

Vysoká škola strojní a textilní
v Liberci
Nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Obor 23 - 07 - 8 strojírenská technologie
Zaměření obrábění a montáže

OBROBITELNOST BROUŠENÍM VYBRANÝCH

NIKLOVÝCH SLITIN

602

KOM - XXXX

Diplomant : Martin Havlín
Vedoucí práce : Ing. Jaroslav Janoušek /VŠST Liberec/
Konzultant : Doc. Ing. Horyna, Csc. /VŠST Liberec/

Rozsah práce :

Počet stran : 69
Počet obrázků : 31
Počet tabulek : 6
Počet fotografií : 8
Počet příloh : 5

Liberec 28.5.1989

Vysoká škola strojírenská a textilní

Fakulta: strojí

Katedra: obrábění a montáže

Školní rok: 1988 - 89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Martina Havlíka

obor 23 - 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: Obrobitelnost broušením vybraných niklových slitin.

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor problematiky broušení niklových slitin.
2. Vliv obvodové rychlosti brousícího kotouče a řezné kapaliny na výstupní parametry procesu broušení včetně zbytkového pnutí a zpevnění povrchové vrstvy.
3. Metalografické vyhodnocení vytvořeného povrchu.
4. Vyhodnocení experimentů.

V 247/89 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ

Ústřední knihovna

LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 5

PSČ 461 17

Nikl - 20% - 20% - 20%
- broušení

KOM/OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50 stran textu

Seznam odborné literatury:

- 1/ Janoušek, J.: Vliv technologie broušení na povrchové vrstvy niklonových slitin. /Výzkumná zpráva/. VŠST Liberec, 1987.
- 2/ Oczoś, K. - Parzycki, J.: Szlifowanie, WNT, Warszawa 1986.
- 3/ Gazda, J. - Janoušek, J.: Výzkum řezivosti brousicích kotoučů pro broušení speciálních materiálů ve výrobě leteckých motorů. /Výzkumná zpráva/. VŠST Liberec, 1985.

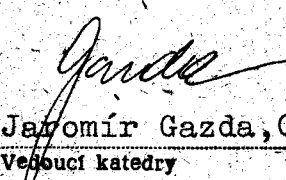
Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Janoušek

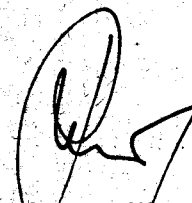
Konzultant: Doc. Ing. Horyna, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 26. 10. 1988

Termín odevzdání diplomové práce: 2. 6. 1989




Doc. Ing. Jaromír Gazda, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.
Děkan

v Liberci dne 26. 10. 1988

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Liberci dne 28.5.1989

M. Havlík

P O D Ě K O V Á N Í

Děkuji svému vedoucímu diplomové práce
s. Ing. Janouškovi za odborné vedení. Dále děkuji
s. Ing. Burianovi a zaměstnancům dílen KOM za praktickou
pomoc při řešení této diplomové práce.

1. Úvod	8
2. Všeobecná část k problematice broušení	10
2.1. Podstata broušení	
2.2. Hodnocení procesu broušení	11
2.3. Specifické vlastnosti broušení	13
2.4. Ekvivalentní hloubka řezu	15
3. Obrobitelnost niklu a jeho slitin	17
3.1. Nikl a jeho vlastnosti	
3.2. Mechanické hodnoty niklu	
3.3. Jiné charakteristické hodnoty niklu	19
3.4. Třískové obrábění slitin niklu	19
3.5. Technologické podmínky broušení niklu	21
3.6. Slitiny s vysokým obsahem niklu	22
3.6.1. Niklové slitiny LVN10, ŽS6K	
3.7. Chlazení těžkoobrobitelných materiálů	25
4. Charakteristika brousicích nástrojů	27
4.1. Doporučené brousicí kotouče, značení	
4.2. Použité brousicí nástroje	28
- A98T25K9V	
- BN8L100/3V302C60	
5. Zbytkové pnutí po procesu broušení	29
5.1. Zbytkové pnutí během záběru jednoho zrna a při broušení	32
6. Experimentální část	33
6.1. Použitá zařízení	
6.2. Vzorky materiálu	37
6.3. Význam diagramu broušení	
6.4. Metodika experimentů	39
6.5. Měření mikrotvrdosti a zbytkového pnutí	49
6.5.1. Příprava vzorků materiálů	
6.5.2. Měření zbytkového pnutí	50
6.5.3. Měření mikrotvrdosti	51
6.6. Výsledné hodnocení	64
7. Metalografické vyhodnocení vytvořeného povrchu	67
8. Závěr	68
9. Literatura	69

Seznam použitých symbolů

a	/mm/	hloubka řezu
d_k	/mm/	průměr brousicího kotouče
e'	/J/mm ³ .mm/	měrná energie broušení vztažená na 1 mm ³ odebraného materiálu na 1 mm šířky brousicího kotouče
$e'_{0,1}$	/J/mm ³ .mm/	měrná energie broušení pro $h_{ekv} = 0,1 \mu m$
F'_n	/N/mm/	normálová složka výsledné řezné síly vztažená na 1 mm šířky záběru brousicího kotouče
F'_t	/N/mm/	tangenciální složka výsledné řezné síly vztažená na 1 mm šířky záběru brousicího kotouče
$F'_{t1}, F'_{t0,1}$ $F'_{n1}, F'_{n0,1}$	/N/mm/	složky výsledné řezné síly vztažené na 1 mm šířky záběru brousicího kotouče pro $h_{ekv} = 1, 0,1 \mu m$
f_t, f_n		exponenty vyjadřující vztah mezi složkami řezné síly a h_{ekv}
g		exponent vyjadřující vztah mezi poměrným objemovým obrusem a h_{ekv}
h	/mm/	hloubka řezu při výpočtu délky stykového oblouku
h_{ekv}	μm /	ekvivalentní hloubka řezu
k_m	/N/ m/	dynamická tuhost soustavy SPID
m		poměrný objemový obrus $m = \frac{v_o}{v_k}$
$m_1, m_{0,1}$		poměrný objemový obrus pro $h_{ekv} = 1, 0,1 \mu m$
o		exponent vyjadřující vztah mezi obrobiteľností, broušením a h_{ekv}
O_B		obrobiteľnost broušením
P_f	/MP _a /	tlak řezné kapaliny
q		rychlostní poměr

Q_f	/l/min.mm/	měrné množství řezné kapaliny na 1 mm šířky záběru brousicího kotouče za 1 min
R_a	/μm/	drsnost povrchu bez vyjiskření
R_a^v	/μm/	drsnost povrchu s vyjiskřením
$R_{a1}, R_{a0,1}$	/μm/	drsnost povrchu pro $h_{ekv} = 1, 0,1 \mu m$
$R_a^v, R_{a0,1}^v$		
r, r_v		exponenty vyjadřující vztah mezi drsností povrchu a h_{ekv}
Δr_s	/mm/	radiální opotřebení brousicího kotouče
v_o	/m/min/	obvodová rychlost obrobku
v_k	/m/s/	obvodová rychlost brousicího kotouče
v_f	/m/s/	posuvová rychlost obrobku
V_f	/m/s/	rychlost přiváděné řezné kapaliny
V_o	/mm ³ /	objem odebraného materiálu obrobku
V_k	/mm ³ /	objem opotřebovaného brousicího kotouče
V^*	/mm ³ /mm/	objem odbroušeného materiálu bez vyjiskření
V_v^*	/mm ³ /mm/	měrný objem vyjadřující množství odbroušeného materiálu s vyjiskřením na 1 mm šířky záběru brousicího kotouče
α, α_v, ρ	/°/	úhel mezi vynešenou hodnotou drsnosti a h_{ekv} v diagramu broušení
δ	/°/	úhel mezi vynešenou hodnotou poměrného obrusu a h_{ekv} v diagramu broušení
β_n, β_k	/°/	úhel mezi vynešenou hodnotou složek výsledné řezné síly a h_{ekv} v diagramu broušení
$\mu_{0,1}$		součinitel tření pro $h_{ekv} = 0,1 \mu m$

1. Ú v o d

V současném moderním průmyslu stále stoupají nároky nejen na produktivitu broušení, ale také na kvalitu ploch obrobené tímto způsobem obrábění v komplexním pojetí.

V souladu s těmito požadavky je i současný výzkum problematiky broušení.

Broušení bylo dříve používáno jako finální, doplňující operace výroby. V poslední době je však brusný pochod často nejdůležitější a ekonomicky nejvýhodnější výrobní proces ve strojírenství.

S vývojem nových strojírenských materiálů a technologií vzrůstají nároky i na broušení. Zejména u nových konstručních materiálů mezi které se zařadil nikl a jeho slitiny. V současné době tyto materiály zaujímají významné místo při výrobě různých součástek pro stroje a zařízení v různých oborech průmyslové činnosti a pro další úspěšný rozvoj a výzkum mnoha průmyslových i vědních oborů si bez použití těchto materiálů nedovedeme představit a pro své speciální vlastnosti by ani nebyl rozvoj myslitelný."

Nikl je základním prvkem většiny elektrotechnických žáruvzdorných a antikoročních slitin. Dále se používá na ochranné povlaky a jako přísada speciálních ocelí. Ovšem použití těchto materiálů by nebylo možné bez zvládnutí vhodné výrobní technologie. Proto výrobní technologie musí neustále sledovat rozvoj a využívání nových materiálů v praxi a neustále zdokonalovat a zefektivňovat výrobní technologii.

Výzkum v oblasti broušení se převážně zabývá zdokonalováním brousicích nástrojů. V současné době jsou brusky již na takové úrovni, že jejich konstrukce nemůže podstatně ovlivnit výkon a jakost broušení.

Možnosti zkvalitnění obráběcího procesu jsou ještě ve zlepšení kvality brousicích kotoučů a zejména v dokonalé technologii při zkoumání všech vlivů, které během broušení působí.

V současné době broušení zaujímá velmi významné místo v procesu obrábění, jehož význam ještě poroste, tak jak se budou dále zvyšovat nároky na funkční požadavky jednotlivých vyráběných součástek co do rozměrové přesnosti, vysoké jakosti povrchu, tvarové složitosti, kvality povrchové vrstvy.

2. Všeobecná část k problematice broušení

2.1. Podstata broušení

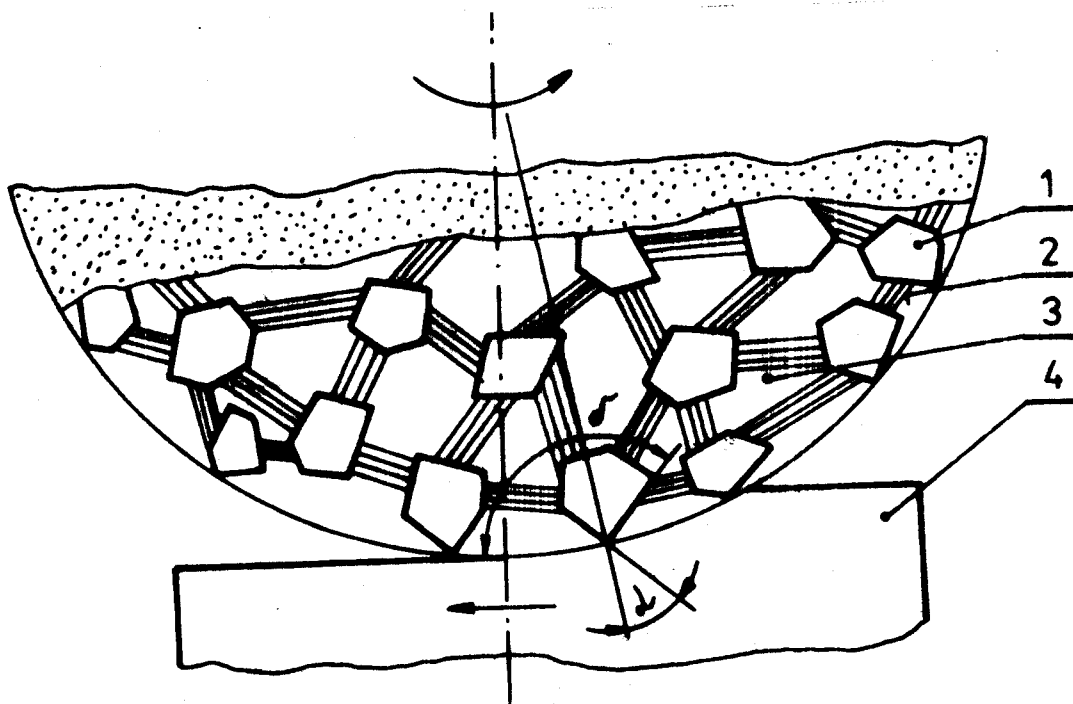
Broušení je metoda třískového obrábění, při kterém jsou z materiálu odebírány velmi jemné třísky prostřednictvím mnohábřitého nástroje, který je vytvořen spojením jemných zrn brusiva a pojivem v jeden celek - brusný kotouč. Zrna brousicího kotouče tvoří tvarově nepravidelné zuby, které vytváří ostré břity. Zrna brusiva mají vždy úhel řezu $\alpha > 90^\circ$ a poměrně velký úhel β (obr. 1).

V současné době splňuje broušení ve strojírenské výrobě tyto hlavní funkce :

- 1/ Opracování součástí na přesný geometrický tvar a rozměry s vysokou jakostí povrchové vrstvy.
- 2/ Opracování součástí a materiálu, pro něž je jiný způsob obrábění obtížný nebo vůbec nemožný.
- 3/ Opracování součástí a materiálů, pro něž je broušení nejhospodárnější.

Lze očekávat, že význam broušení bude i nadále vzrůstat, neboť se širším uplatňováním metod přesného kování, lití a práškové metalurgie bude zřejmě hospodárné upravovat tyto polotovary načisto již jen broušením /1/.

1. Brusná zrna
2. Spojovací mřížky
3. Póry
4. Materiál

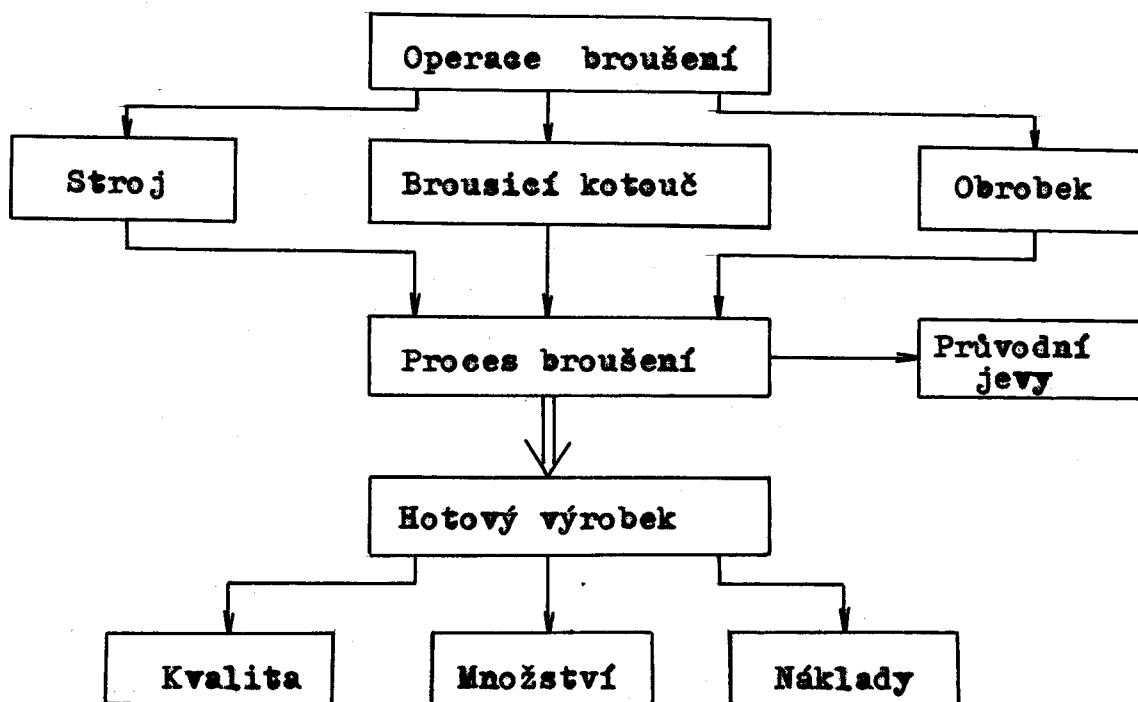


Obr. 1 Schema struktury brousícího kotouče.

2.2. Hodnocení procesu broušení

Broušením se dosahuje velké přesnosti obráběných součástí, dobré jakosti povrchu $\Rightarrow$ odolnost povrchové vrstvy proti opotřebení, životnost součástí a tím i životnost celého stroje.

Zobrazení procesu broušení:



Pro dosažení optimálních výsledků při co možná nejlepším využití procesu broušení je potřeba znát ovlivňující veličiny, které působí jednak na stroj, nástroj a obrobek.

<u>Stroj</u>	- řezné podmínky - upnutí obrobku - tuhost - přesnost chodu - příkon pohonu	}	➔	- výkon broušení - výrobní náklady
--------------	---	---	---	---------------------------------------

<u>Brousicí nástroj</u>	- orovnění - podmínky orovnění - upnutí - druh - rozměr - vlastnosti - statické a dynamické vyvážení
-------------------------	--

Z hlediska procesu broušení

- úchytky tvaru brusného kotouče
- řezivost brousicího kotouče
- profil "- "-
- úbytek "- "-

Obrobek - rozměr - šířka

- vnější průměr
- tloušťka stěny
- přídavek na broušení
- materiál-tepelné zpracování
- tvrdost
- předcházející opracování

Z hlediska kvality broušeného povrchu

- vlastnosti povrchové vrstvy (trhliny, mikro-
struktura)
- úchytky geometrického tvaru
- Ra
- rozměrové tolerance

2.3. Specifické vlastnosti broušení

1/ Nástroj, t.j. brousicí kotouč podléhá v průběhu procesu broušení soustavným změnám.

2/ Tříska je odebírána velkým množstvím elementárních břitů = brusných zrn.

3/ Materiály zrn brusiva mají velkou tvrdost a odolnost proti otěru za vysokých teplot = možnost jejich použití při vysokých řezných rychlostech.

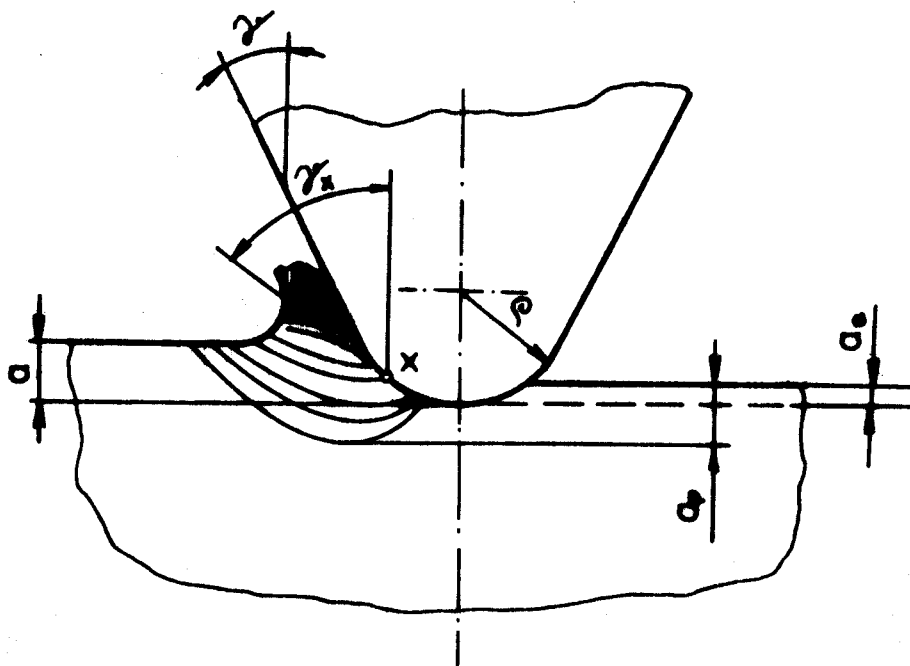
4/ Zrna brusiva mají nepravidelný tvar, záporný úhel čela α , velké poloměry zaoblení ρ .

