

Vysoká škola: strojní a textilní Fakulta: strojní
Katedra: obrábění a montáže Školní rok: 1988 - 89

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Romanu Strukovou
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: Broušení nástrojů z velmi tvrdých materiálů.

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor vlastností nástrojů z KNB a diamantu.
2. Příprava povrchu nástroje před vlastním broušením.
3. Výzkum možnosti uplatnění nástrojů z velmi tvrdých materiálů se zaměřením na kovy.
4. Zhodnocení poznatků z experimentální části a doporučení k dalšímu výzkumu.

V 279/89 S

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

Děkan - [signature]
Provedl - [signature]

Rozsah grafických prací dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 59 stran textu

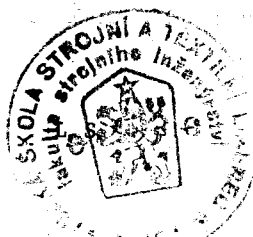
Seznam odborné literatury:

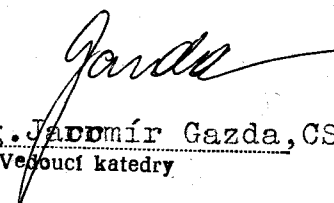
- 1/ Tomečková, G.: Diamantové nástroje pro obrábění progresivní keramiky /Diplomová práce/. VŠST Liberec, Liberec 1988.
- 2/ Janoušek, J.: Některé aspekty hodnocení procesu broušení při použití nástrojů z Al_2O_3 , SiC a KNB. In: Řezné nástroje. Liberec, 1985.
- 3/ Vierneke, N.: CBN - Schleifkörper in keramischer Bindung für den bedienungsarmen Schleifprozess. Walzlagertechnik, 1987 - 1.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Janoušek

Datum zadání diplomové práce: 26. 10. 1988

Termín odevzdání diplomové práce: 2. 6. 1989




Doc. Ing. J. Vladimír Gazda, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.
Děkan

v Liberci dne 26. 10. 1988

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ LIBEREC
NOSITELKA ŘÁDU PRÁCE

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor : 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření : obrábění a montáž

název práce : Broušení nástrojů z velmi tvrdých
materiálů

KOM - OM - 639

Romana Struková

Vedoucí práce : Ing. Jaroslav Janoušek

Počet stran : 88

Počet příloh : -

Počet tabulek : 3

Počet obrázků : 63

Počet modelů : -

Počet výkresů : 6

datum : 20.5.1989

Děkuji soudruhu Ing. Jaroslavu Janouškovi za odborné vedení při práci a zaměstnancům vývojových dílen za odstraňování závad, které se vyskytly na zařízení během praktického měření.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou
práci vypracovala samostatně s použitím uvedené li-
teratury.

V Liberci dne 20.5.1989

Romana Stukana
.....
vlastnoruční podpis

OBSAH

Seznam použitých symbolů	3
1. ÚVOD	4
2. ROZBOR VLASTNOSTÍ NÁSTROJU Z KNB A DIAMANTU	5
2.1. Vlastnosti diamantu	5
2.1.1. Přírodní diamant	5
2.1.2. Syntetický diamant	7
2.1.2.1. Vlastnosti syntetického diamantu	7
2.1.2.2. Koncentrace diamantu	11
2.1.2.3. Pojivo	12
2.2. Kubický nitrid bóru	14
2.2.1. Vlastnosti KNB	14
2.2.2. Koncentrace KNB	15
2.2.3. Pojivo	15
2.2.4. Zrnitost	15
3. PŘÍPRAVA POVRCHU NÁSTROJE PŘED VLASTNÍM BROUŠENÍM	18
3.1. Opotřebení brousících nástrojů	18
3.1.1. Základní poznatky o opotřebení	18
3.1.2. Opotřebení z hlediska průběhu broušení	19
3.1.3. Opotřebení z hlediska trvanlivosti kotouče	21
3.1.4. Vliv řezných podmínek na trvanlivost kotouče	24
3.2. Orovnávání diamantových a KNB brousících kotoučů	24
3.2.1. Přehled používaných orovnávacích nástrojů ..	25
3.2.2. Podmínky orovnávání	27
3.2.2.1. Orovnávání stojícími nástroji	28
3.2.2.2. Obrus	32
3.2.3. Orovnávání diamantovým válečkem	34
3.2.4. Chvění při orovnávání	35
3.2.5. Metody orovnávání KNB a diamantových brousících kotoučů	39

