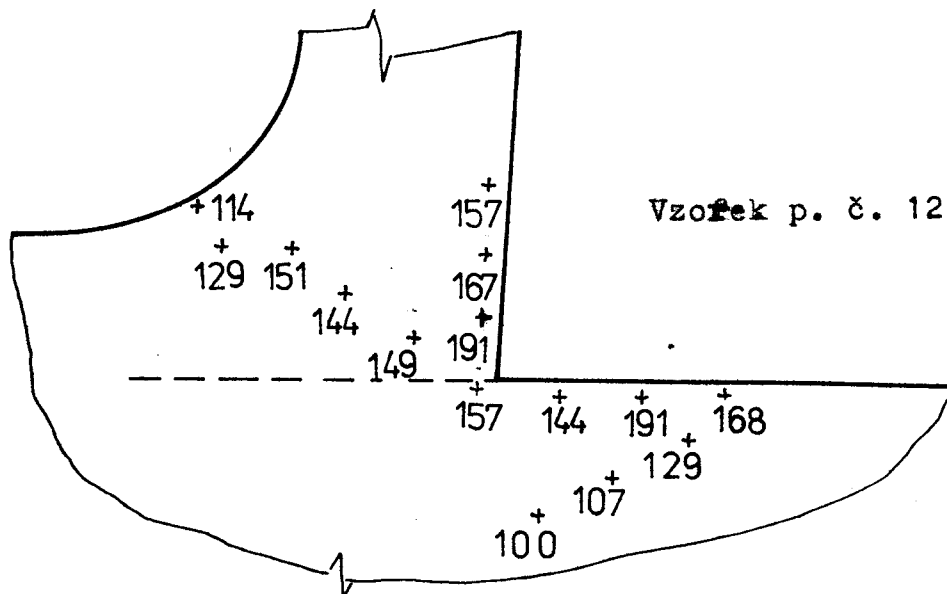
Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