5/ Jsou rozložena v tělese nástroje nepravidelně. Proto je i nepravidelný úběr jednotlivými zrny.

6/ Třísky mají nepatrnou tloušťku ($10^{-4} - 10^{-2}$ mm)

7/ Utváření třísek probíhá ve velmi krátkých intervalech ($10^{-7} - 10^{-6}$ s).

8/ Nepříznivý poměr mezi tloušťkou třísky, ρ a γ zvyšuje plastické deformace povrchové vrstvy obrobku /3/.



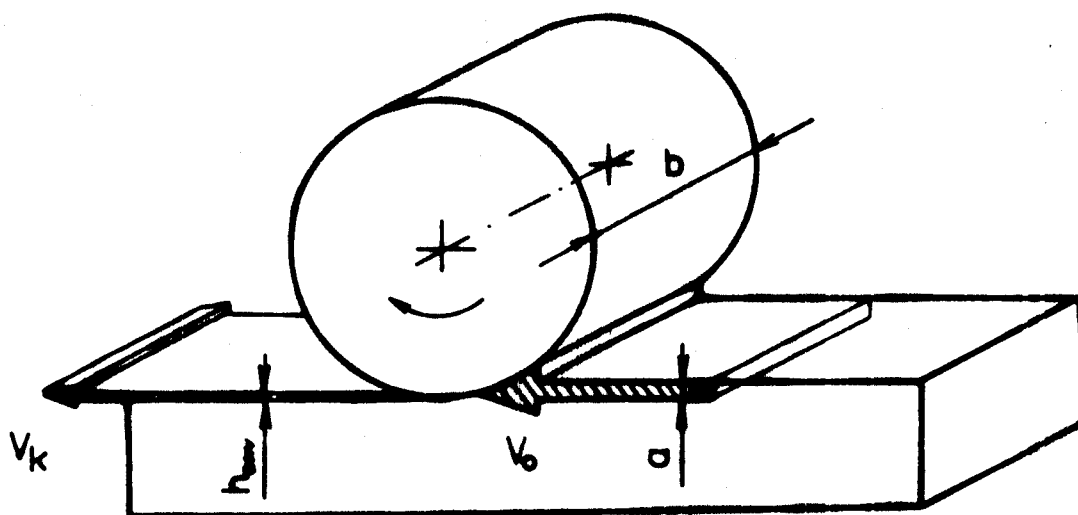
Obr. 2 Záběr zrna brusiva

- γ úhel čela
- ρ poloměr zaoblení břitu zrn brusiva
- a hloubka třísky
- a_p oblast primární plastické deformace
(vyvolává zpevnění)
- a_c oblast pružné deformace (jedna z příčin
vzniku tepla v obrobeném povrchu)

2.4. Ekvivalentní hloubka řezu

Všechny důležité veličiny jako např. složky řezné síly, drsnost povrchu, trvanlivost kotouče, brusný výkon, jsou vyjádřeny v závislosti na fyzikálním parametru, který charakterizuje proces broušení, na tzv. ekvivalentní hloubce řezu, t.j. na hloubce záběru brousícího kotouče h_{ekv} /2/.

Vrstva odebíraného materiálu o tloušťce a vstupuje do řezné zóny posuvovou rychlostí obrobku v_o . Teoreticky utvářené třísky mohou být spojeny v jednu plynulou, která vychází z řezné zóny obvodovou rychlostí kotouče v_k . Tloušťka této teoreticky plynulé třísky se rovná ekvivalentní hloubce řezu, jejíž výpočet je proveden na základě spojitosti objemu materiálu, který do řezné zóny vstupuje a z ní vystupuje lze psát :



Obr. 3 Ekvivalentní hloubka řezu.

$$a \cdot b \cdot v_o = h_{ekv} \cdot b \cdot v_k \cdot 60$$

$$h_{ekv} = \frac{v_o}{60 v_k} \cdot a = \frac{a}{q} \text{ [mm]}$$

kde : b šířka styku brousicího kotouče s obrobkem

v_o obvodová rychlost obrobku

v_k obvodová rychlost kotouče

a hloubka řezu

q rychlostní poměr : $q = \frac{60 \cdot v_k}{v_o}$

Existence vztahů mezi ekvivalentní hloubkou řezu h_{ekv} :

tangenciální složka řezné síly vztažená na 1 mm šířky záběru brousicího kotouče :

$$F'_t = F'_{t1} \cdot h_{ekv}^{ft} \quad /N/mm/$$

normálová složka řezné síly vztažená na 1 mm šířky záběru brousicího kotouče :

$$F'_n = F'_{n1} \cdot h_{ekv}^{fn} \quad /N/mm/$$

drsnost povrchu bez vyjiskření :

$$Ra = Ra1 \cdot h_{ekv}^r \quad /μm/$$

drsnost povrchu po vyjiskření :

$$Ra^v = Ra1^v \cdot h_{ekv}^{rv} \quad /μm/$$

poměrný objemový obrus :

$$m = m_1 \cdot h_{ekv}^g = \frac{v_o}{v_k}$$

měrná energie broušení vztažená na 1 mm³ odebraného materiálu a 1 mm šířky záběru brousicího kotouče :

$$e' = \frac{F'_t}{h_{ekv}} \quad /J/mm^3 \cdot mm/$$

3. Obrobitelnost niklu a jeho slitin

3.1. Nikl a jeho vlastnosti

Nikl byl znám již 2 000 let před naším letopočtem Číňanům, kdy z komplexních rud vytavovali slitinu, kterou nazývali pro její bílou barvu "bílá měď". Až v roce 1751 Švéd Cronstedt izoloval kovový nikl a Richter v roce 1804 popsal jeho vlastnosti. V roce 1878 se podařilo vyrobit tvárný nikl a od té doby počala stoupat výroba různého zboží z niklu.

Nikl se vyskytuje zejména v rudách, vázaný hlavně na síru nebo arsen. Nikl se vyrábí z magnetového kyzu, který obsahuje nikl a měď v podobě chalkopyritu.

Výroba niklu je složitá, protože rudy obsahují jen 1 - 5 % niklu. Nejprve se získává niklový koncentrát mletím, flotací rud, který se taví na sirník, ten se pražením převede na kysličník a redukcí se získává nikl. Podle způsobu výroby můžeme rozdělit nikl do osmi druhů (elektrolytický, Mondův, čtyři drahý hutního niklu, nikl k tváření a práškový nikl).

Tavení a slévání niklu je obdobné jako u oceli a chrání se vápenatou struskou před stykem se vzduchem. Kov se dezoxiduje manganem a malou přísadou hořčíku.

3.2. Mechanické hodnoty niklu

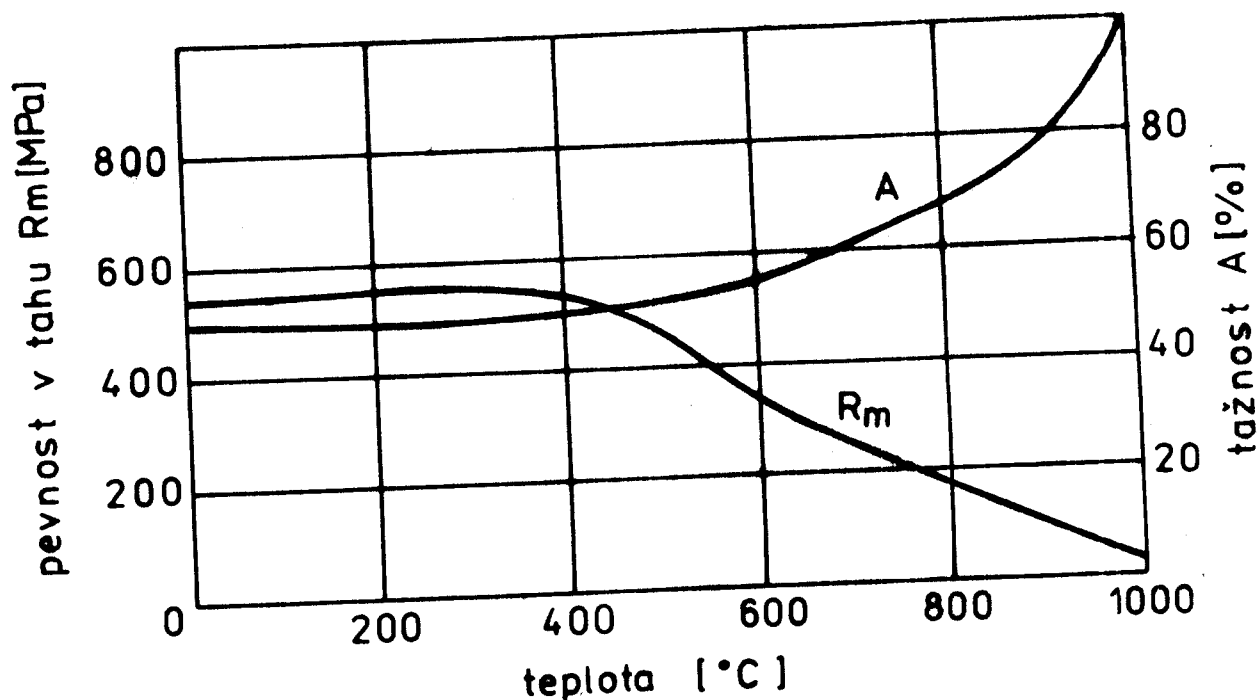
Základní mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č. 1.

vlastnost	symbol	rozměr	hodnota
mez pevnosti v tahu	R _m	MPa	400 - 500
tažnost	A	%	45
kontrakce	Z	%	75
tvrdost podle Brinella	HB		80 - 90
vrubová houževnatost	KC	J/cm ²	190

tab. č. 1

Nečistoty způsobují výrazné změny mechanických vlastností. Při obsahu uhlíku nad 0,1 % se stává nikl křehký za studena, stejně tak při obsahu síry nad 0,002 % a kyslíku nad 0,24 %.

Vrubová houževnatost činí asi 190 J/cm². Asi do teploty 250°C se mění, za vyšších teplot však hodnota vrubové houževnatosti výrazně klesá.



Obr. 4 Změna mechanických vlastností s teplotou

3.3. Jiné charakteristické vlastnosti niklu

Nikl se vyznačuje výbornou odolností proti korozi a mnoha chemickým činidlům. Méně však odolává atmosférické korozi při velké vlhkosti vzduchu a přítomnosti kyslíčnku siřičitého. Obecně však lze říci, že odolnost proti korozi je menší než u titanu.

3.4. Třískové obrábění slitin niklu

Žárupevné slitiny na odlitky jsou široce využívány pro výrobu lopatek, rotorů a dalších součástí plynových turbín. Tyto slitiny jsou více legované a tím i žárupevnější než slitiny pro tváření. Kvůli nestejnorodé lité struktuře se jejich mechanické vlastnosti značně rozlišují. Různá obrobiteľnosť žárupevných slitin na odlitky

a žárupevných slitin k tváření se vysvětluje tím, že slitiny na odlitky jsou méně vazké, řezné síly při jejich obrábění jsou značně nižší než při obrábění slitin k tváření. V žárupevných slitinách na odlitky je velké množství intermetalických a karbidických fází, které silně opotřebovávají nástroje z rychlořezné oceli. To vytváří ještě příznivější podmínky pro práci nástroje ze slinutého karbidu.

Témež ve všech operacích mechanického obrábění součástek ze žárupevných slitin na odlitky se musí používat nástroje s destičkami ze slinutého karbidu, zejména jde-li o nepřetržitý proces obrábění.

V mnohých případech přerušovaného obrábění (např. čelní frézování) při obrábění součástek z žárupevných slitin k tváření je použití nástroje z rychlořezné oceli účelnější než použití nástroje ze slinutých karbidů.

Jednou z příčin rychlého opotřebení a vydrolování nástroje ze slinutého karbidu při přerušovaném procesu obrábění žárupevných slitin k tváření je nalepování částic materiálu obrobku na břit nástroje. Při následném vřezávání nástroje do obrobku se přilepené částice odtrhávají z ostří spolu s částicemi slinutého karbidu. Při obrábění součástek ze slitin na odlitky se tento jev projevuje v daleko menší míře. Řezná rychlost při obrábění žárupevných slitin na odlitky je 12 - 20 krát nižší než při obrábění materiálu z oceli 12050.

3.5. Technologické podmínky broušení niklu a jeho slitin

Slitiny niklu jsou vesměs zařazeny do stupnice těžko-obrobitelných materiálů.

Řezné rychlosti jsou nízké, rozsah doporučených optimálních obvodových rychlostí kotouče je poměrně úzký a je nutné použít účinné chlazení.

Zásadně se používají brousicí kotouče s keramickou vazbou. Při použití syntetických diamantových brousicích kotoučů nebo kotoučů z kubického nitridu bóru lze dosáhnout vysoké kvality povrchové vrstvy. Diamantové kotouče s organickou vazbou mají však proti kotoučům s kovovou vazbou vyšší měrnou spotřebu kotouče a nižší produktivitu. Proto se používají diamantové brousicí kotouče s kovovou vazbou.

Obtížnost obrábění broušením dokazuje parametr poměrného obrusu "m", jehož hodnota se v závislosti na použité řezné kapalině nachází v intervalu 1,5 - 3 při ekvivalentní hloubce řezu $h_{ekv} = 0,1 \mu m$.

Slitiny niklu jsou vesměs zařazeny do skupiny těžko-obrobitelných materiálů a lze je srovnávat s materiály ve skupině obrobitelnosti 1b. Skupina obrobitelnosti závisí na účelu, ke kterému má být slitina použita. V některých případech např. u slitiny ŽS6K (žáruvzdorná a žárupevná slitina na odlitky), materiál nelze zařadit, neboť rozsah klasifikace obrobitelnosti nevystačuje.

V tabulce č. 2 jsou uvedeny řezné podmínky broušení niklových slitin pro hrubování a dokončovací operaci broušení.

	hrubování	dokončování
V_o m/min	40 - 50	30 - 40
V_k m/s	30 - 35	25 - 30

Tab.č.2 V_o rychlost obrobku
 V_k rychlost kotouče

3.6. Slitiny s vysokým obsahem niklu

3.6.1. Niklové slitiny LVN 10, ŽS6K

Jsou vyráběny vzhledem k nárokům, které nemohou splnit austenitické oceli se zvýšeným obsahem niklu a chromu. Nesnadná obrobitelnost je zaviněna především typem jejich krystalické mřížky (krychlová plošně středěná mřížka, pro kterou je příznačná velká houževnatost a tvárnost, což ztěžuje obrobitelnost).

LVN 10 - žárupevná a žáruvzdorná slitina niklu pro odlitky
ŽS6K - žárupevná a žáruvzdorná slitina niklu pro odlitky

Těžkoobrobitelné materiály lze všeobecně charakterizovat vyšší pevností, než mají oceli uhlíkové. To vede k růstu řezných sil a ke vzniku vysoké teploty v zóně záběru zrna brusiva. Chemické složení dává předpoklad vzniku tvrdých strukturních složek ve struktuře, způsobující vysoký abrazivní otěr. Dalším jevem, který má vliv na zhoršení obrobitelnosti je jejich nízká tepelná vodivost a koncentrace tepla do míst řezání, molekulární adheze měkkých a houževnatých strukturních částic na nástroj /8/.

Pro experimentální měření byly použity vzorky z materiálu ŽS6K. Chemické složení slitiny ŽS6K je uvedeno v tabulce č. 4.

Vlastnost	symbol	rozměr	ŽS6K	LVN 10
Mez pevnosti	R _m	MPa	981-1050	911
Mez kluzu	R _{p0,2}	MPa	863- 922	792
Tažnost	A	%	1,5 - 7,0	11,2
koncentrace	Z	%	8 - 16	----
Vrubová houževnatost	KC	J/cm ²	----	----
tvrdost	HB		332 - 350	285-435

Tab.č.3 Mechanické vlastnosti materiálu

Chemické složení a mechanické vlastnosti vzorků byly
dodány z n.p. Motorlet Praha

Tab. č. 4 Chemické složení materiálu

Prvek %	ŽS6K	LVN 10
Ni	67,3	74,4
Mn	0,010	0,010
Si	0,142	0,067
Cr	9,81	11,50
Mo	4,158	4,606
Ti	2,822	0,830
Al	5,292	6,038
Co	4,442	0,10
Nb	-	2,0
Nb+Ta	-	2,01
Fe	0,625	0,145
Zr	0,005	0,120
Cu	0,009	0,009
B	0,016	0,008
C	0,150	0,044
S	0,0013	0,002
W	5,1	-

3.7. Chlazení těžkoobrobitelných materiálů

Řezné kapaliny jsou kromě nástrojů činitelem, který nejvýrazněji ovlivňuje produktivitu a ekonomii obrábění. Zejména při obrábění těžkoobrobitelných materiálů.

V důsledku zvýšení řezných sil při obrábění těžkoobrobitelných materiálů dochází k vysokým teplotám řezání. Malá tepelná vodivost způsobuje koncentraci tepla v oblasti řezání /9/.

Řezná kapalina nám plní v podstatě následující funkce :

- a/ Snižovat tření mezi brusným zrnem a obrobkem vytvořením stabilního filmu (mazací účinek)
- b/ Chlazení povrchu obrobku
- c/ Čištění brousicího kotouče (odstraňování třísek)
- d/ Korozní ochrana obrobku a pracovního stroje

Pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů jsou vhodné především chladicí emulze a řezné oleje s tzv. vysokotlakými přísadami. Pro výzkum byly použity chladicí emulze :

R o b o l : - emulgační olej s vysokotlakými přísadami pro velmi obtížné obrábění jako je např. rychlostní broušení, kde jsou na emulzní kapalinu kladeny zvýšené nároky z hlediska mazání. Udává se, že Robol oproti běžným brusným kapalinám snižuje specifickou energii broušení, snižuje řezné síly až o 50 % a zvyšuje trvanlivost brousicího kotouče (má větší obsah aditiv).

Abrasol B : Určen pro broušení těžkoobrobitelných materiálů, např. austenitických ocelí a při výkonném a rychlostním broušení.

Obsah vysokotlakých přísad na bázi chloru a síry zaručuje zvýšenou trvanlivost kotouče a zvýšenou přesnost obrobku, bez tepelně narušeného povrchu.

4. Charakteristika brousicího nástroje

U brousicíh nástrojů jsou zrna vázána pevně v tuhých nebo pružných tělesech různých velikostí a tvarů. Všeobecná charakteristika brousicího nástroje je dána :

- druhem brousicího materiálu
- zrnitostí brousicího materiálu
- tvrdostí
- strukturou nástroje
- druhem pojiva
- rozměry kotouče

4.1. Doporučené brousicí kotouče, značení

Pro broušení niklových slitin se s úspěchem používají brousicí kotouče z umělého korundu bílé barvy s keramickou vazbou.

Značení těchto kotoučů :

D x B x d A 99 16 - 40 I - K 10 V

D	vnější průměr brousicího kotouče	/mm/
B	šířka kotouče	/mm/
d	průměr díry	/mm/
A 99.	druh brusiva (umělý korund bílý)	
16-40	zrnitost brusiva (jemné - hrubší broušení)	
I-K	tvrdost kotouče (měkký)	
10	struktura (velmi pórovitá)	
V	pojivo (keramické)	

4.2. Použité brousicí nástroje

Pro broušení niklové slitiny ŽS6K jsme použili brousicí kotouče :

- A98T25K9V
- BN8L100/3V302C60

- A98T25K9V - vykazuje menší měrnou energii než u výše jmenovaného nástroje. K orovnění se používá jednokamenný diamantový orovnávač.

- A98Tumělý korund legovaný oxidem železa a titanu, je vhodný pro broušení těžkoobrobitelných materiálů
- 25střední zrnitost
- Kměkký
- 9velmi pórovitý
- Vkeramické pojivo

- BN8L100/3V302C60 - nástroje z KNB jsou kvalitativně srovnatelné s diamantovými nástroji.
K orovňávání se doporučuje polykrystalický diamantový orovnávač.