3.2.5.2.	Ostření tryskáním	39
3.3.	Experimentální část	40
3.3.1.	Použité zařízení	40
3.3.2.	Kriteria vyhodnocování naměřených výsledků ..	43
3.3.3.	Orovnávací režimy při orovnávání polykrystalickým diamantem	43
3.3.4.	Režimy ostření za použití drátěného kotoučku	55
3.3.5.	Orovnávání pomocí kladky	56
3.3.6.	Výzkum použití brousících kotoučů z KNE	58
4.	BROUŠENÍ RUZNÝCH MATERIÁLU	80
4.1.	Broušení ocelí	80
4.2.	Broušení molybdenu	80
5.	ZÁVĚR	87
	Použitá literatura	88

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

b_d	činná šíře orovnávacího nástroje	$[\mu\text{m}]$
d_g	velikost zrna brusiva	$[\mu\text{m}]$
F_n	měrná normálová síla	$[\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}]$
F_t	měrná tečná síla	$[\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}]$
f_s	frekvence orovnávaného kotouče	$[\text{s}^{-1}]$
f_{stor}	frekvence orovnávacího nástroje	$[\text{s}^{-1}]$
f_w	frekvence obrobků při broušení	$[\text{s}^{-1}]$
h	přísuv	$[\text{mm}]$
KNB	kubický nitrid bóru	
l_o	vyložení zrna	$[\mu\text{m}]$
PKD	orovnávací nástroje s řeznými destičkami z polykrystalických diamantů	
q_d	poměr rychlostí při orovnávaní	
R_a	střední aritmetická úchylka profilu	$[\mu\text{m}]$
R_a	střední aritmetická úchylka profilu při broušení s vyjiskřením	$[\mu\text{m}]$
R_{tso}	výsledná črnost orovnávaného kotouče	$[\mu\text{m}]$
R_z	výška nerovností profilu	$[\mu\text{m}]$
s_d	posuv při orovnávaní	$[\mu\text{m}]$
u_d	stupeň překrytí při orovnávaní	
V	měrný objem	$[\text{mm}^3 \cdot \text{mm}^{-1}]$
V_{sd}	objem odebraný při orovnávaní	$[\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_d	rychlost posuvu při orovnávaní	$[\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_f	rychlost stolu při broušení	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$
v_{frds}	zapichovací rychlost ostřícího nástroje	
v_s	obvodová rychlost kotouče při broušení	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_{fd}	zapichovací rychlost při orovnávaní	
v_{sd}	obvodová rychlost kotouče při orovnávaní	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
v_r	rychlost orovnávacího kotouče	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$

1. ÚVOD

Neustálý vývoj vědy a techniky zároveň zvyšuje nároky na obrábění materiálů běžně používaných, ale přináší široké použití materiálů nových, které je nutno efektivně obrábět. Tento požadavek si vynutil stále širší využívání přírodních, ale i syntetických diamantů v průmyslové výrobě. Zpočátku bylo těchto nástrojů možno využít na dokončovací broušení nástrojů se slinutými karbidy pouze tam, kde tento způsob byl ekonomicky výhodný. V současné době se s rozvojem výroby diamantových nástrojů zavedl výhradně tento způsob broušení. Výhodné je použití při výrobě přesných součástí z velmi tvrdých materiálů se zvyšujícími se požadavky na jejich přesnost a kvalitu povrchu.

Použití nástrojů z kubického nitridu bóru umožňuje výhodně brousit různé železné materiály, hlavně vysokolegované oceli. Brousícím nástrojem lze provádět hospodárně i hrubovací operace. Broušení se snadno přizpůsobuje mechanizaci a automatizaci a proto se výzkumu použití nástrojů z diamantu a KBN věnuje velká pozornost.

Stanovení produktivních metod, různých podmínek, vhodné volby brousícího kotouče, je velice obtížné. Tato diplomová práce se bude zabývat základními poznatky o přípravě brousícího kotouče k samotnému broušení. Obsahuje i výsledky měření pro vybrané metody ořovnávání a broušení různých materiálů.