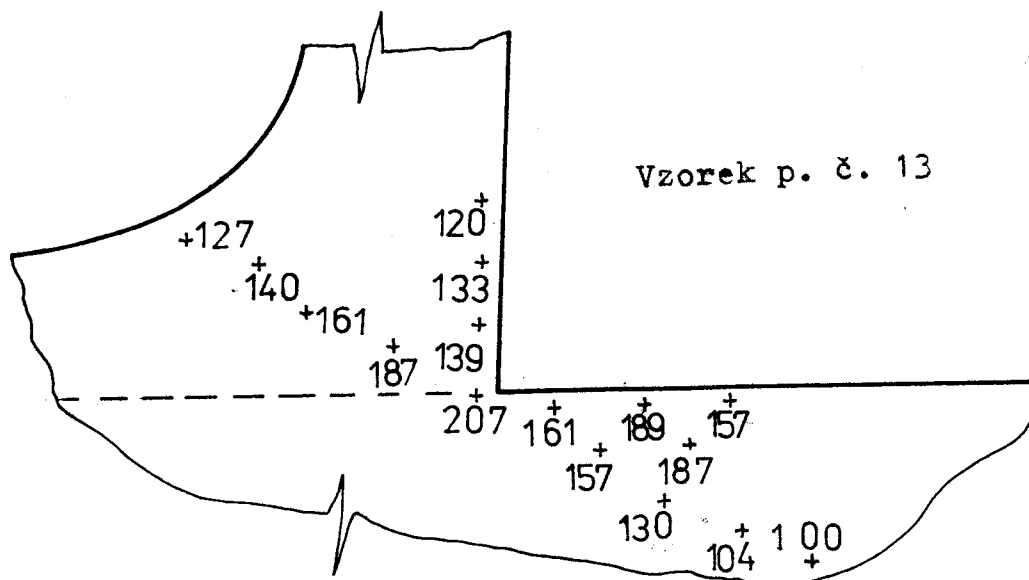
5 μm



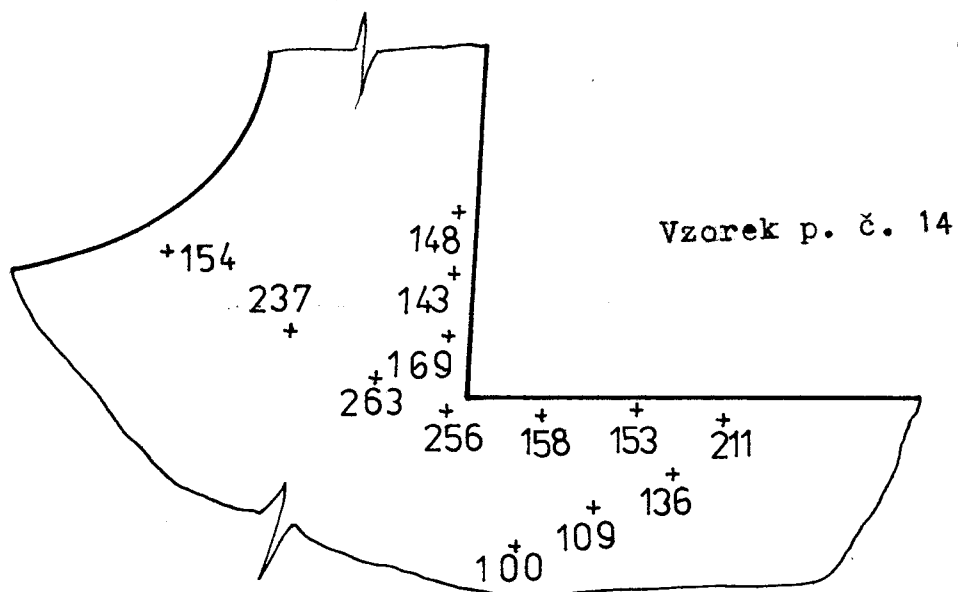


Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v % $\bar{\quad} 5\mu\text{m}$