- BNnitrid bóru
- Svelmi jemná zrnitost
- Lstřední tvrdost
- 100.koncentrace KNB
- 3údaj charakterizující pórovitost
- Vkeramické pojivo
- C 60max. rychlost kotouče

5. Zbytkové napětí po procesu broušení

Při obrábění kovových materiálů vznikají pod obrobem povrchem zbytková napětí. Materiál mění své mechanické vlastnosti a strukturu. Tato zbytková napětí se zachovávají v materiálu i po odstranění vnějšího působícího napětí. Obecně můžeme napětí v kovových polykrystalických látkách (materiálech) rozdělit :

a/ Napětí podle příčiny, která napětí vyvolala :

Působí-li na systém vnější síly, vznikají napětí, která se označují jako vložena. Napětí vnitřní musí být v uzavřeném systému v rovnováze.

b/ Napětí posuzované podle doby, po kterou působí :

Okamžitá - zanikají po odstranění příčin, které je vyvolaly. Taková napětí mohou vznikat pouze do meze kluzu R_e .

Zbytková - zůstávají i po odstranění příčin, které je vyvolaly. Vznikají při překročení meze kluzu R_e .

c/ Napětí podle relativní velikosti objemu, ve kterém dosahuje rovnováhy :

Zbytková napětí - 1. druhu - rovnováhy se dosahuje v makroobjemu součástí (makroskopické změny)

- 2. druhu - místní, k vyrovnání dojde v oblasti jednoho nebo několika zrn (narušení rovnováhy nemusí vyvolat změny makroskopických rozměrů)

- 3. druhu - projevuje se v objemu několika atomových vzdáleností, několika krystalických buněk zrna (nedojde k makroskopickým změnám) je nehomogenní i v nejmenších oblastech materiálu.

Zbytková napětí se obvykle vyskytují současně a pod pojmem zbytková pnutí rozumíme zpravidla pouze zbytkové napětí 1. druhu.

Vznik zbytkových napětí 1. druhu si můžeme vysvětlit dvěma způsoby :

1. Působením řezného klínu na obráběný povrch, dochází v povrchových vrstvách k plastickým deformacím, zpevnění a změně fyzikálně-mechanických vlastností v této vrstvě. Vlivem toho dojde ke zvětšení hustoty a zvětšení specifického objemu. Toto zvětšení je však omezeno hloubkou plastické deformace. Dále má za následek přitlačování dotykových nedeformovaných vrstev, které se tímto začínají také pružně deformovat. Po ukončení obráběcího procesu se pružně deformované vrstvy snaží vyrovnat, čímž působí tlakem na vnější vrstvy. V těch vznikají napětí tlaková a ve spodních vrstvách tahová.
2. Při samotném procesu obrábění vzniká teplo, které mění vlastnosti obráběného kovu. Povrchová vrstva vlivem teploty zvětšuje svůj objem a spodní vrstvy teplem neovlivněné tomu brání, čímž v povrchové vrstvě vznikají tahová napětí. V povrchové vrstvě dochází k plastickým deformacím, které odstraňují vnitřní tlakové napětí. Ochladnutím dojde ke změně povrchové vrstvy (objemu). Tomu však brání studený kov uprostřed součástky. V důsledku toho silového působení vznikají v povrchové vrstvě zbytková napětí a pod touto vrstvou tlaková napětí. Působení těchto napětí je znázorněno na obr. č. 5. Velikost zbytkových napětí pro případ lze orientačně spočítat z Hookeva zákona :

$$\epsilon = \xi \cdot E$$

po úpravě

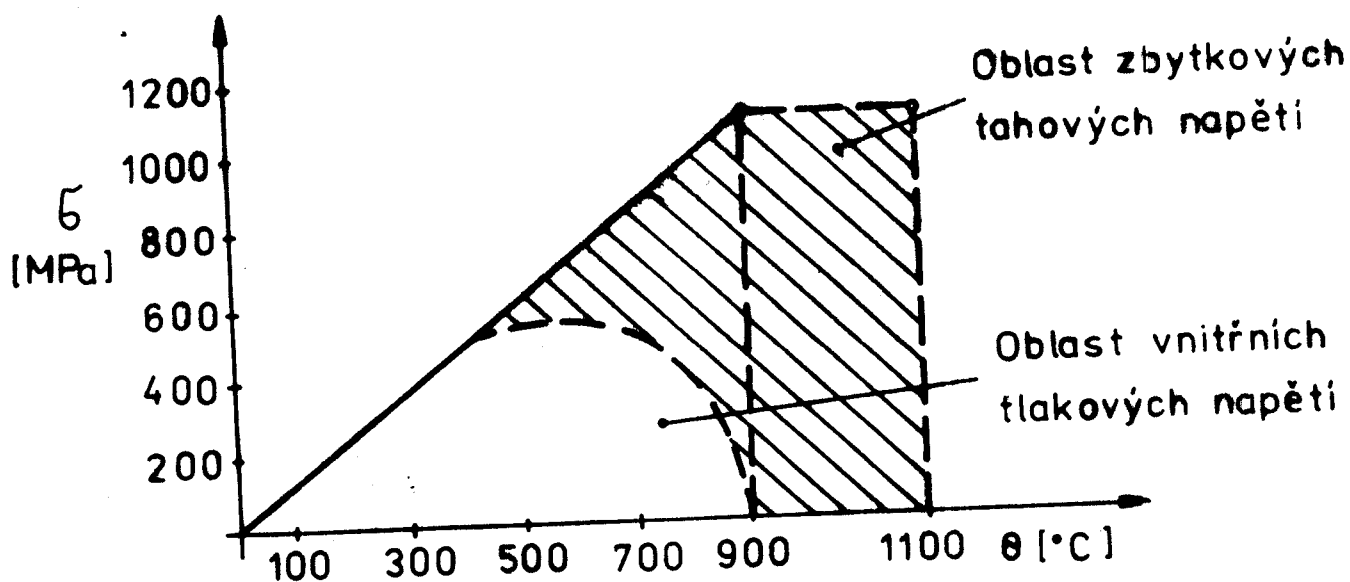
$$\epsilon = 0,5 \cdot (\theta_2 - \theta_1) \cdot \alpha \cdot E / MP_a /$$

kde : θ_2 teplota ohřevu / ° /

θ_1 původní teplota / ° /

. koeficient lineární teplotní roztažnosti / °C⁻¹ /

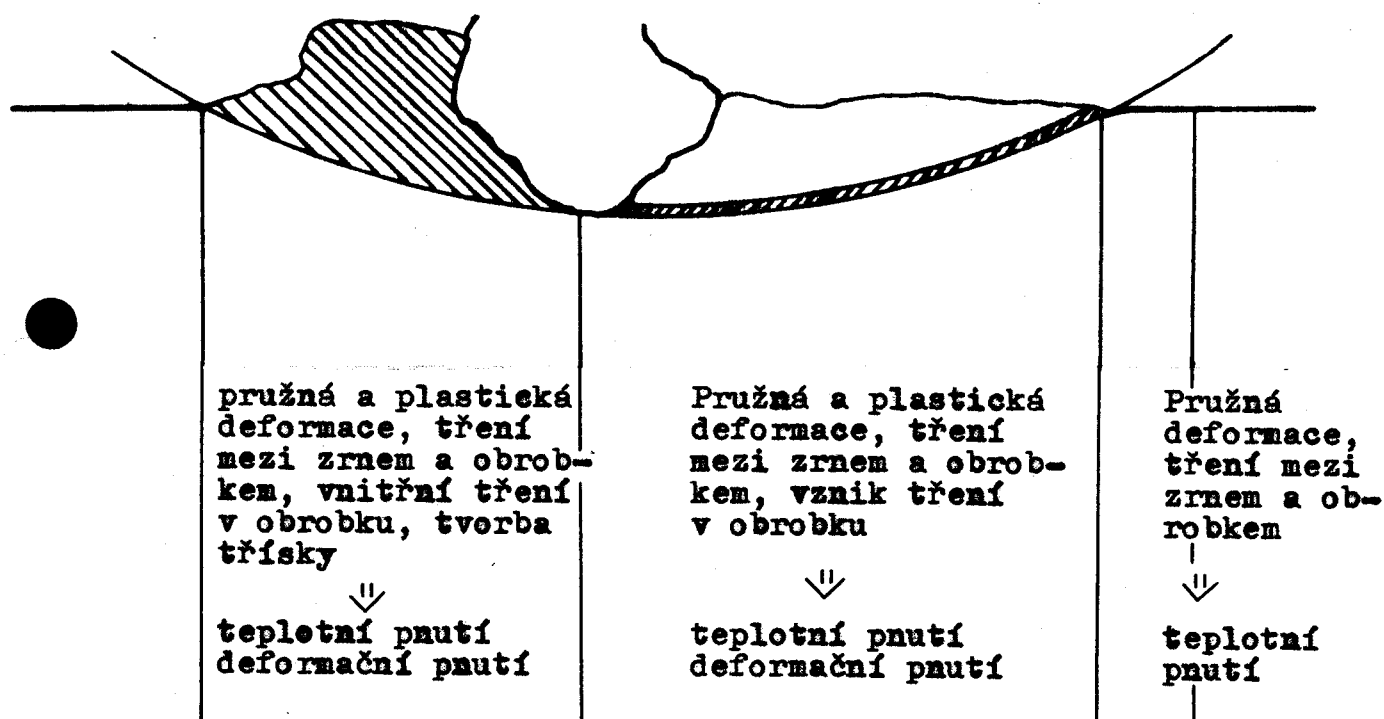
E modul pružnosti odpovídající teploty ohřátí / kN . mm⁻² /



Obr. 5 Charakter změny vnitřních napětí v závislosti na teplotě ohřevu povrchové vrstvy.

Všeobecně se přijímá názor, že zbytková pnutí v tahu jsou požadována za nežádoucí. V případě, že namáháme daný materiál tahem, skládá se napětí v materiálu s působící silou a snižuje se tím teoretická pevnost materiálu. Největší vliv zbytkových napětí můžeme pozorovat u materiálů, jejichž mez kluzu se blíží mezi pevnosti. U těchto materiálů nedochází k rozsáhlejším plastickým deformacím. Experimentálně bylo dokázáno, že tahové zbytkové napětí snižuje životnost součástí, naopak tlaková životnost zvyšuje. Výsledné hodnoty získané měřením kontrolních vzorků zaznamenáváme do grafů zbytkové pnutí - hloubka /10/.

5.1. Zbytková pnutí během záběru jednoho zrna a při broušení



Obr. 6 Vznik zbytkových pnutí během záběru jednoho zrna

Z obr. 6 je vidět, že při průchodu zrna dochází k plastické a elastické deformaci a samozřejmě k současnému vzniku teplotních a deformačních pnutí v závislosti na fázi tvorby třísky.

Podobně jsou zbytková pnutí ovlivněna okamžikem jejich vzniku při broušení. Tak lze očekávat, že při vyjiskřování nízkou hloubkou řezu a malou délkou dotyku vznikají tlaková pnutí a dále, že během pracovního posuvu intenzivním vyvinutím tepla vznikají tahová zbytková pnutí. Konečný stav bude tedy určen superpozicí obou druhů pnutí.

6. Experimentální část

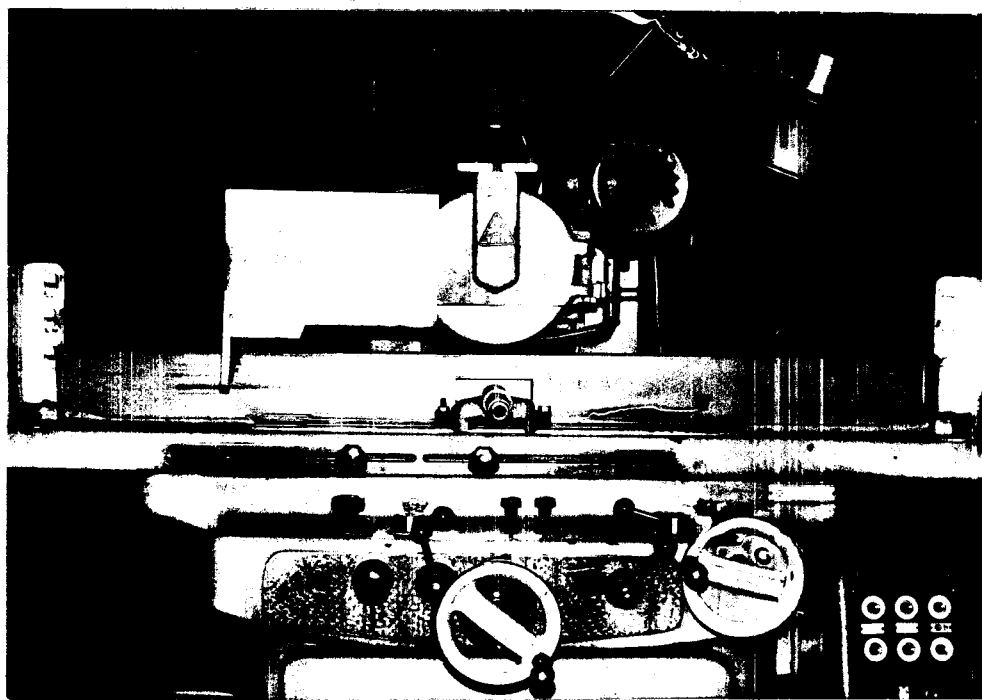
6.1. Použitá zařízení

a/ Brousicí stroj

Měření se prováděla na stroji čs. výroby BPH-20 určeném pro broušení obvodem kotouče.

Technická data stroje :

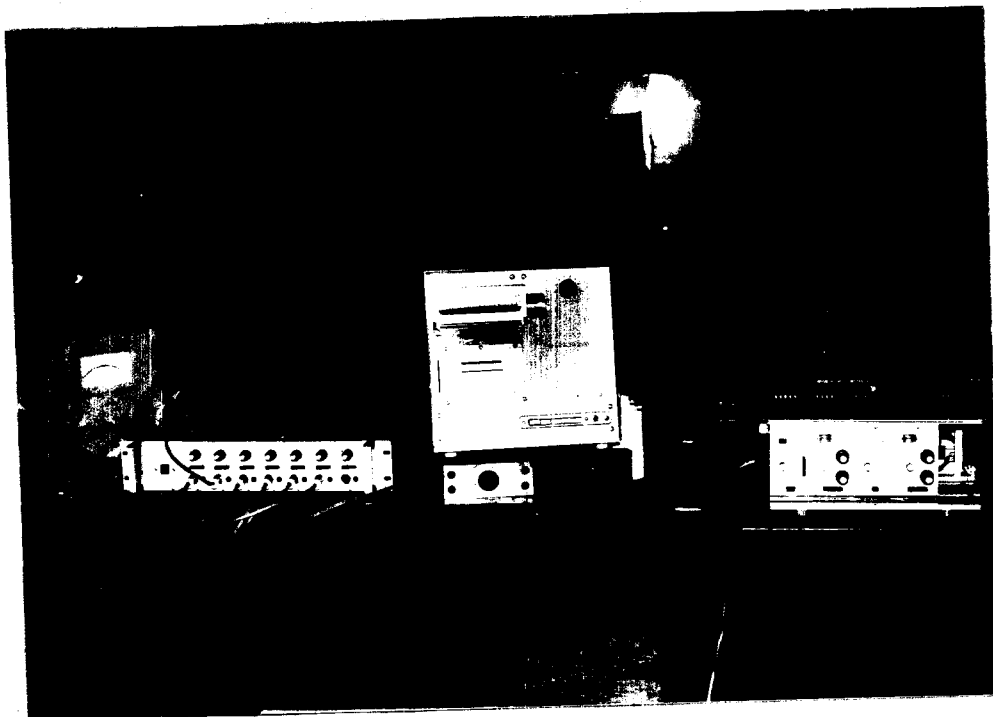
- maximální průměr brousicího kotouče $D_k = 250 \text{ mm}$
- magnetická upínací deska
- příčný posuv stolu ruční i samočinný
- pracovní stůl má hydraulický pohon
- pedálová rychlost posuvu stolu $v_f = 1 - 20 \text{ m/min}$
- přísmv kotouče ruční i samočinný
- otáčky vřetene $n_v = 2350/3350 \text{ ot/min}$



fptografie č. 1

b/ Registrační zařízení

Jako registrační zařízení byla použita tenzometrická aparatura M 1000, výrobek podniku Mikrotechna Praha a zařízení ULTRA VIOLET RECORDER (přístroj vytvářející záznam sil)



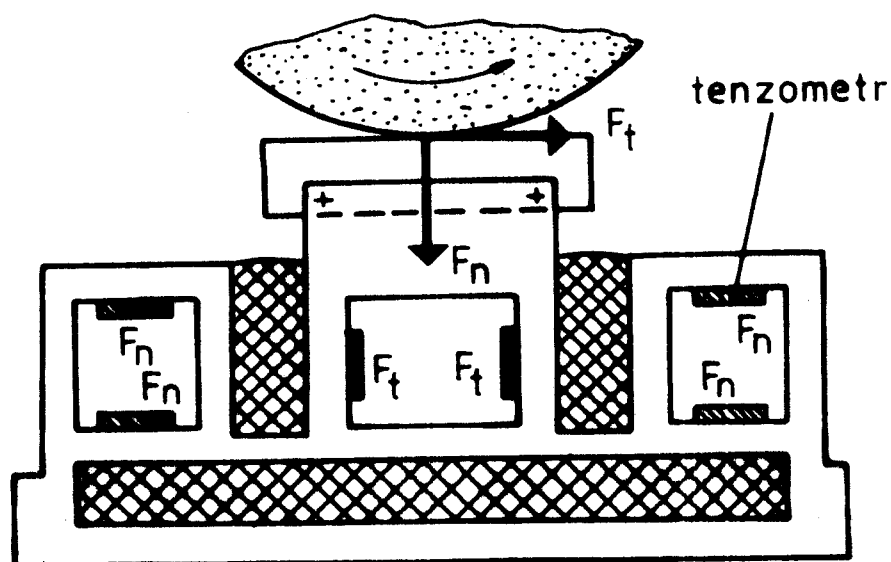
fotografie č. 2

c/ Dynamometr

Ke snímání síly byl použit dynamometr (obr. č. 7) s odporovými tenzometrickými snímači zkonstruovaný na VŠST v Liberci. Signál byl veden do registračního zařízení.

Tento dynamometr se jeví jako nevhodný, protože jeho konstrukce je založena na relativně malé tuhosti. Výhodnější by byl dynamometr firmy KISTLER, který využít-

vá piezoelektrických snímačů. Velká tuhost dynamometru
zabraňuje vibracím a nepříznivému působení na zrna kotou-
če i na broušený povrch materiálu.



Obr. 7 Dynamometr

d/ Profiloměr

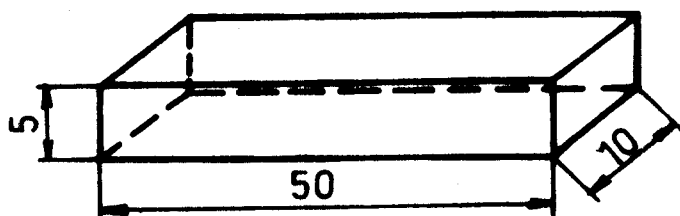
Na profiloměru bylo prováděno měření drsnosti povrchu
materiálu. Byl použit profiloměr značky HOMMEL TESTER T R
(fotografie č. 3)



fotografie č. 3

6.2. Vzorky materiálu

Pro experimentální měření byly použity vzorky rozměrů 50 x 10 x 5 mm tak, jak je znázorněno na obr. č. 8. Vzorky byly z materiálu ŽS6K.



Obr. 8 Zkušební vzorek

Vzorky byly nařezány na anodomechanické pile, tím jsme zabránili nepříznivému ovlivnění struktury materiálu.

6.3. Význam diagramu broušení

Hodnocení vlastností brousicího nástroje podle diagramu broušení lze zařadit do skupiny, která sleduje vazbu mezi fyzikálně-mechanickými vlastnostmi kotouče a jeho funkčními vlastnostmi.