2. ROZBOR VLASTNOSTÍ NÁSTROJŮ Z KNB A DIAMANTU

2.1. Vlastnosti diamantu

Diamant je stále více využíván pro výrobu brousících nástrojů, pro obrábění tvrdých materiálů. Nejdůležitějšími vlastnostmi pro efektivní použití je vysoká tvrdost, odolnost proti otěru, vysoká pevnost a vynikající tepelná vodivost. Nástroje se pak vyznačují malou tepelnou roztažností, která umožňuje vysokou rozměrovou stálost.

Rozeznává se diamant přírodní a syntetický.

2.1.1. Přírodní diamant

Přírodní diamant je modifikací uhlíku krystalické struktury s malým množstvím příměsí dalších chemických prvků, které určují jeho zabarvení. Vysoká tvrdost diamantu je dána tím, že každý atom se váže se svými čtyřmi sousedními atomy, čtyřmi dvojicemi valenčních elektronů. Jednotlivé krystaly mají různý geometrický útvar blízký se pravidelnému. Nejčastěji se objevuje rovnoběžnostěnný osmistěn, kosočtvercový dvanáctistěn, krychle a jejich kombinace /obr. 1/.

Různorodost krystalů je podmíněna nejen krystalickou formou, ale i různou stavbou stěn, tvarem si blízkých krystalů a jejich deformacemi. Diamant je anizotropní krystal, nemá stejné vlastnosti v různých směrech. Například mikro-tvrdost na stěnách osmistěnu /1 1 1/ je relativně největší, dále následuje kosočtvercový dvanáctistěn /1 1 0/ a stěna krychle /1 0 0/. Proto je diamant lépe obrobitelný na stěně kosočtvercového dvanáctistěnu a krychle /obr.2/.

Důležitou vlastností diamantu je nízký součinitel tření po oceli, přičemž se zvyšující rychlostí snižuje součinitel tření. Pokud probíhá tření ve směru větší tvrdosti, je součinitel tření menší než při tření ve směru menší tvrdosti.

Diamantová zrna začínají oxidovat při teplotě kolem 700°C, proto je nevhodné používat diamantový nástroj při vyšší teplotě.

Výhodné je použití u jednokrystalových řezných nástrojů, kde se využívá výborné leštitelnosti diamantu, která umožňuje získat velmi ostré břity.

Některé důležité vlastnosti diamantu jsou uvedeny v tabulce č.1.

tab. č.1

absolutní tvrdost	[MPa]	25 000
hustota	[g/cm ³]	3,4 ÷ 3,5
Joungův modul pružnosti	[MPa]	10 ⁵
bod tavení	[°C]	asi 3 700
délka strany mřížky	[nm]	0,3567
minimální vzdálenost		
mezi sousedními atomy	[nm]	0,154
tepelná stálost	[°C]	700 ÷ 800

2.1.2. Syntetický diamant

2.1.2.1. Vlastnosti syntetického diamantu

Přírodní diamant je stále více nahrazován diamanty syntetickými, které jsou vyráběny třemi možnými metodami.

- 1/ Výroba v oblasti termodynamické stability diamantu působením statických tlaků minimálně 6 000 MPa a minimálních teplot 2 000 K na grafit, podobu několika sekund bez použití speciálního prostředí.
- 2/ Výroba v oblasti termodynamické stability diamantu při působení vysokých dynamických tlaků, když přechá-

zí grafit na diamant působením rázové detonační vlny, která vytváří potřebné tlaky 75 000 - 100 000 MPa, jakož i potřebnou vysokou teplotu. Doba působení je několik mikrosekund, proto je získaný diamant jemnozrnný.

- 3/ Výroba v oblasti termodynamické stability grafitu probíhá při atmosferickém nebo nižším tlaku a při teplotách 1400 - 1500 K epitaxiálním narůstáním diamantu na zárodcích.

Základní tvary syntetického diamantu jsou kostka, osmistěn a jejich kombinace - kubo-oktaedr /obr.3/. Vytvářejí jednoduché srůsty tvořící se na ploškách. Srůsty mohou být dokonalé, nedokonalé a neúplné. Objevují se i polykrystalické agregáty a zrna nepravidelného tvaru. Jsou to vícenásobné srůsty monokrystalů nebo neúplných srůstů.