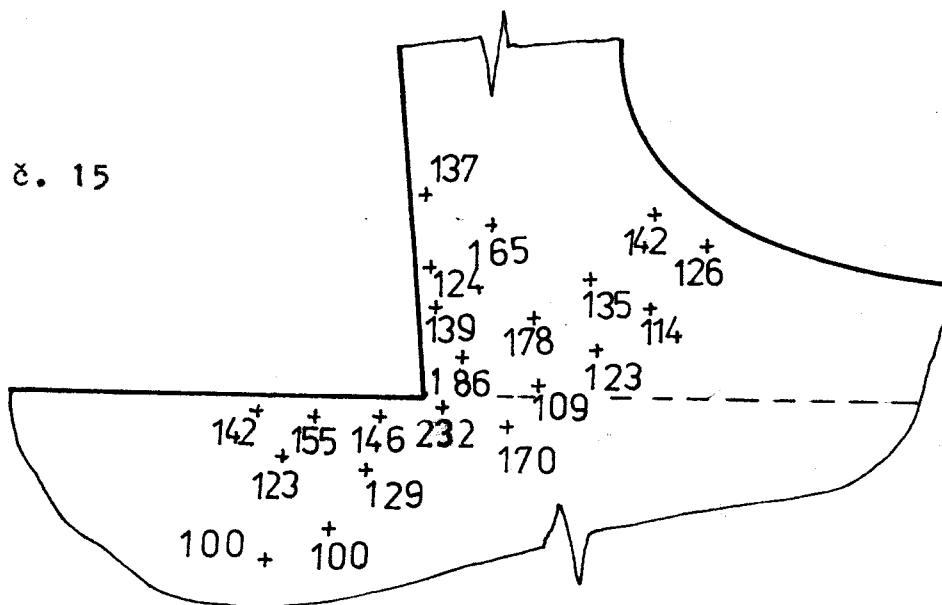




Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v % | 5μm

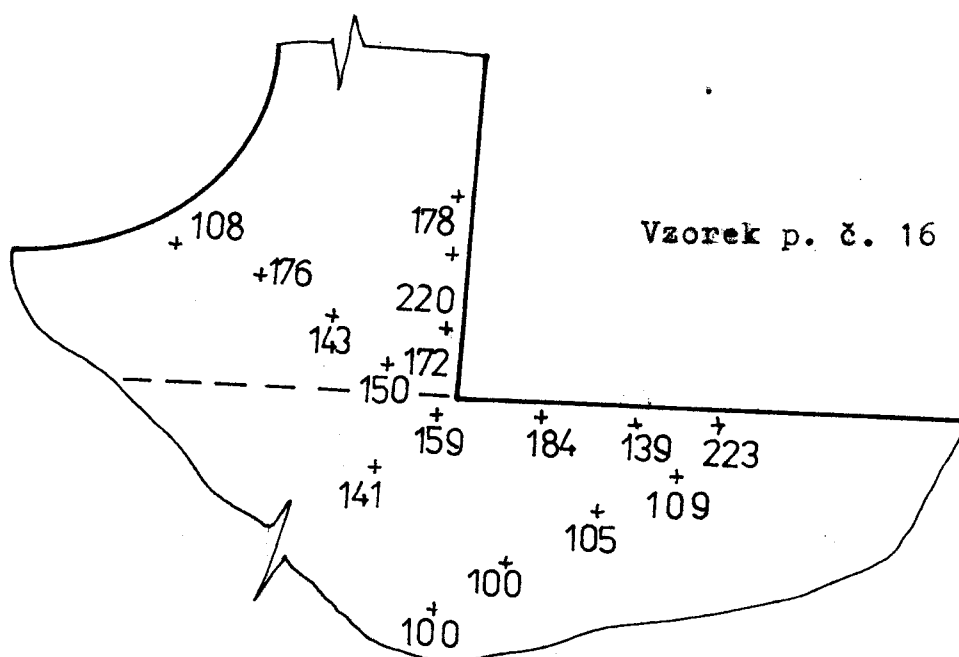


Vzorek p. č. 15

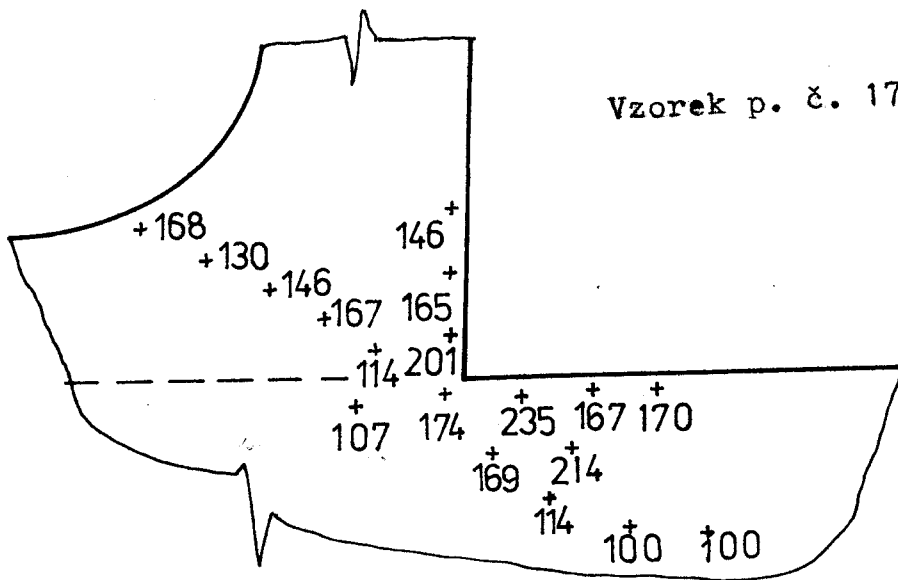


Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v %

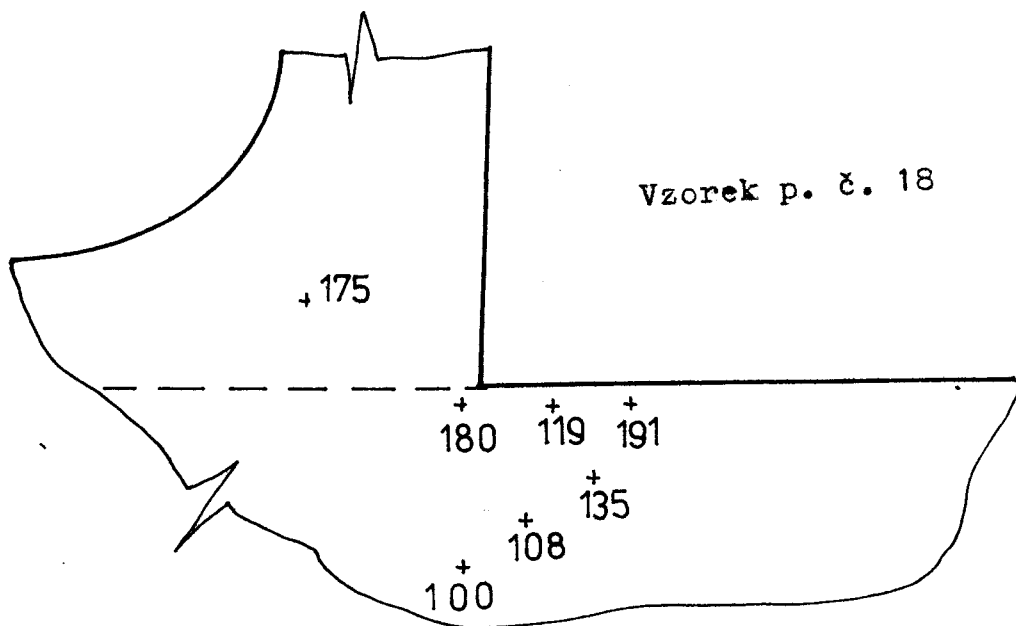
5 μm



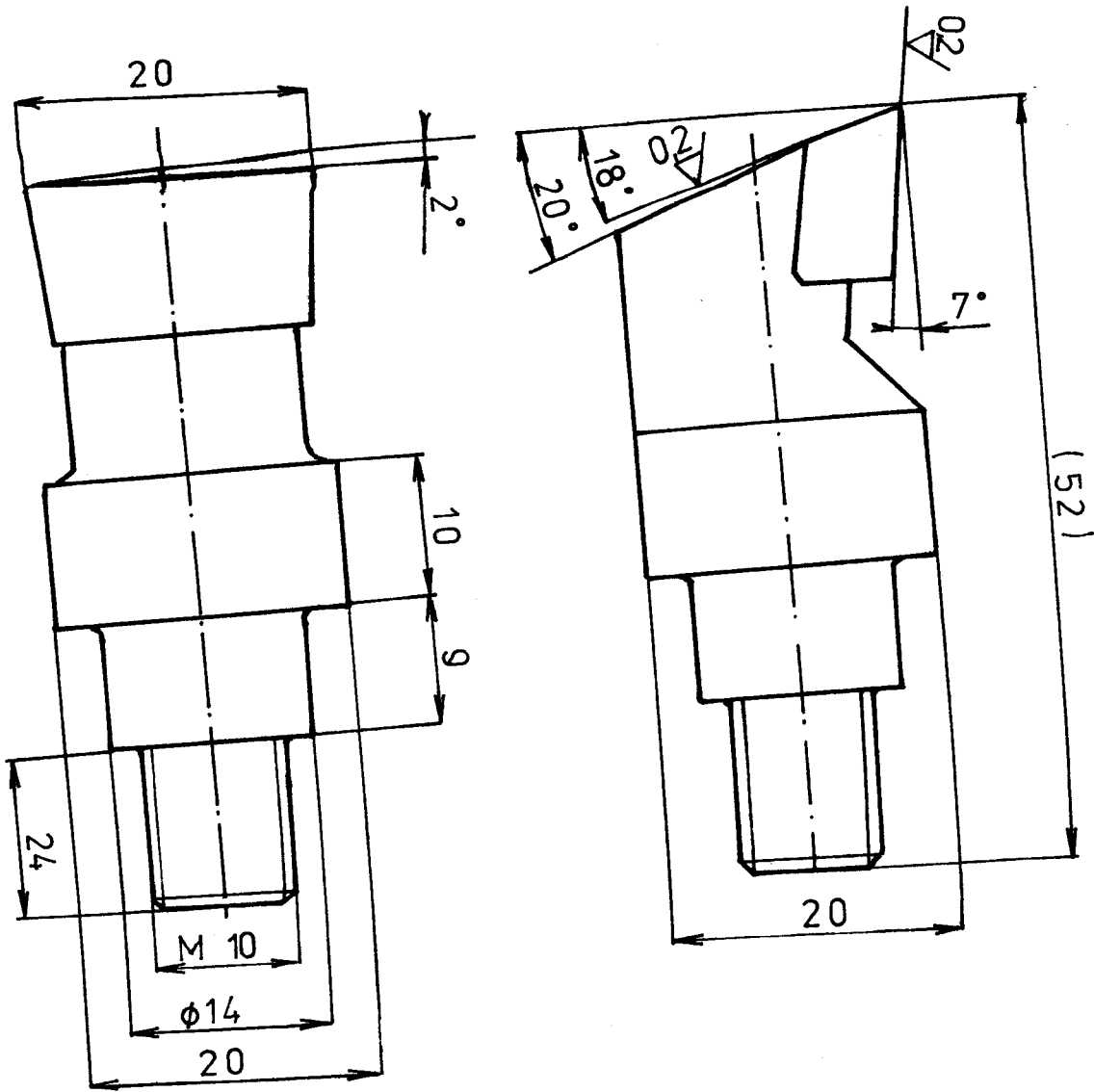
Vzorek p. č. 16



Oblast tvorby třísky, stupeň zpevnění v % | 5 μ m