Závislosti charakteristických veličin na h_{ekv} vynesené v logaritmických souřadnicích (obr. č. 9) umožní snadné určení koeficientů F'_{t1} , F'_{n1} , Ra_1 , Ra_1^V . . . a exponentů f_t , f_n , r , rv . . . uvedených v exponenciálních rovnicích (viz kapitola 2.4.). Mimo uvedených závislostí se v diagramu broušení uvádějí podmínky, za kterých vznikl, t.j. základní údaje o materiálu obrobku, brousícím kotouči, rezné rychlosti, poměru rychlosti kotouče a obrobku, množství a druhu chladicí kapaliny, podmínkách orovnění a dále faktory, které se používají pro výpočet vlastních nákladů a pro stanovení podmínek ekonomického úběru.

Obr. 9 Diagram broušení

$$\operatorname{tg} \alpha = r$$

$$\operatorname{tg} \gamma_n = f_n$$

$$\operatorname{tg} \delta = g$$

$$\operatorname{tg} \alpha_v = r_v$$

$$\operatorname{tg} \gamma_t = f_t$$

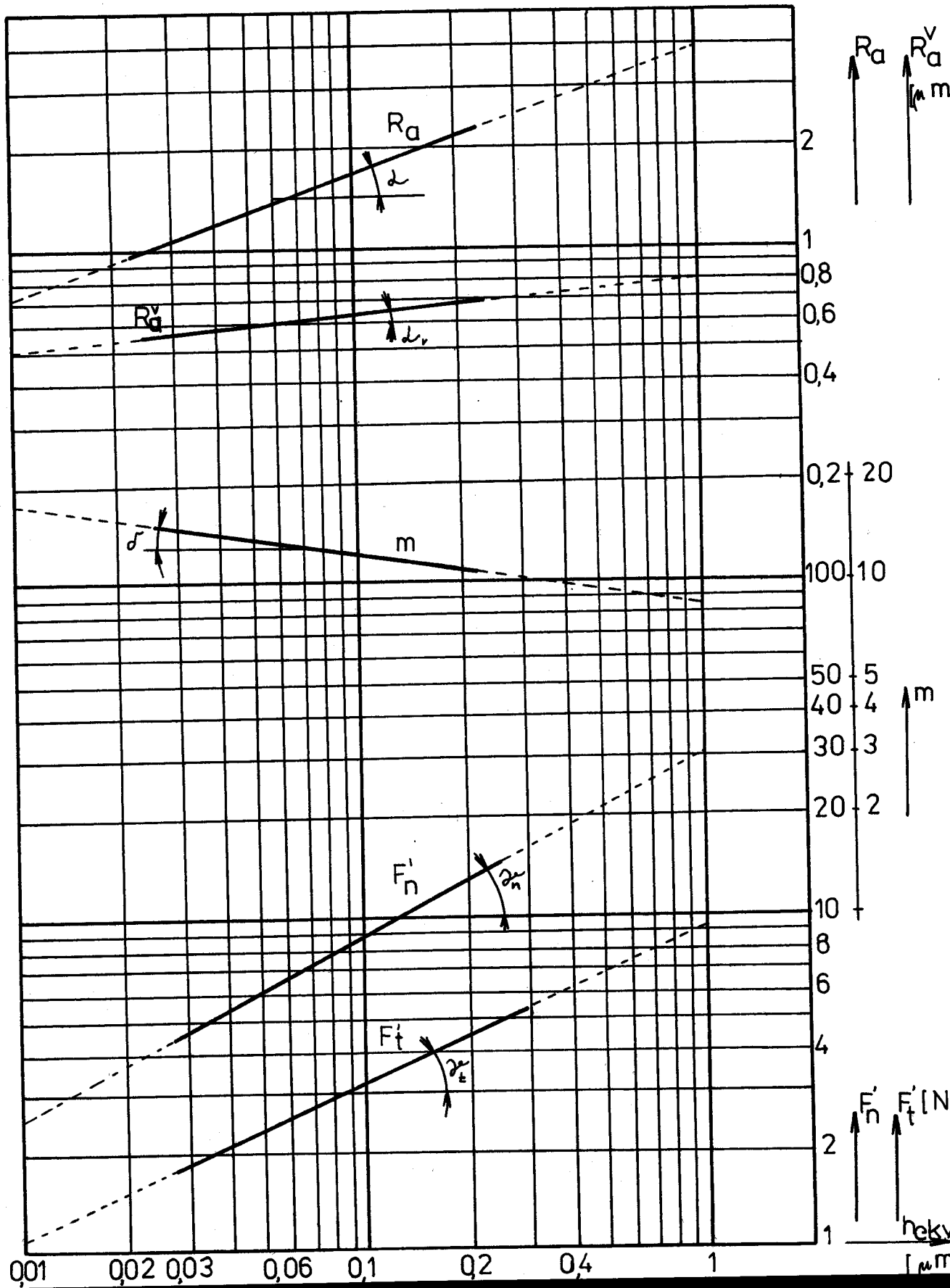
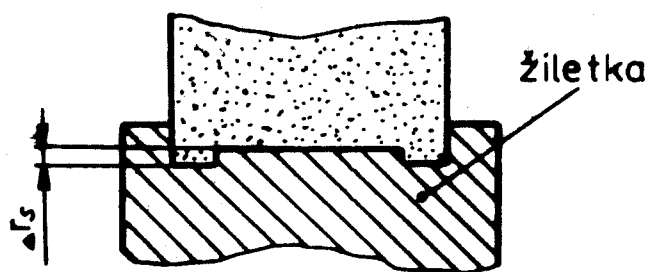


Diagram broušení slouží pro nalezení optimálních podmínek, za kterých se dosáhne uspokojivé kvality obrobku při maximálním snížení nákladů na broušení /4/.

6.4. Metodika experimentů

- 1/ Zvuková zkouška kotouče (poklepem dřevěného kladívka na volně zavěšený kotouč)
- 2/ Statické vyvážení kotouče
- 3/ Nasazení na vřeteno a orovnání příslušným orovnávačem (viz 4.2.)
- 4/ Opětovné statické vyvážení
- 5/ Změřit počáteční výšku vzorečku
- 6/ Upnutí vzorku broušeného materiálu dvěma šrouby do dvousložkového dynamometru
- 7/ Kontrola rychlosti podélného posuvu ($v_f = 12 \text{ m/min}$)
- 8/ Nastavení hloubky řezu, spuštění podélného posuvu, v každé úvratí nastavit na původní hloubku řezu, odbrousit příslušný měrný objem $V (\text{mm}^3/\text{mm})$ pro určitou hloubku řezu.
- 9/ Doladění měřicí aparatury
- 10/Záznam složek řezné síly F_t a F_n na papír oscilografu
- 11/Vyjmutí vzorku a změření drsnosti R_a profiloměrem HOMMEL TESTER T3
- 12/Proměření úbytku vzorku
- 13/Sejmutí hodnoty radiálního opotřebení Δr_s broušicího kotouče tzv. "obrysovou metodou". Spočívá v tom, že se na kotouči, který byl předem orovnán vybrousí během broušení profil jak je možno vidět na obr. č. 10. Takto opotřeбенým kotoučem se potom vybrousí do tenké ocelové planžety profil kotouče a změří se opotřebení Δr_s , jak je znázorněno na obr. č. 10. Měření opotřebení bylo prováděno na dílenském universálním mikroskopu ZEISS.



Obr. 10 Tvar žiletky a opotřebení kotouče

14/ Opakování cyklu po odbroušení příslušného měrného objemu V' .

Body 1 až 13 platí pro trvanlivostní charakteristiky (obr. č. 13 až 18). Dále platí pro diagramy broušení DB1, DB2, do bodu 11 společně (obr. č. 11, 12).

15/ upnutí vzorku do sedla dynamometru

16/ nastavení hloubky řezu, spuštění podélného posuvu, nechat 5 krát naplno pro danou hloubku řezu, vyjiskřit 10 krát.

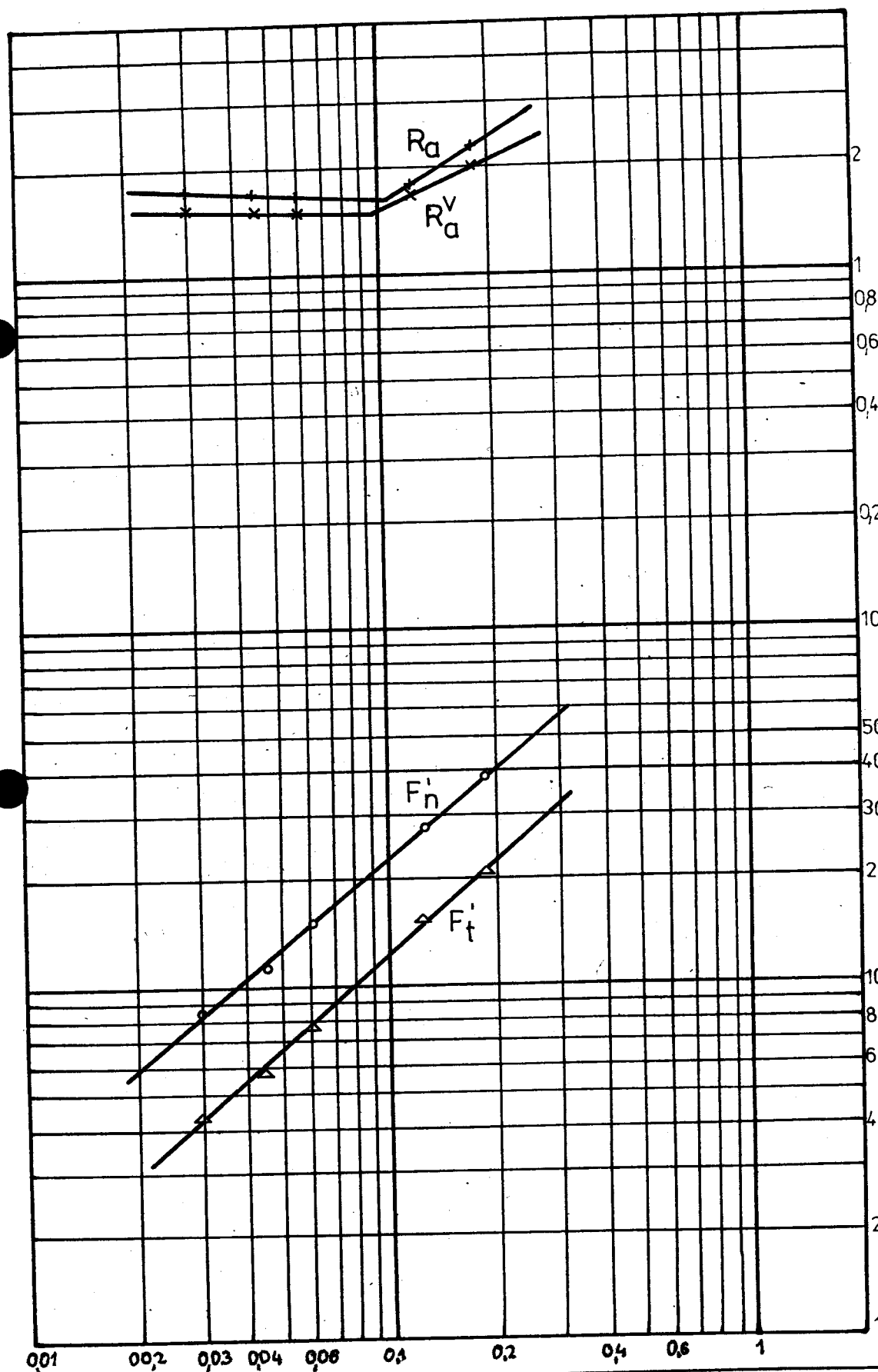
17/ změření drsnosti R_a^V jako v bodě 11

18/ změřit úbytek vzorky

19/ sejmутí hodnoty radiálního opotřebení jako v bodě 13

20/ opakování cyklu pro změněnou hloubku řezu

Materiál : ŽS6K		Brousicí kotouč BN100/3V302C60	
d_k (mm) :	v_k (m/s) : 32	Řezná kapalina : ROBOL 4%	V_f (m/s) : 0,96
	v_f (m/s) : 0,2		P_f (MPa) : 0,02
k_m (N/ μ m) :	V_v (mm ³ /mm) :	hl. rov. (mm) : 4 × 0,01	Q_f (l/min.mm) : 0,24
			Stroj : BPH 20



R_a R_a^v [μ m]

$R_{a_{0.1}}$	158
$R_{a^v_{0.1}}$	146
α	-3,32
α_v	-1,22,5
$m_{0.1}$	
$O_{B0.1}$	—
σ	

DB č.1

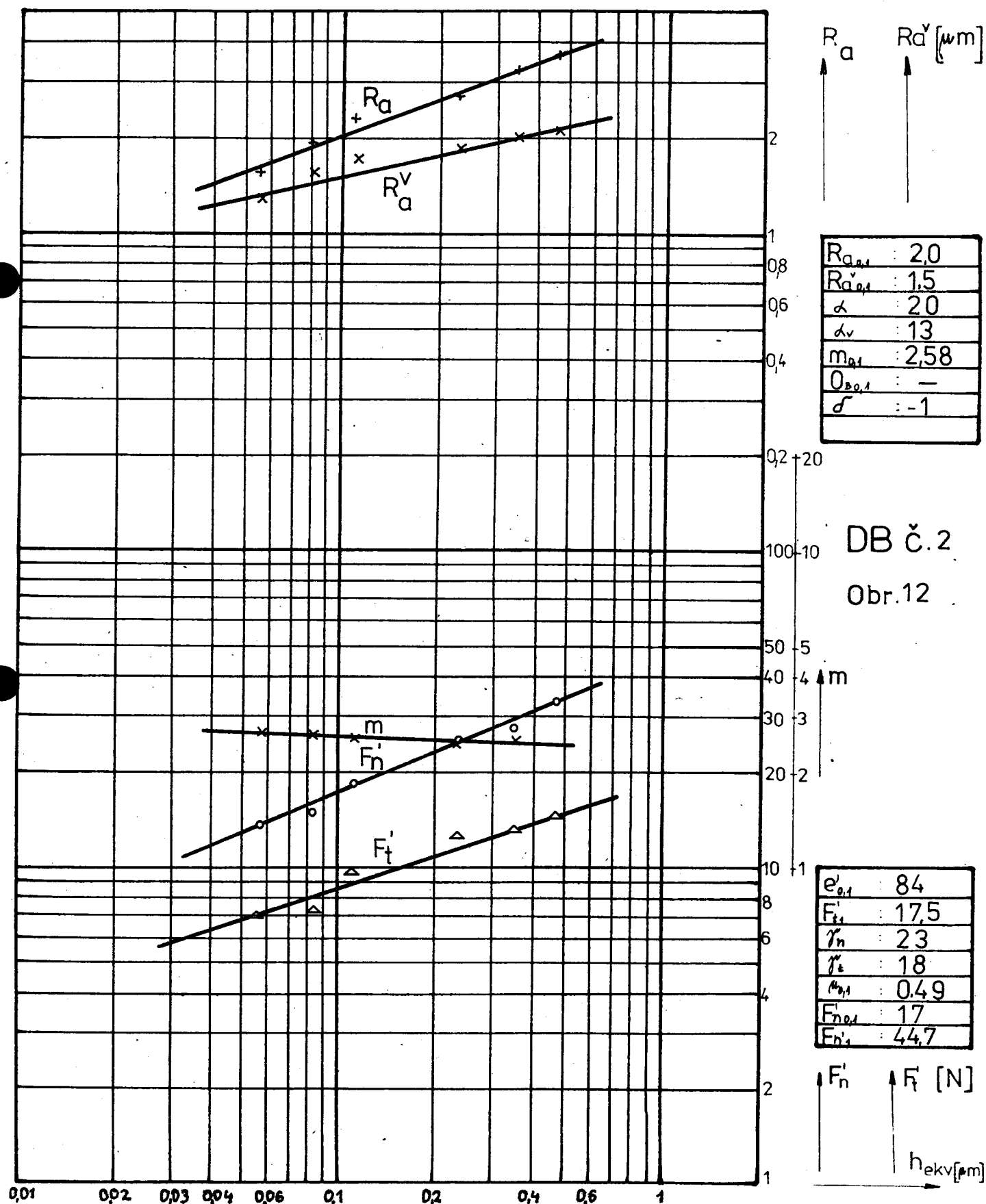
Obr.11

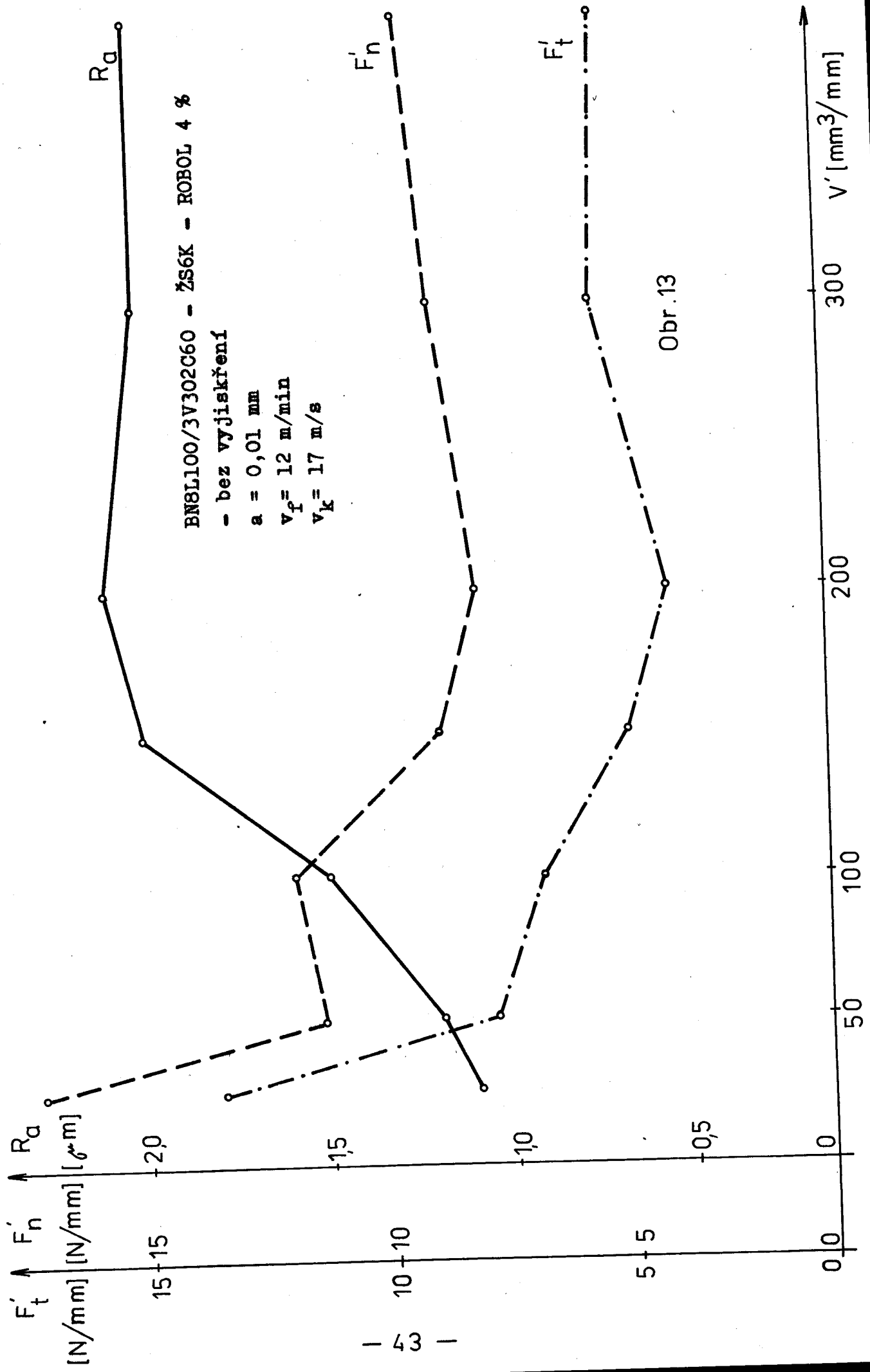
$e'_{0.1}$	120
$F'_{t,1}$	95,3
γ_n	40
γ_k	42
$\mu_{0.1}$	0,53
$F_{n0.1}$	22,4
$F_{t0.1}$	15,14