Typy syntetických diamantů můžeme rozdělit do tří skupin :

- monokrystaly a jednoduché srůsty
- polykrystalické agregáty
- skeletové krystaly, jehlicovité krystaly

Výrobou syntetických diamantů se v ČSSR zabývá n.p. Pramet Šumperk. Tyto diamanty jsou rozděleny z hlediska tvaru a pevnosti zrna do dvou skupin :

- 1/ SDP - jedná se o zrna nepravidelná, prosívaná snižší rázovou pevností, která jsou určena pro hrubovací a dokončovací nástroje s pryskyřičným pojivem. Členitý povrch zrn zabezpečuje velmi dobrou přilnavost organického pojiva, což zabraňuje jejich vypadávání z nástroje. Nástroje pracují rychle s nízkým přitlakem. Využívá se samoostřicí schopnosti, která je způsobena zvýšenou křehkostí zrn. Zrna se již při částečném otupení vy-

štěpují, čímž vytvářejí nové ostré řezné hrany. Při broušení se vyvíjí malé množství tepla a proto je možné použití bez chlazení.

Skupina SDP se vyrábí také s kovovým silným povlakem, který zajišťuje lepší kotevní zrna v pojivu a lepší odvod tepla do pojiva.

2/ SDK - zrna tohoto typu jsou prosívaná, blokovitá s velkou pevností, vhodná pro brousící nástroje s kovovým pojivem pracující tvrdším režimem. Při práci musíme chladit, nástroje však dlouho uchovávají tvar a ubývají velmi pomalu.

Výhodné použití pro křehké, tvrdé materiály, pro velkou hloubku řezu nebo pro honování kalených ocelí.

Dále je uváděn prášek, který je mikroskopicky tříděný - SDM. Používá se na výrobu leštících past a suspenzí.

V SSSR se v současné době vyrábí více značek diamantu. ASK - diamantový prášek s rozměrem zrn do 0,6 mm /krystalický/, jejichž pevnost se rovná pevnosti zrn přírodního diamantu. Zrna mají hladký povrch, vysokou pevnost a menší křehkost než ASO, ASR a ASP. Použití u nástrojů s tvrdým kovovým pojivem určené pro zvláště těžké podmínky broušení.

ASS /krystalický tříděný/ - tuto skupinu tvoří monokrystaly velikosti do 0,6 mm. Jejich pevnost je 1,5 - 2x větší než u přírodního diamantu. Nástroje jsou určené na výrobu geologických vrtných nástrojů, orovnávačů a pro řezání korundu.

AST - jsou krystaly o velikosti 0,6 - 1 mm bez trhlin určené na výrobu monokrystalových nástrojů jako jsou nože, rytecké jehly, dotyky měřících přístrojů.

ASO /běžné pevnosti/ - krystaly drsného povrchu se zvýšenou křehkostí, která určuje samoostřící efekt. Vyznačují se také dobrým upevněním v pojivu. Používají se pro

nástroje s organickým pojivem určené pro broušení na čisto. Vyrábějí se se zrnitostí 160/125 - 50/40. ASR /zvýšená pevnost/ - zrna nižší drsnosti s dostatečným upevněním v pojivu. Doporučuje se pro nástroje s keramickým, kovovým a organickým pojivem, pro hloubku řezu větší než 0,03 mm. Vyráběná zrnitost 250/200 - 63/50.

ASV - mají větší pevnost než prášky ASR. Používají se pro nástroje s kovovým pojivem při práci s větším měrným zatížením. Zrnitost 400/315 - 80/63.

SAM /s normální brusivostí/ - syntetické monokrystaly diamantu s pevností přibližně rovnou pevnosti přírodních diamantů. Využívají se pro obrábění slinutých karbidů, skla, křemíku a porcelánu.

ASN /se zvýšenou brusivostí/ - výroba nástrojů, past, suspenzí pro obrábění krystalů přírodního a umělého diamantu tzn. velmi tvrdých, křehkých materiálů, které se špatně obrábí. Vyrábí se s zrnitostí 60/40 - 1/0.