Příloha č. 45



POLOTOVAR
J HORÁK

NŮŽ

20*20

ČSN

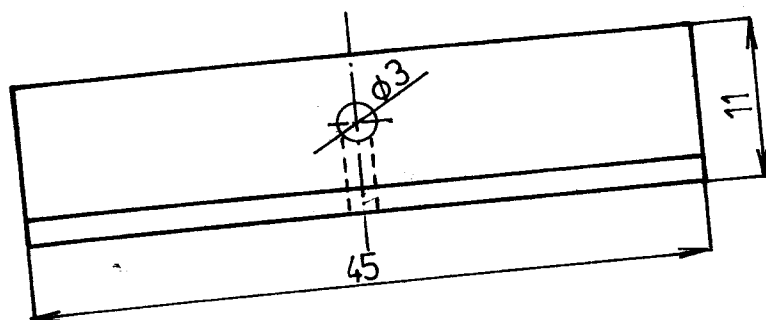
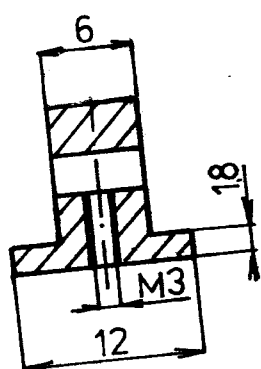
223718 H10

2:1

3.2.89

VŠST

NÁSTROJ



J. HORÁK

2:1

32 89

VŠST

VZOREK

4-KOM-OM-186-02