F_n' F_t' [N]

h_{ekv} [μ m]

Materiál : ŽS6K		Brousicí kotouč : A98T25K9V	
d_k (mm) :	v_k (m/s) : 17	Řezná kapalina : ROBOL 4%	V_f (m/s) : 0,96
	v_f (m/s) : 0,2		P_f (MPa) : 0,02
k_m (N/ μ m) :	V_v (mm ³ /mm) :	$h_{\text{lorov.}}$ (mm) : 3×0,03	Q_f (l/min·mm) : 0,24
		Stroj : BPH 20	





BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ROBOL 4 %
 - bez vyjiskření
 $a = 0,01 \text{ mm}$
 $v_f = 12 \text{ m/min}$
 $v_k = 17 \text{ m/s}$

Obr. 13

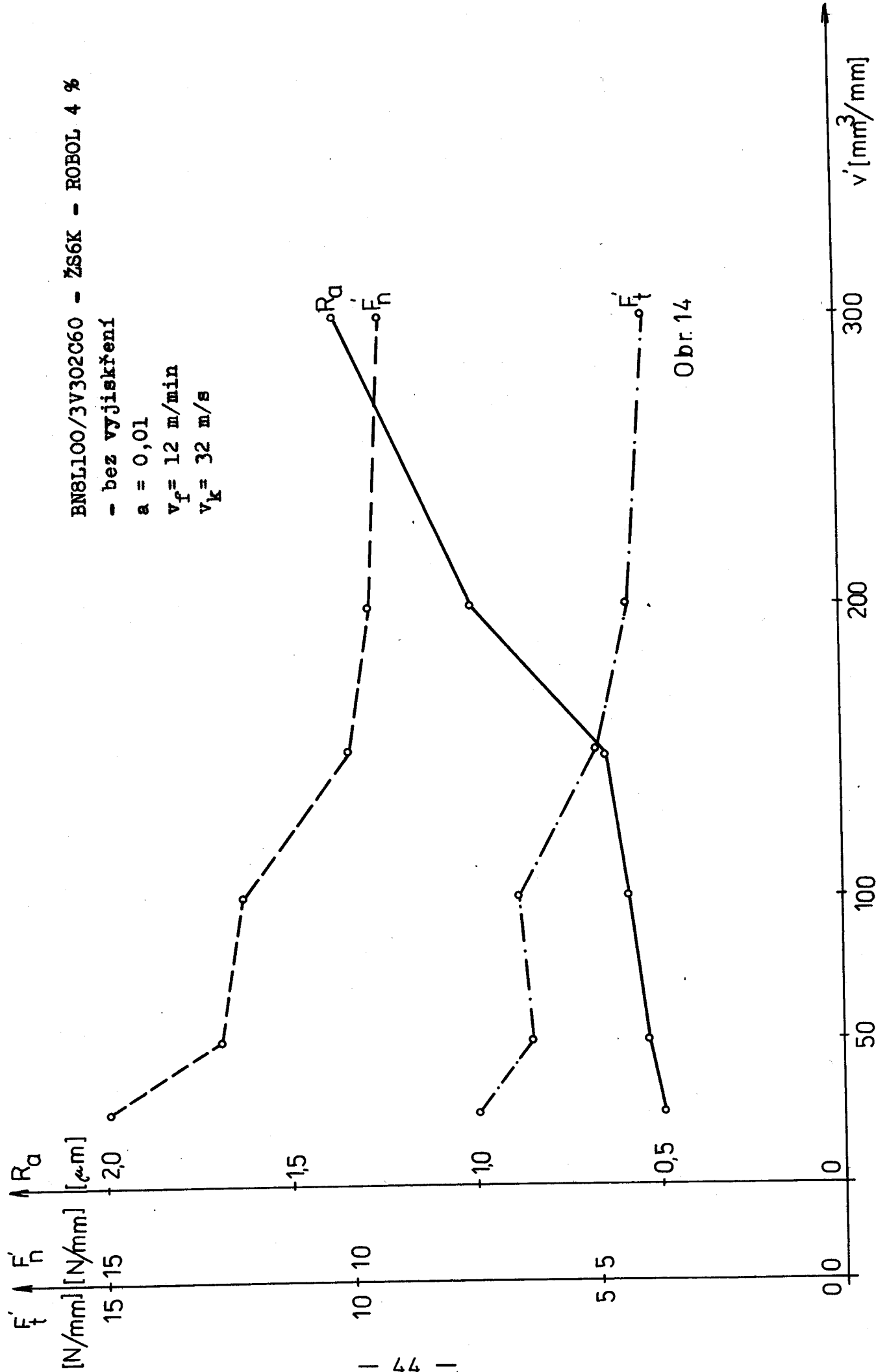
BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ROBOL 4 %

- bez vyjiskření

$a = 0,01$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 32 \text{ m/s}$



Obr. 14

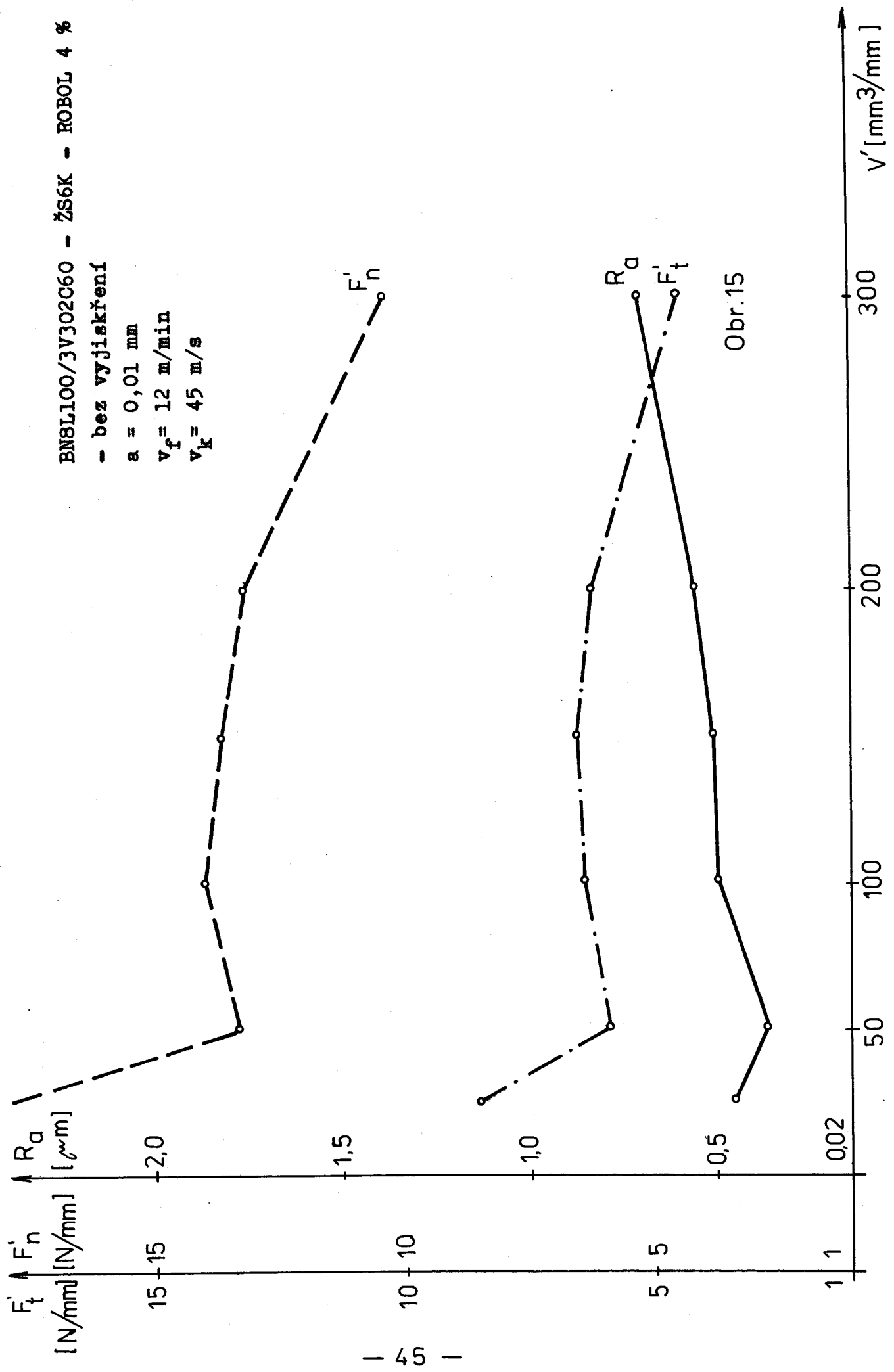
BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ROBOL 4 %

- bez vyjiskření

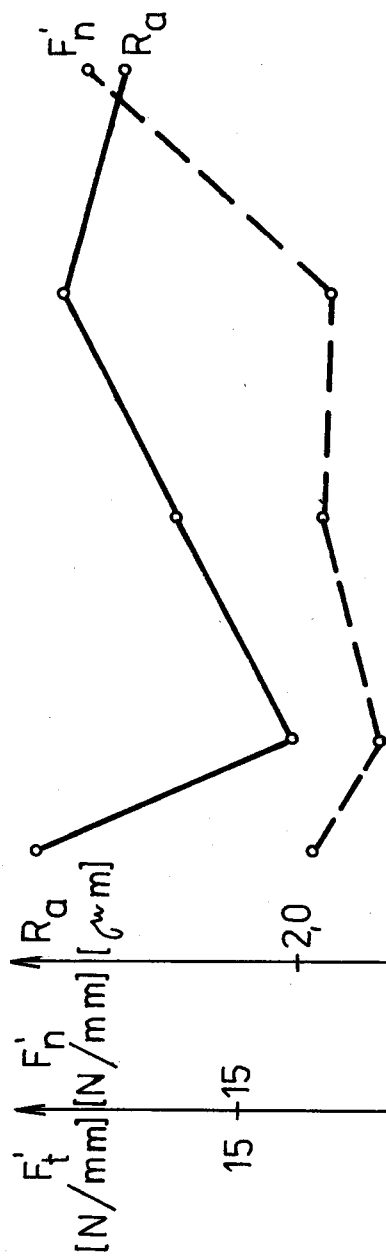
$a = 0,01 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$



Obr.15



A98T25K9V - ŽS6K - ROBOL 4 %

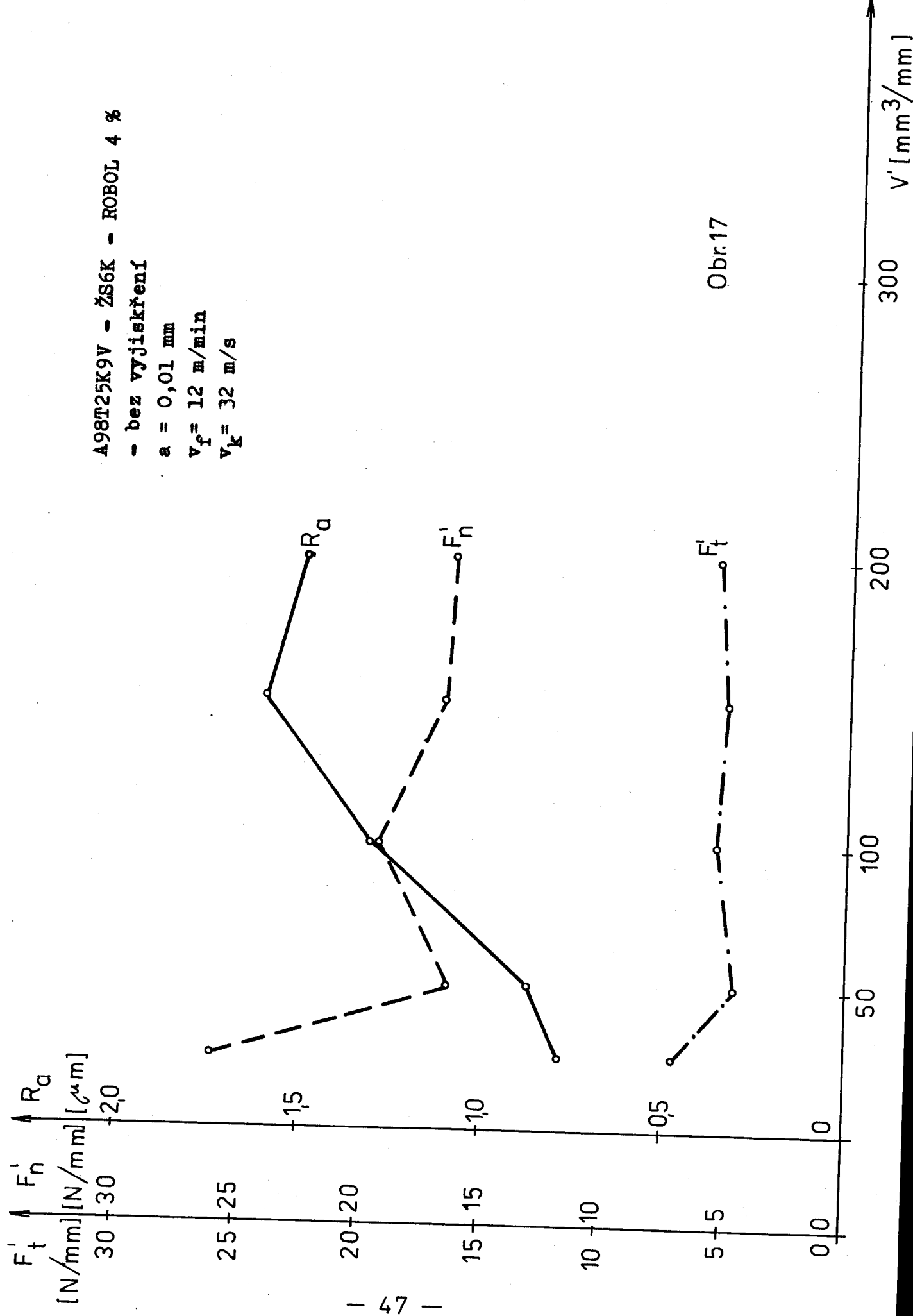
- bez vyjiskření

$a = 0,01 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

Obr. 16



Obr.17

$F'_t \uparrow F'_n \uparrow R_a$
[N/mm] [N/mm] [μm]

25-25

20-20

15-15

10-10

5-5

0-0

+20

+15

+10

+0.5

0

F'_n
 R_a

F'_t

100

50

200

300

$V' [mm^3/mm]$

A98T25K9V - ŽS6K - ROBOL 4 %

- bez vyjiskření

$a = 0,01$

$v_f = 12 m/min$

$v_k = 45 m/s$

Obr.18

6.5. Měření mikrotvrdosti a zbytkového hnutí

6.5.1. Příprava vzorků

Měření mikrotvrdosti a zbytkového pnutí bylo provedeno na vzorcích z materiálu ŽS6K (viz kapitola 6.2.), které byly broušeny za následujících řezných podmínek (tab. č. 5, 6).

materiál : ŽS6K			
řezná kapalina : Robol 4 %			
posuvová rychlost obrobku $v_f = 12 \text{ m/min}$			
číslo vzorku	hloubka řezu $a \text{ [mm]}$	brousicí nástroj	obvodová rychlost brousícího kotouče $v_k \text{ [m/s]}$
Z 30	0,005	A98T25K9V	17
Z 31			33
Z 32			45
Z 33		BN8L100/3V302C60	17
Z 34			33
Z 35			45
Z 36	0,02	A98T25K9V	17
Z 37			33
Z 38			45
Z 39		BN8L100/3V302C60	17
Z 40			33
Z 41			45

tab. č. 5

materiál : ŽS6K řezná kapalina : ABRASOL B posuvová rychlost obrobku $v_f = 12 \text{ m/min}$			
číslo vzorku	hloubka řezu $a \text{ [mm]}$	brousicí nástroj	obvodová rychlost brousicího kotouče $v_k \text{ [m/s]}$
Z 42	0,02	A98T25K9V	17
Z 43			33
Z 44			45
Z 45	0,02	BN8L100/3V302C60	17
Z 46			33
Z 47			45

tab. č. 6

Postup při broušení vzorků je následující :

- 1/ příprava kotouče
- 2/ upnutí vzorku do svěráku
- 3/ kontrola rychlosti podélného posuvu $v_f = 12 \text{ m/min}$
- 4/ nastavení hloubky řezu, spuštění podélného posuvu,
v každé úvrati nastavit na původní hloubku řezu,
odbrousit měrný objem $V' = 20 \text{ mm}^3/\text{mm}$
- 5/ vyjiskřit 10 krát

6.5.2. Měření zbytkových pnutí

Zjišťování zbytkových pnutí bylo založeno na měření deformace vzorku při rovnoměrném odleptání povrchové vrstvy obrobku. Měření byla prováděna na zařízení VŠST Liberec.

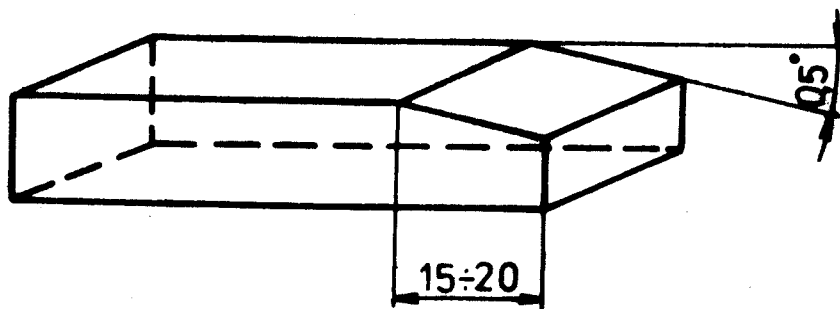
K zjištění zbytkového pnutí bylo použito destruktivní metody. Z vyšetřované plochy byly postupně elektrolyticky odleptávány vrstvy materiálu konstantními podmínkami. Z deformace vzorku bylo potom možno stanovit napětí úměrné této změně rovnováhy sil.

Výsledné hodnoty získané měřením byly zaznamenány do grafů (obr. č. 20 až 25) zbytkové pnutí - hloubka.

6.5.3. Měření mikrotvrdomosti

Pro měření mikrotvrdomosti byly vzorky materiálu opatřeny zkosením pod úhlem $0,5^\circ$ (obr. č. 19), které bylo provedeno na elektrolytické brusce (nedojde k nepříznivému ovlivnění struktury materiálu).

Zkosená plocha byla nakonec ručně lapována jemným lapovacím papírem. To nám umožnilo měřit mikrotvrdomost v různé hloubce (0,0 - 0,15 mm) pod povrchovou vrstvou obrobku (obr. č. 26 - 31). Mikrotvrdomost byla měřena na mikrotvrdoměru ZWICK.



Obr. 19 Zkosení provedené na vzorku materiálu

A98T25K9V - ŽS6K - ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

$a = 0,005 \text{ mm}$

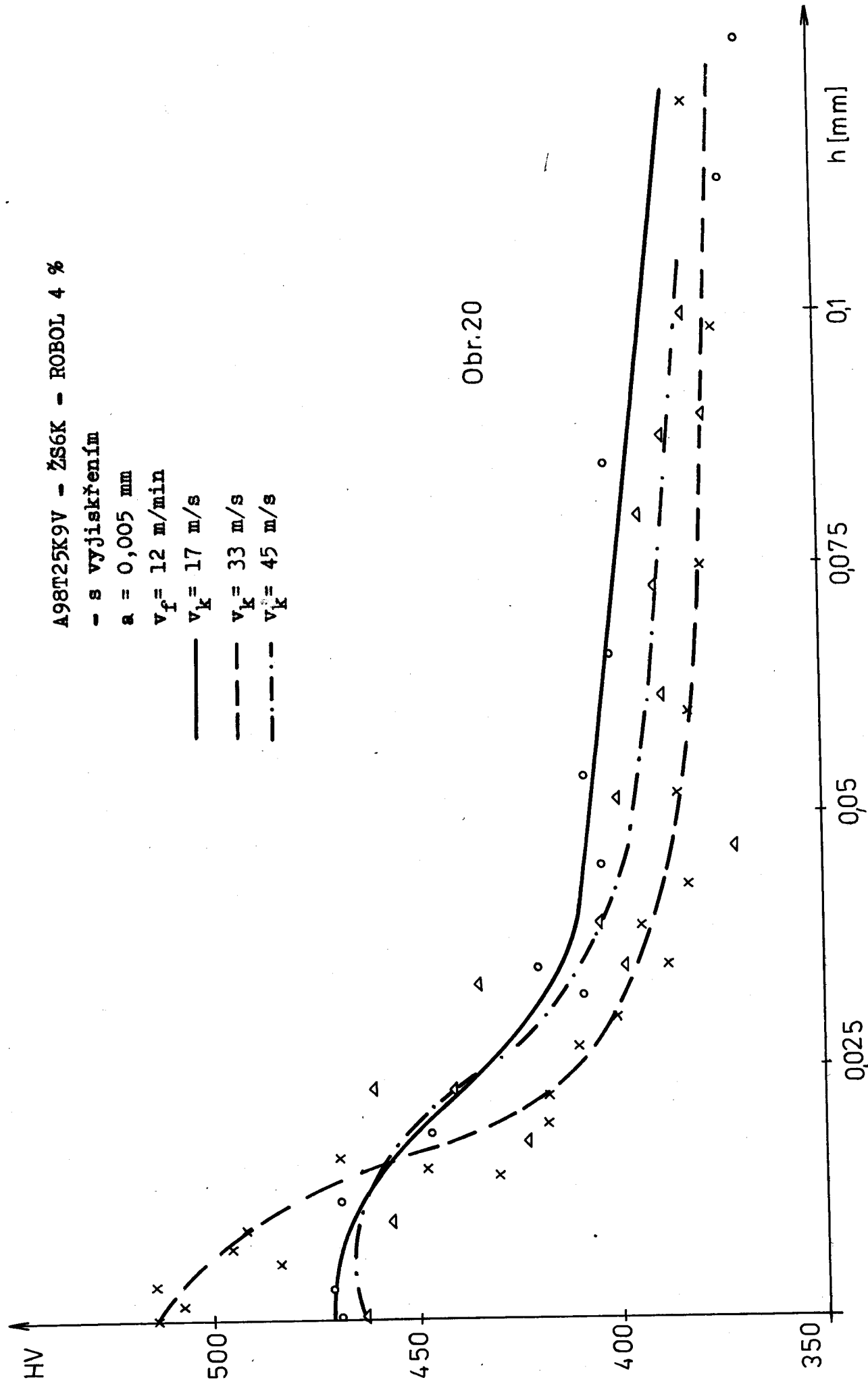
$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$

Obr.20



BN8L100/3V302060 - ŽS6K - ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

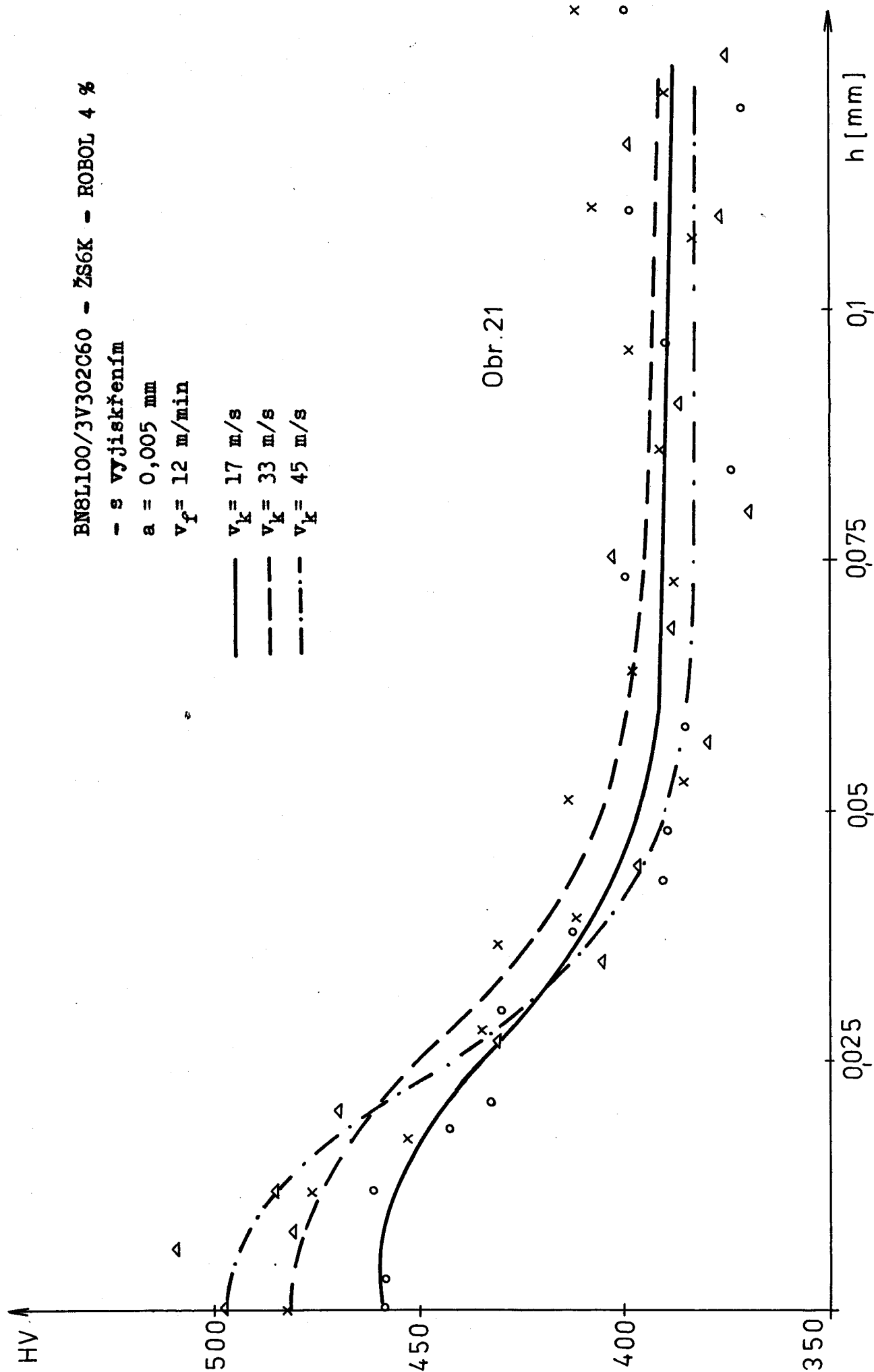
$a = 0,005 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$



A98T259V - ŽS6K - ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

$a = 0,02 \text{ mm}$

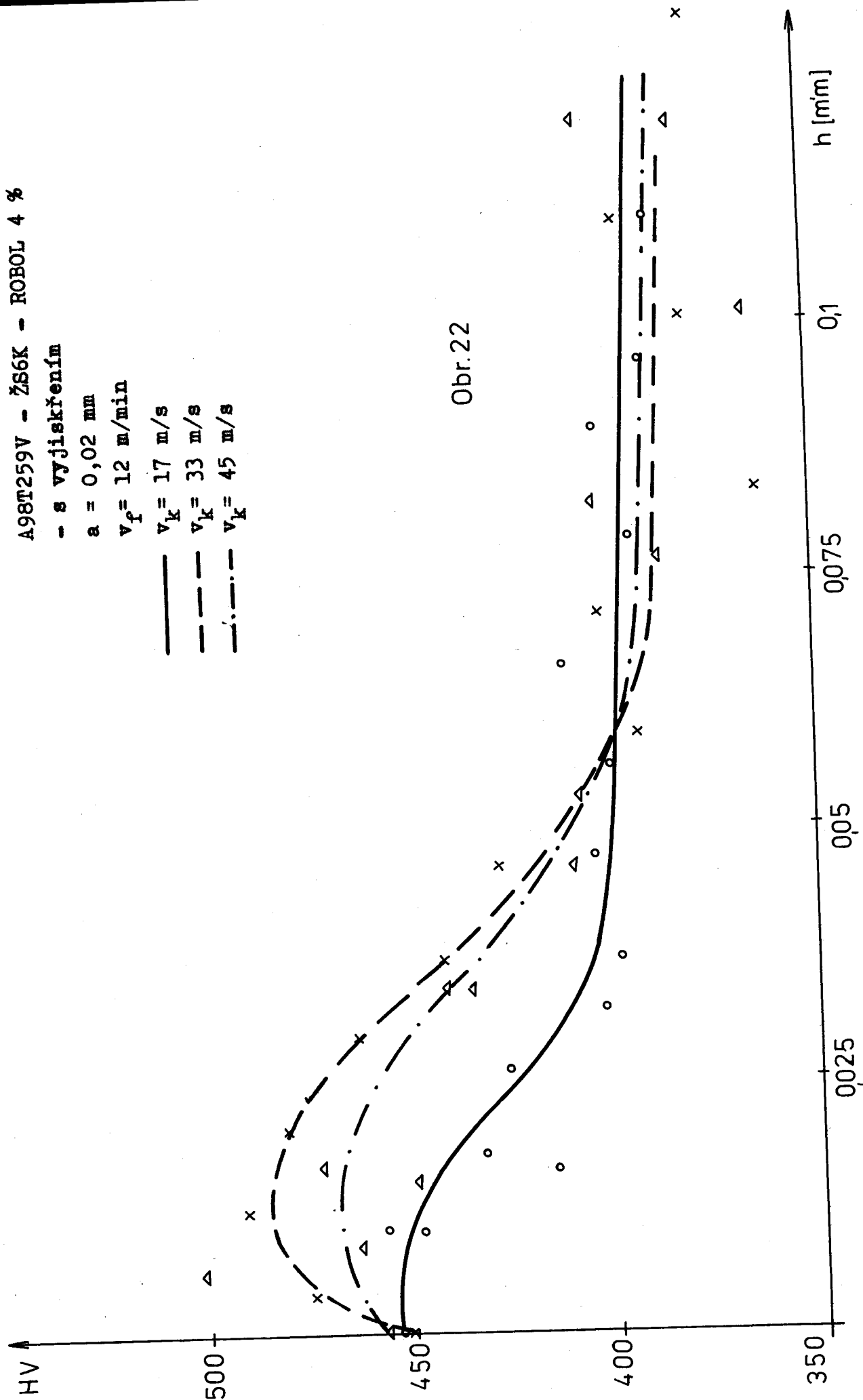
$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$

Obr. 22



BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

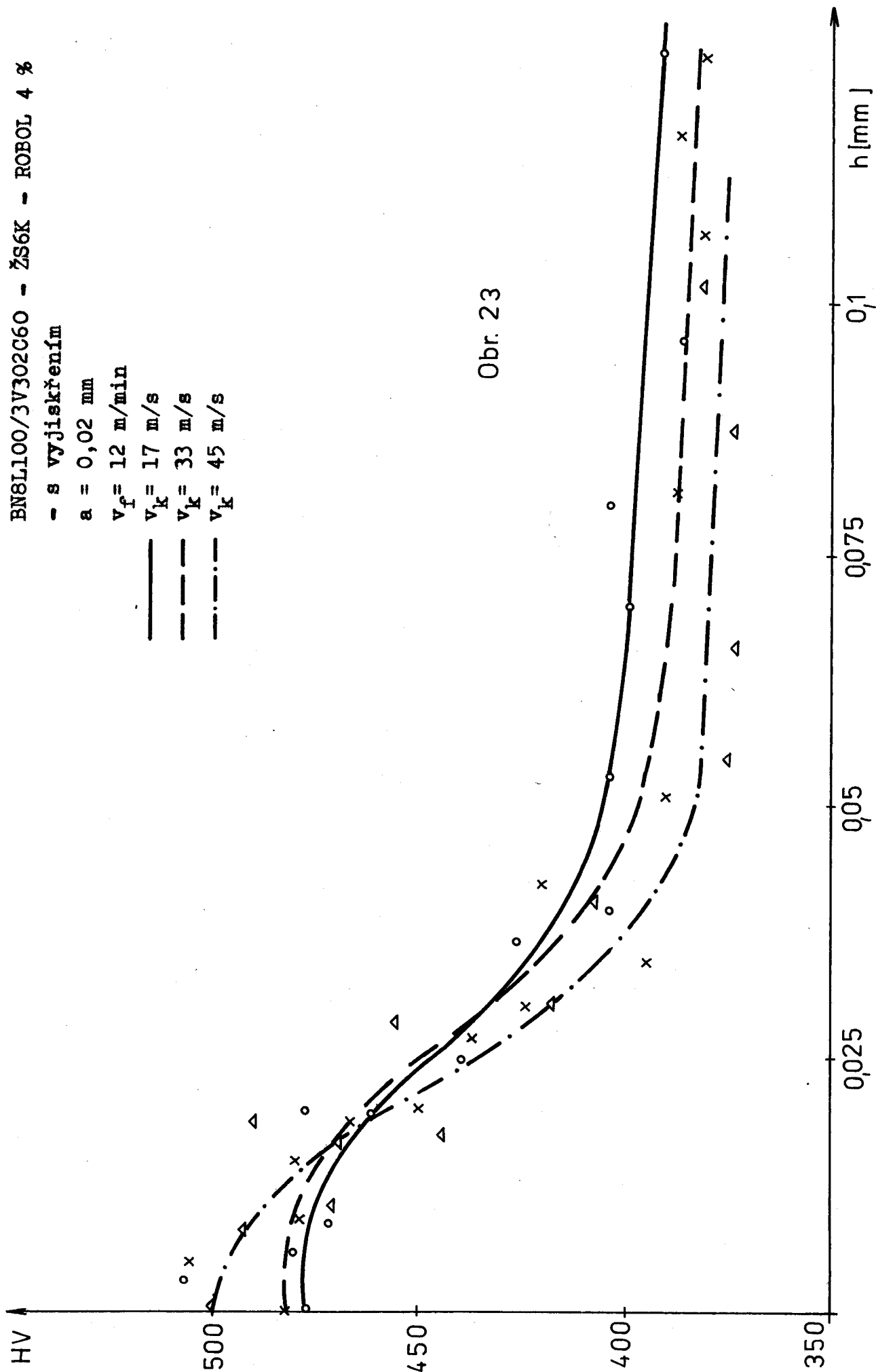
$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$



Obr. 23

A98T25K9V - ŽS6K - ABRASOL B

- s vyjiskřením

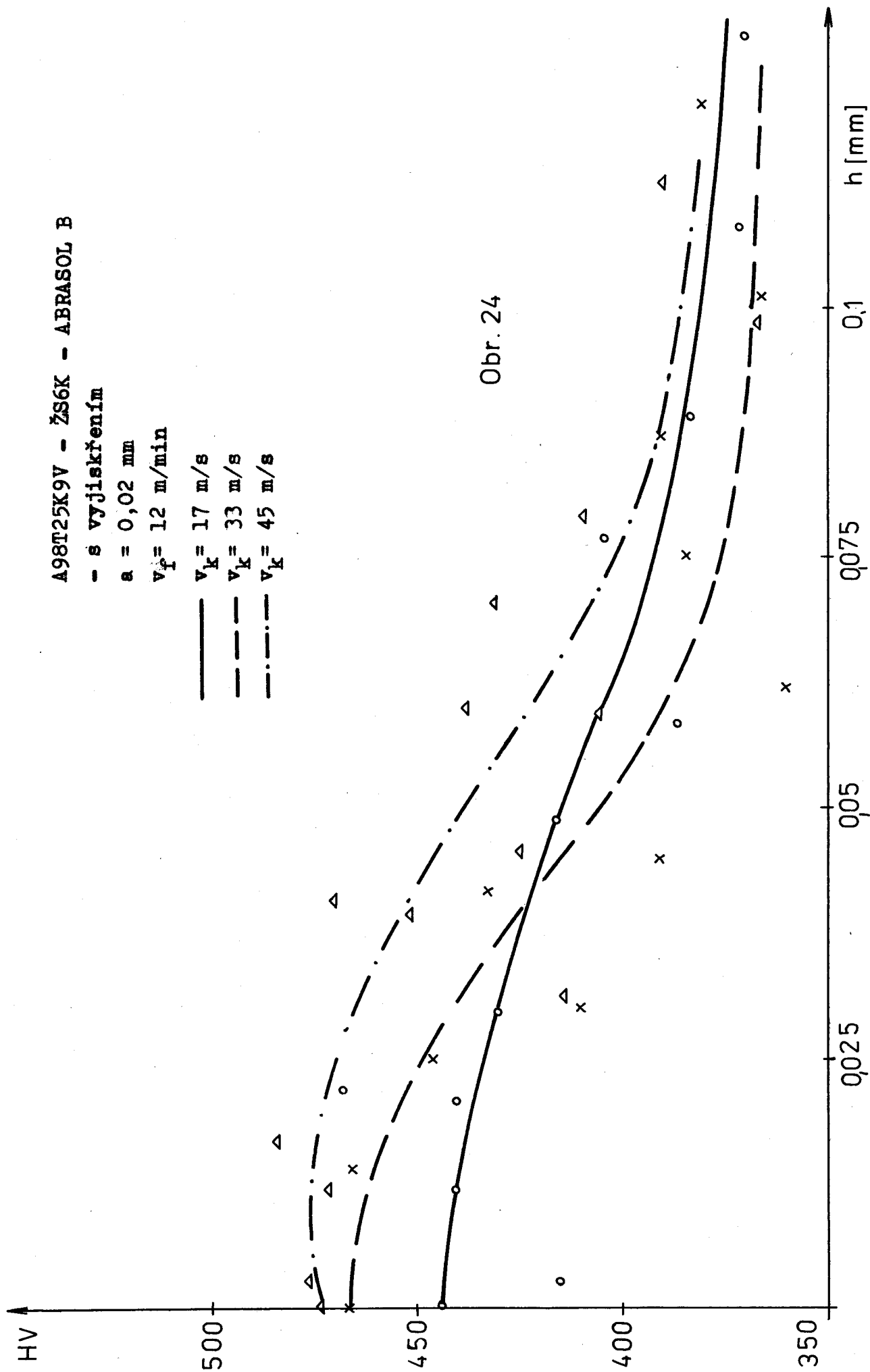
$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

— $v_k = 17 \text{ m/s}$

- - - $v_k = 33 \text{ m/s}$

- · - · - $v_k = 45 \text{ m/s}$



BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ABRASOL B

- s vyjiskřením

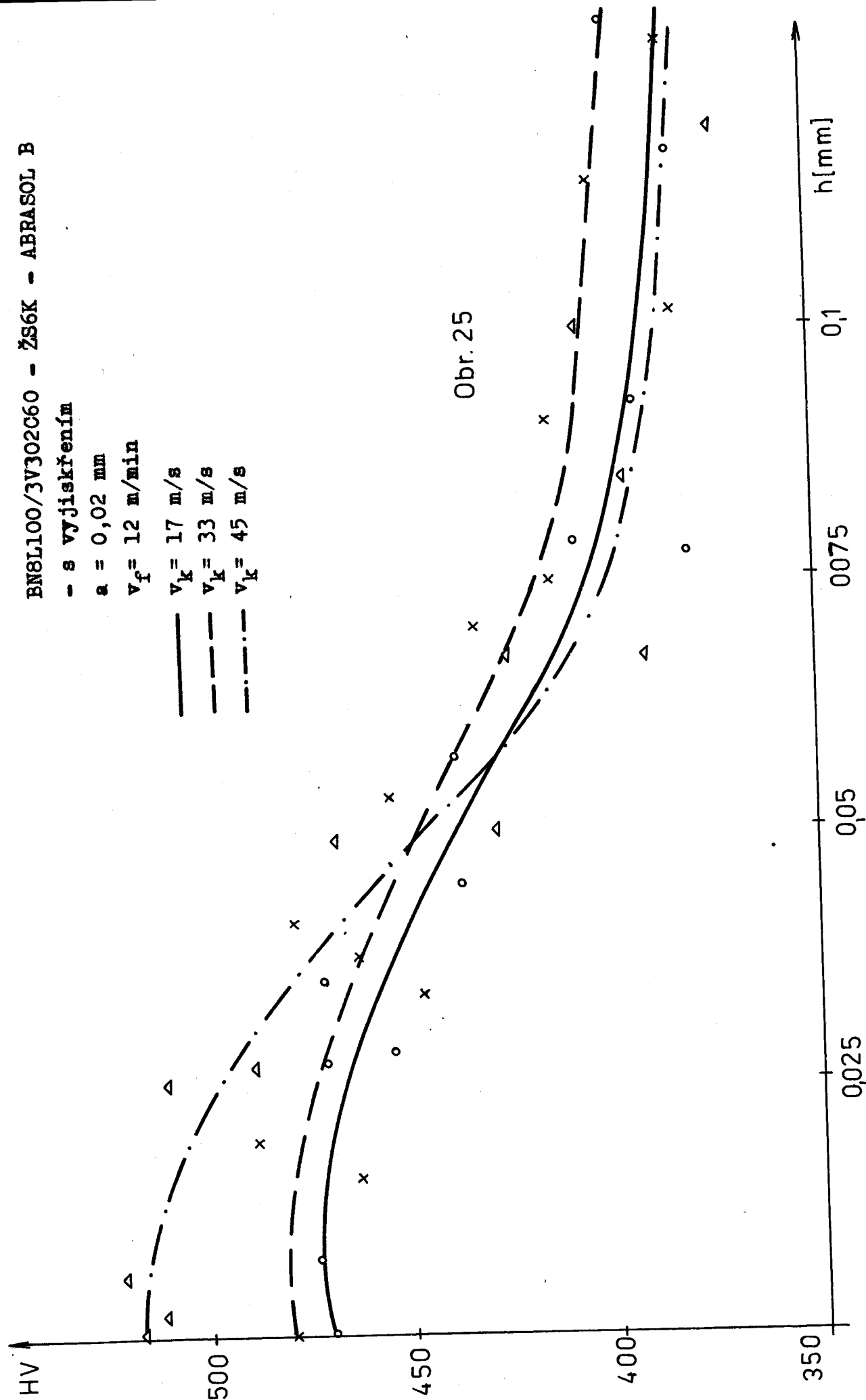
$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$



A98T25K9V - ŽS6K-ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

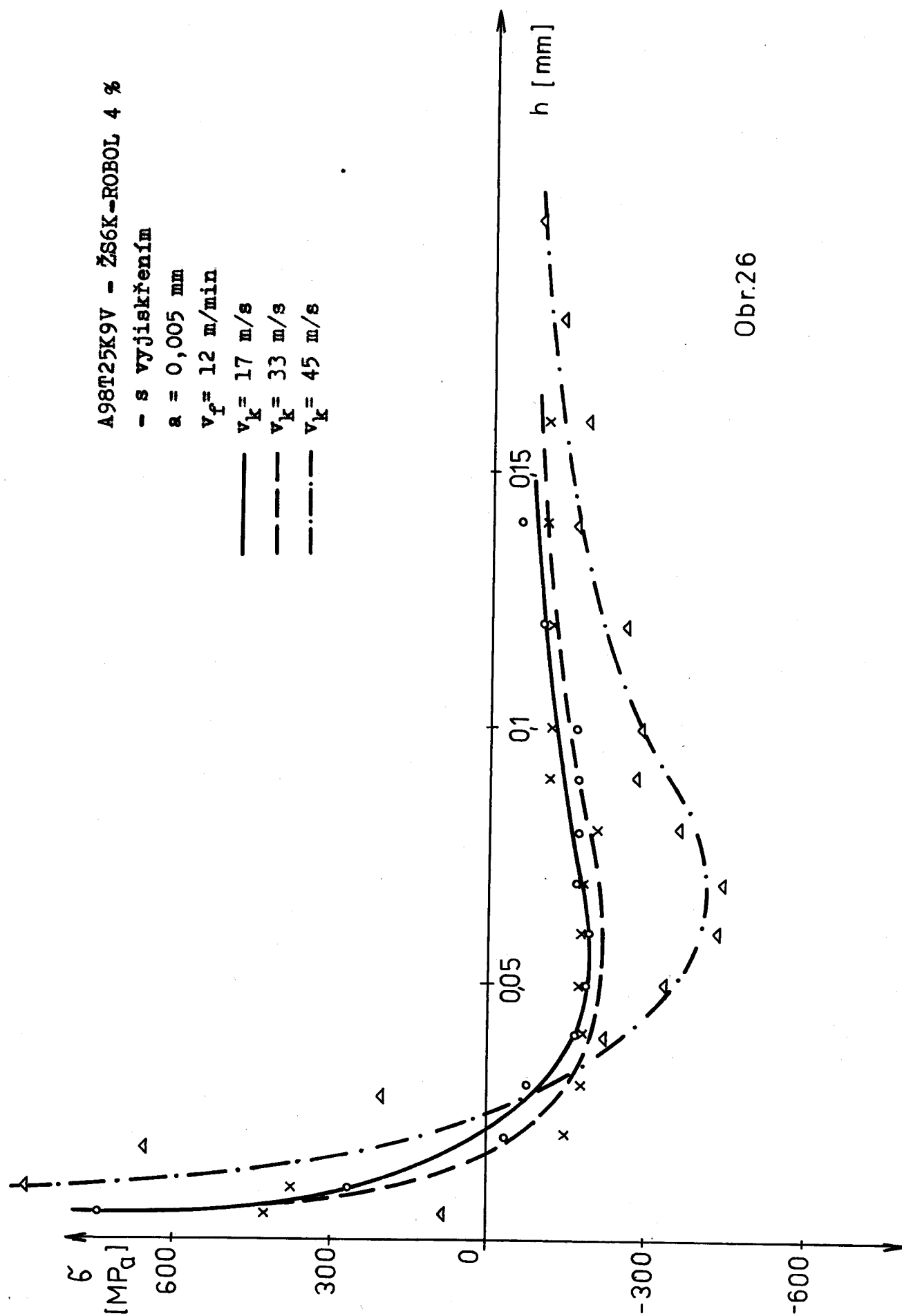
$a = 0,005 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$



Obr.26

BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

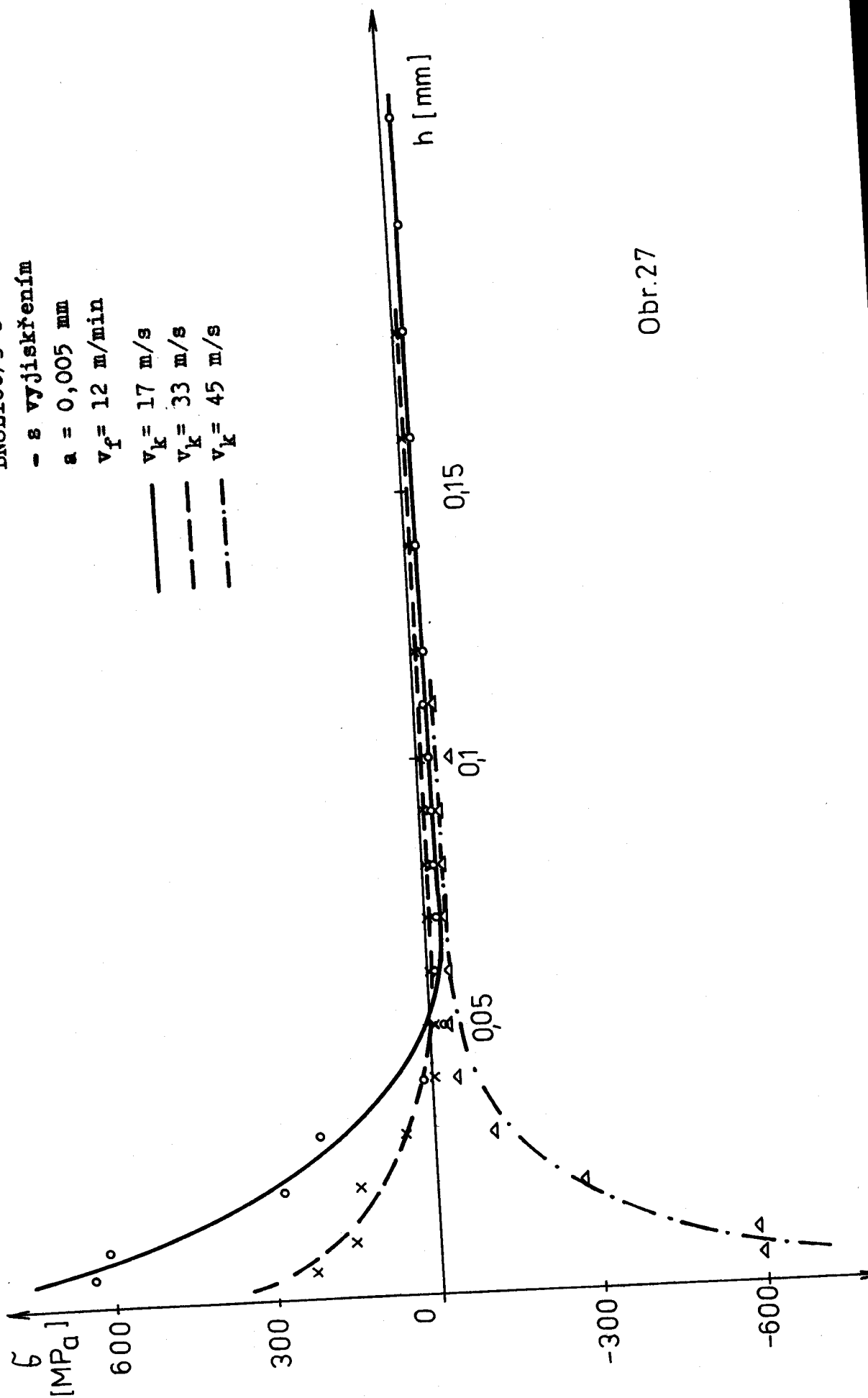
$a = 0,005 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$



Obr.27

A98T25K9V - ŽS6K - ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

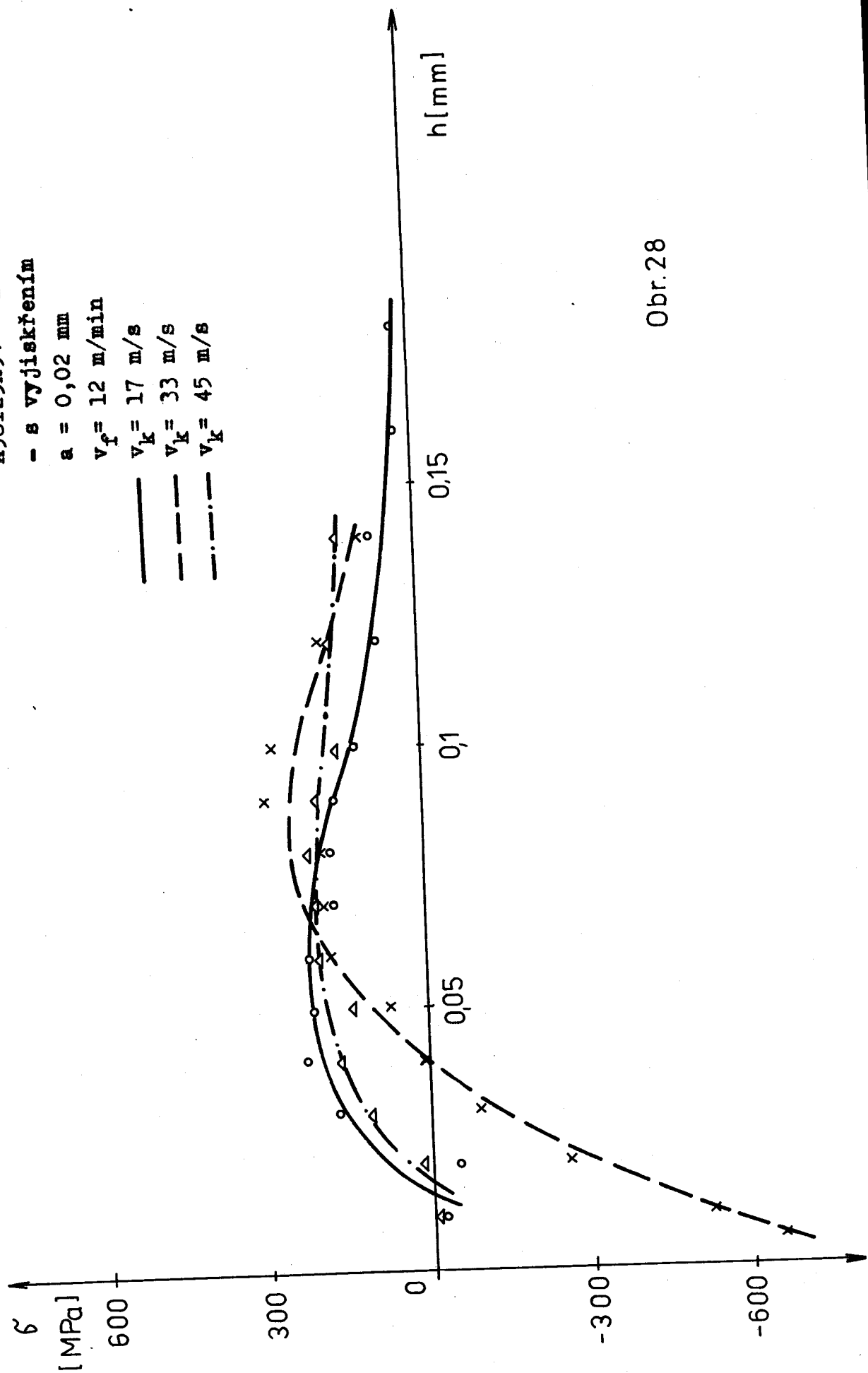
$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$



Obr.28

BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

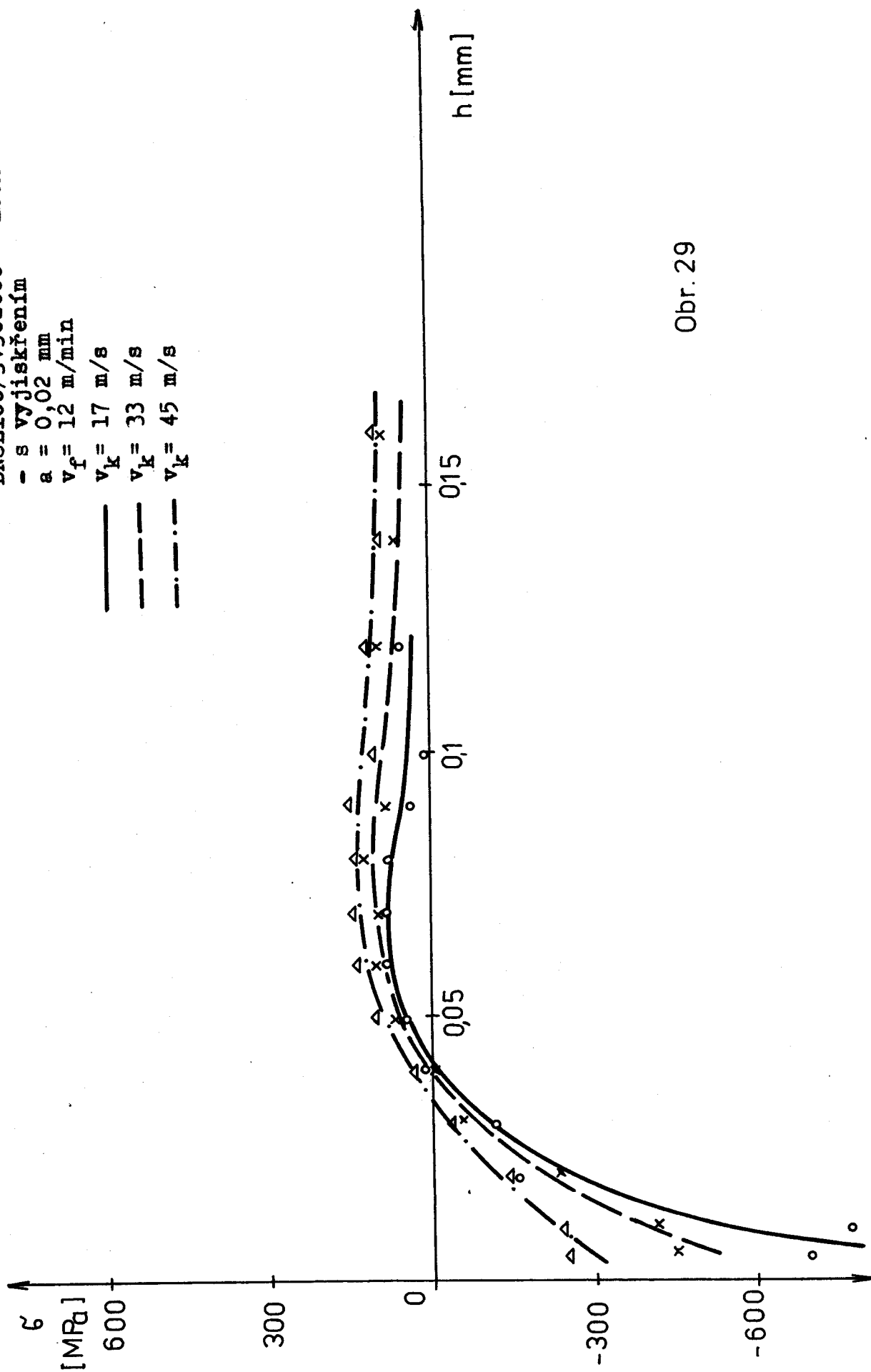
$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$



Obr. 29

A98T25K9V - ŽS6K - ABRASOL B

- s vyjiskřením

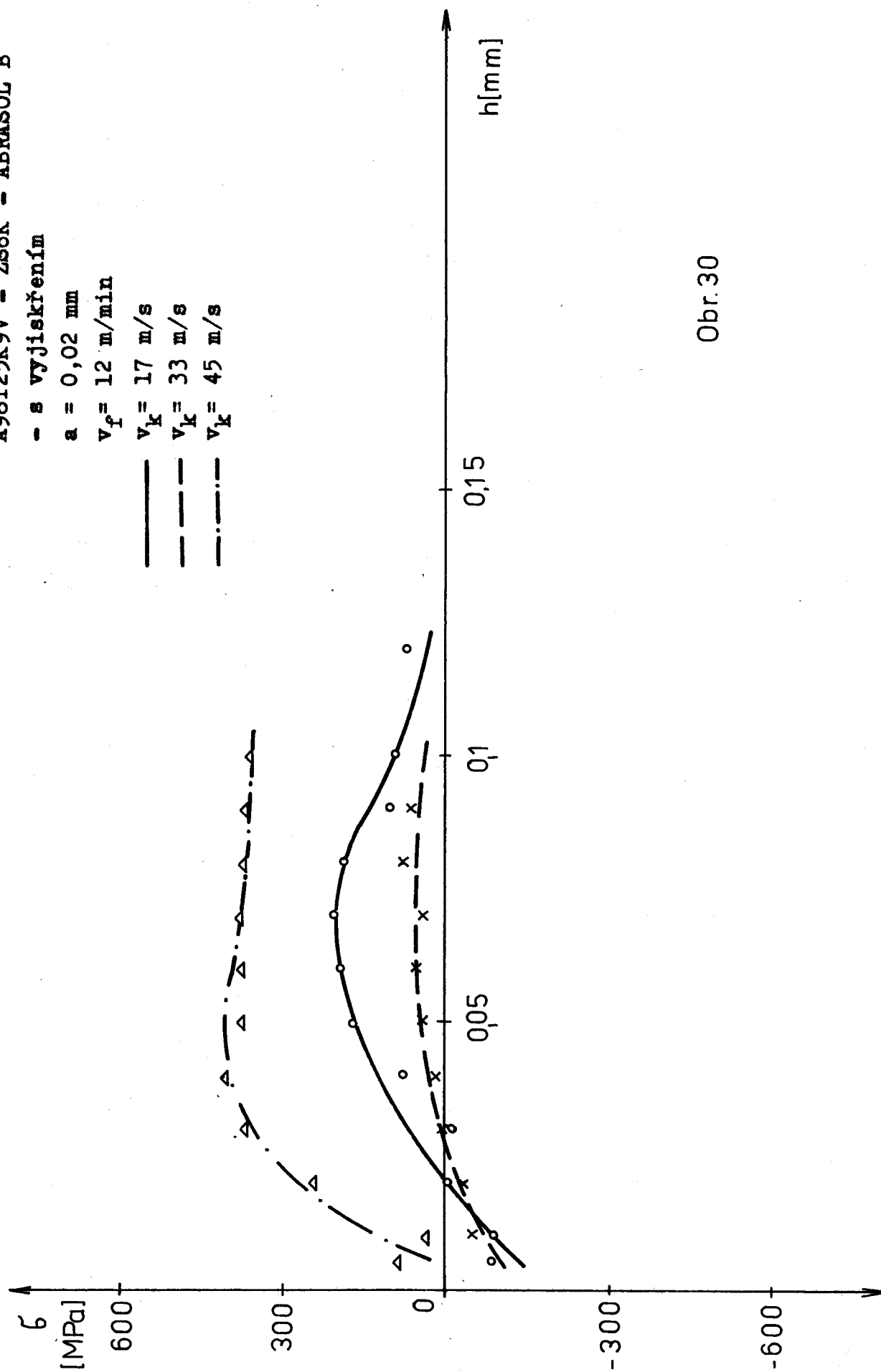
$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_k = 33 \text{ m/s}$

$v_k = 45 \text{ m/s}$



Obr. 30

BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ABRASOL B

- s vyjiskřením

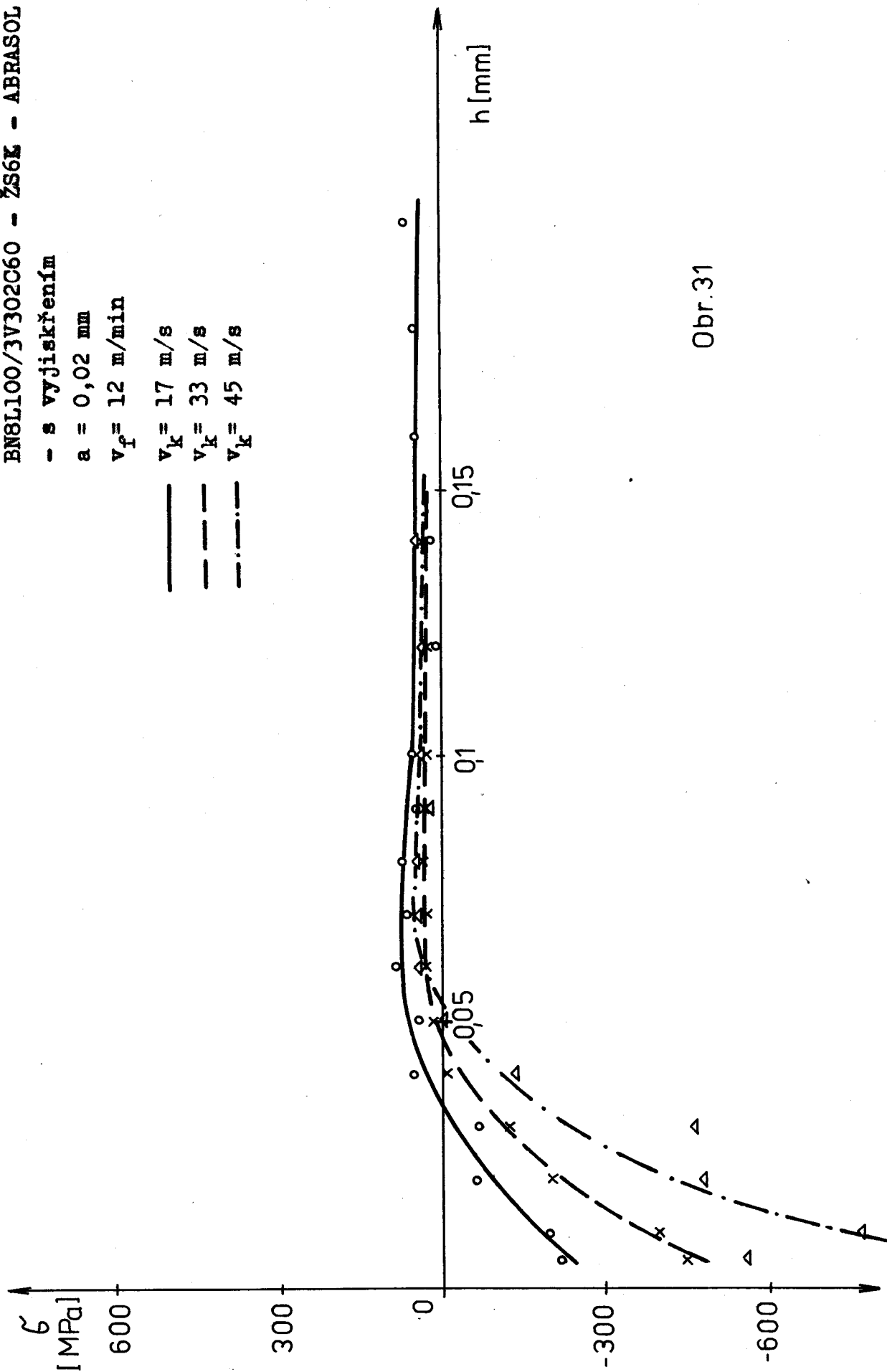
$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

— $v_k = 17 \text{ m/s}$

- - - $v_k = 33 \text{ m/s}$

- · - · - $v_k = 45 \text{ m/s}$



Obr. 31

6.6. Výsledné hodnocení

a/ Pro sestavení diagramů broušení (obr. 11, 12) DB1, DB2 a trvanlivostních charakteristik, byly použity naměřené hodnoty, které jsme získali při rovinném broušení obvodem kotouče na brusce BPH 20. K broušení byla použita slitina ŽS6K s řeznou kapalinou 4 % emulze ROBOL. Byly nasazeny kotouče A98T25K9V a BN8L100/3V302C60.

Po prostudování diagramů broušení (obr. 11, 12) se dospělo k těmto závěrům :

- brousicí kotouč A98T25K9V nám od hodnoty $h_{ekv} = 0,055 \mu m$ a výše (v rozmezí naměřených hodnot) vykazuje menší hodnoty měrné energie e' než u BN8L100/3V302C60. Pod hodnotu $h_{ekv} = 0,055 \mu m$ je to naopak. Z toho lze vyvodit závěr, že A98T25K9V je výhodnější použít pro větší úběry (hloubky řezu a).
- kotouč A98T25K9V nám vykazuje i lepší kvalitu povrchu R_a^V (R_a^V drsnost povrchu s vyjiskřením).
- nevýhodou brousicího nástroje A98T25K9V je poměrně velké radiální opotřebení Δr_s , které je patrné z diagramu broušení DB2 pro měrný objem odbroušeného materiálu $V' = 50 \text{ /mm}^2\text{/mm/}$. U nástroje BN8L100/3V302C60 po odbroušení $V' = 250 \text{ /mm}^3\text{/mm/}$ byla naměřena nulová hodnota radiálního upotřebení Δr_s .

Co se týče trvanlivostních charakteristik (obr. 13 - 18), jejichž hodnoty byly naměřeny při konstantních vstupních podmínkách a proměnném měrném objemu odbroušeného materiálu :

- BN8L100/3V302C60 při vyšších měrných objemech odbroušeného materiálu V' nám vykazuje nižší hodnoty složek řezné síly F_t' , F_n' vztažených na 1 mm šířky záběru brousicího kotouče. Kvalita drsnosti povrchu se zlepšuje s rostoucí obvodovou rychlostí kotouče v_k ($R_a = 0,5 \mu m$).

- A98T25K9V se při vyšších měrných objemech odbroušeního materiálu chová nepříznivě - dochází k nežádoucímu zanešení nástroje (při $V' = 100 - 150 \text{ /mm}^3\text{/mm/}$, to nám snižuje kvalitu povrchové vrstvy obrobku (tvorí se malé vlnky). K rapidnímu zhoršení dochází při obvodové rychlosti kotouče $v_k = 45 \text{ m/s}$ při $V' = 100 \text{ /mm}^3\text{/mm/}$, kde měření bylo přerušeno z důvodu silného chvění celé soustavy (obr. 18).

b/ Hodnoty potřebné pro sestavení charakteristik mikrotvrdomosti (obr. 20 - 25) a zbytkového pnutí (obr. 26 - 31), byly naměřeny na vzorkách z materiálu ŽS6K (viz 6.5.1.). Vzorky byly broušeny danými řeznými podmínkami (tab. č. 5, 6).

Z charakteristik mikrotvrdomosti bylo zjištěno :

- při broušení použitými kotouči dochází ke zpevnění povrchové vrstvy materiálu (obr. 20 - 25). U kotouče BN8L100/3V302C60 jsou hodnoty mikrotvrdomosti HV relativně větší než u A98T25K9V.
- s rostoucí hodnotou obvodové rychlosti kotouče rostou i hodnoty mikrotvrdomosti HV.
- jestliže použijeme jako chladicí kapalinu olej ABRASOL B, pak průběhy křivek mikrotvrdomosti jsou povlnnější a u kotouče A98T25K9V jsou hodnoty mikrotvrdomosti poměrně nižší.

U grafů zbytkové pnutí - hloubka (obr. 26 - 31) lze vyvodit tyto závěry :

- při nižších hodnotách hloubky řezu a převládají v povrchové vrstvě obrobené plochy převážně tahová zbytková napětí. S rostoucí hloubkou úběru nám tahová zbytková napětí přechází v tlaková, která jsou příznivější (tlakové pnutí zvyšuje mez únavy).

Po podrobnějším rozboru charakteristik zbytkového pnutí (obr. 26 - 31) a mikrotvrdosti (obr. 20 - 25) je mezi nimi patrna souvislost, kterou lze charakterizovat asi takto :

- zápornější hodnoty zbytkových napětí odpovídají vyšším hodnotám mikrotvrdosti HV.
- kladnější hodnoty zbytkového napětí odpovídají nižším hodnotám mikrotvrdosti HV.

Toto je možno vyčíst z (obr. 20, 26; 21, 27; 22, 28; 25, 31) v rozmezí hloubky $h = 0,0 - 0,015$ mm.

Měl jsem k dispozici i výsledky vědecké práce /11/, ve které Ing. Janoušek také používal brousicí kotouče A98T25K9V k broušení niklových slitin pod označením EI437BUVD, EI698 a ŽS6K.

Při porovnání i se zahraničními výrobky došel k závěru, že brousicí kotouč A98T25K9V spolu s použitou řeznou kapalinou ROBOL - 5 % vykazuje nejlepší výsledky.

7. Metalografické vyhodnocení vytvořeného povrchu

Ze vzorků, na kterých byla měřena zbytková pnutí, byly odříznuty segmenty, u kterých bylo provedeno metalografické zpracování. Povrchy byly leptány lázní o složení:

- modrá skalice 4 g
- kyselina solná20 ml
- destilovaná voda . . .20 ml

Doba působení roztoku byla 20 s. Předložené snímky (příloha 1 - 5) představují vzorky, které byly broušeny. Přestože se jedná o různé technologické podmínky, na snímcích nebyla patrna výrazná deformace povrchové vrstvy. Snímky představují zrna o velikosti až 1 mm. Metalografické výbrusy nevedly ve své podobě k určení hodnot zpevnění a v závislosti k němu odpovídajících zbytkových pnutí.

8. Z á v ě r

Výsledky měření, uvedené v této diplomové práci umožňují, i když ne zcela komplexně stanovit řezivost zkoumaných brousících kotoučů při broušení těžkoobrobitelných materiálů (ŽS6K).

Není možné tvrdit, že daný materiál je vytypovanými kotouči dobře obrobitelný, vždyť jde o materiál obtížně brousitelný. Pohled na dosažené výsledky (obr.11 - 31) nám dává představu o tom, jak je materiál obrobitelný příslušnými brousícími kotouči.

Základním předpokladem efektivního broušení je dobrý, kvalitní a především správně zvolený brousící nástroj. Jen správně zvolený kotouč může být dobrým nástrojem, kterým bude možno obrábět za minimálních výrobních nákladů při co možná největší efektivnosti a kvalitě povrchové vrstvy materiálu.

Literatura :

- /1/ Vigner M., Přikryl Z.: Obrábění, Pha, SNTL 1986
- /2/ Glazerová M.: Návrh a ověření metody hodnocení funkčních vlastností brousicích kotoučů
/Diplomová práce/ VŠST Liberec 1977
- /3/ Maslov J.N.: Teorie broušení kovů SNTL Praha 1979
- /4/ Bumbálek B.: Metodika stanovení diagramů broušení
VÚ, Brno 1981
- /5/ Mikovec M.: Obrábění těžkoobrobitelných materiálů
Praha, SNTL 1963
- /6/ Oczos K.: - Parzycki J.: Szlifowanie, WNT, Warszawa
1986
- /7/ Janoušek J.: Vliv technologie broušení na povrchové
vrstvy niklových slitin /Výzkumná zpráva/,
VŠST Liberec, 1987
- /8/ Gazda J., Janoušek J.: Výzkum řezivosti brousicích
kotoučů pro broušení speciálních mate-
riálů ve výrobě leteckých motorů /Výz-
kumná zpráva/, VŠST Liberec, 1985
- /9/ Mikovec M.: Obrábění těžkoobrobitelných materiálů
Praha, SNTL 1982
- /10/ Voda L.: Broušení těžkoobrobitelných materiálů
s vysokým obsahem niklu
/Diplomová práce/ VŠST Liberec 1985
- /11/ Janoušek J.: Obrobitelnost broušením materiálů
EI437BUVD a EI698 /Výzkumná zpráva/
VŠST Liberec, 1986

Vzorek č. Z 33 :

BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

$a = 0,005 \text{ mm}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

fotografie č.4



(ZVĚTŠENO 100x)

Vzorek č. Z 36 :

A98T25K9V - ŽS6K - ROBOL 4 %

- s vyjiskřením

$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

fotografie č.5



(ZVĚTŠENO 100×)

Vzorek č. Z 39 :

BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ROBOL 4 %

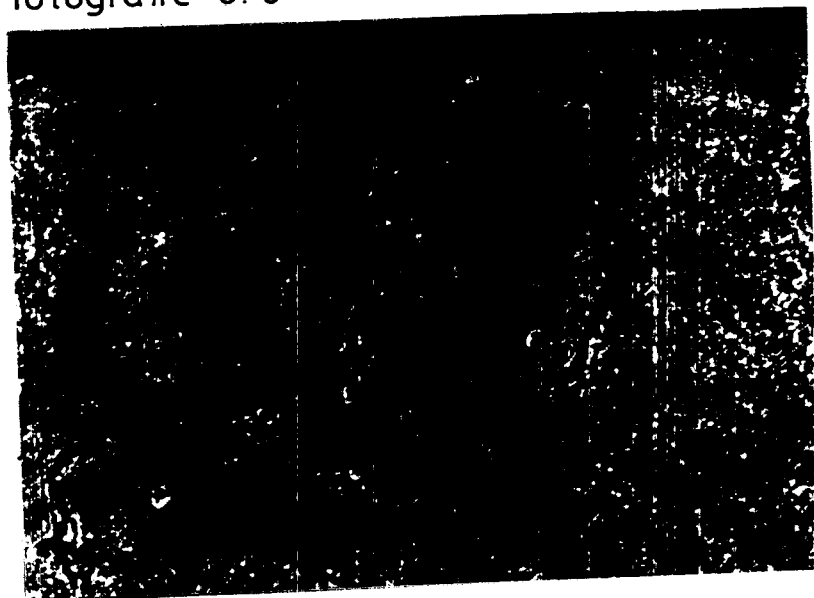
- s vyjiskřením

$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

fotografie č. 6



(ZVĚTŠENO 100×)

Vzorek č. 42 :

A98T25K9V - ŽS6K - ABRASOL B

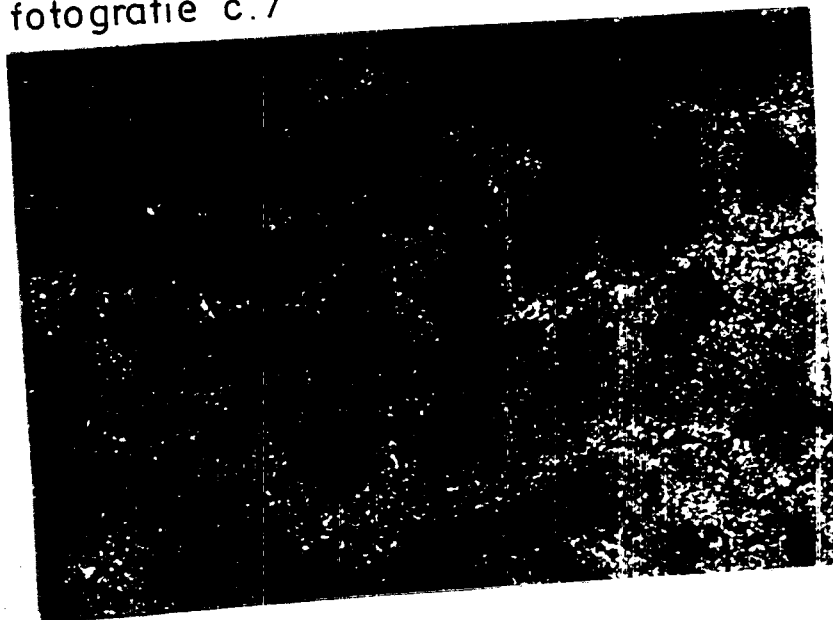
- s vyjiskřením

$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

fotografie č. 7



(ZVĚTŠENO 100 ×)

Vzorek č. Z 45 :

BN8L100/3V302C60 - ŽS6K - ABRASOL B

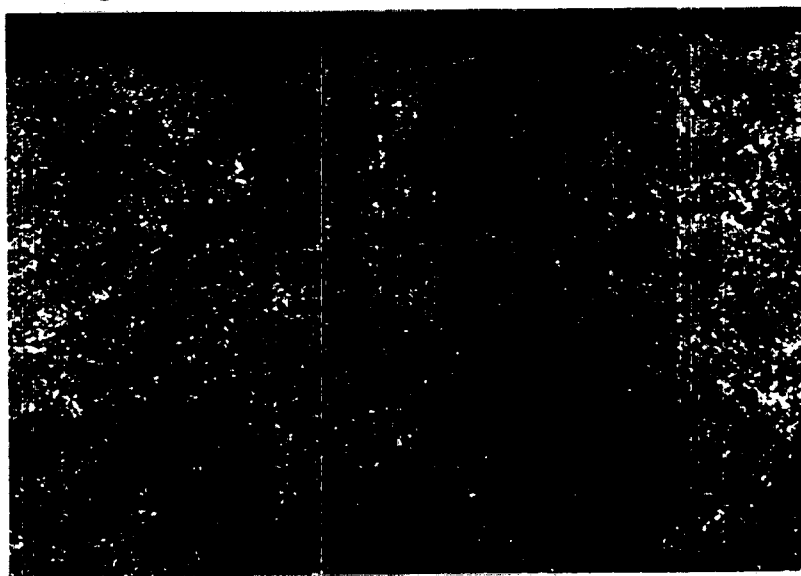
- s vyjiskřením

$a = 0,02 \text{ mm}$

$v_k = 17 \text{ m/s}$

$v_f = 12 \text{ m/min}$

fotografie č.8



(ZVĚTŠENO 100×)