Stále větší význam mají umělé polykrystalické diamanty ABS /ballas/ a ASPK /karbonado/. Mají dostatečně velké rozměry pro výrobu nožů, krystaly 3 - 5 mm o průměru až 6 mm.

Brousící nástroj se skládá ze zrn brusiva stmelěných v celek pojivem. Charakterizující parametry brousícího kotouče jsou geometrický tvar a velikost, druh brusiva, pojivo, zrnitost, tvrdost a koncentrace brusiva.

Pro efektivní obrábění je nutné, aby při teplotě, která vzniká v místě broušení $400 \div 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ i více/, bylo dodrženo pravidlo, aby tvrdost brusiva Hbr byla nejméně 1,5 - 2x větší než tvrdost obráběného materiálu. Hob. mikrotvrdost některých materiálů v MPa při $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ je uvedena v tab. č. 2.

tab. č.2

diamant	98 000
KNB	91 000
karbid bóru	39 000
karbid křemíku	29 000
elektrokorunt	19 800
SK K 05	17 500
řezná keramika	
KDb8	12 000
RO 19 824	4 900

Brusivo musí být až na výjimky při vysoké teplotě chemicky inertní vůči obráběnému materiálu.

Diamantový brousící nástroj se skládá z nosné části, na které je upevněna diamantová vrstva tloušťky 1,5 ÷ 3mm. Nosné části se vyrábějí ocelové, z hliníkových slitin nebo plastů. Umístění a tvar vrstvy se volí dle použití nástroje. Vrstva se dále skládá ze zrn diamantového prášku, pojiva a plniva. Rostoucí množství plniva zvyšuje pevnost a zlepšuje řezné vlastnosti. Mezi nosnou částí a pracovní vrstvou je většinou ochranná vrstva, která chrání kotouč před poškozením po úplném spotřebování diamantové vrstvy.

2.1.2.2. Koncentrace diamantu

Koncentrace udává množství diamantového prášku v mm^3 vrstvy vyjádřené v procentech. Za 100% koncentraci se považuje 0,878 mg diamantového prášku v jednom mm^3 vrstvy. Nejčastěji se používá 50, 100, 125 % koncentrace.

Pro volbu koncentrace se doporučuje dodržet tato pravidla :

- 1/ Čím tvrdší vazba, tím účelnější použití vyšší koncentrace. Protvrdé kovové vazby je základní 100 % a vyšší koncentrace. U pryskyřičných vazeb bereme jako

základní 75 % a za maximální 100 % koncentraci.

- 2/ Čím je větší zrnitost, což znamená méně zrn a tedy méně řezných hran, tím je účelnější zvyšovat koncentraci.
- 3/ Vysoká koncentrace je výhodná u kotoučů, u kterých vyžadujeme velký a rychlý úběr materiálu.
- 4/ Vysoké koncentrace se používá u nástrojů, které nemají dlouho měnit tvar a co nejpomaleji měnit rozměr.

2.1.2.3. Pojivo

Diamantové zrno musí pracovat co nejdéle a odevzdávat další práci i po otupení, aby se dosáhlo co nejmenší spotřeby diamantu. Tomuto požadavku odpovídá použití co nejpevnějšího blokovitého zrna v kovovém velmi tvrdém pojivu. Naproti tomu je požadavek rozdrncení zrna ihned po malém otupení, aby byly vytvořeny další břity nebo uvolnění zrna z pojiva a tím vznikne obnažení dalších zrn. Z tohoto hlediska je nejvýhodnější použití zrna nepravidelných tvarů o menší pevnosti v měkké, nejčastěji pryskyřičné vazbě s nižšími mechanickými vlastnostmi, ze které se otupené zrno snadno uvolňuje. Z těchto požadavků vyplývají podmínky použití.

- A/ Kotouč s velmi tvrdou vazbou bude velmi dlouho uchovávat svůj tvar. Ovšem jeho použití je provázáno větším tlakem při práci, větším vývinem tepla a tudíž je nutné při práci chladit. Kotouč se bude jevit jako tupější.
- B/ Kotouč s pryskyřičnou vazbou se vyznačuje malými přítlaky, menším vývinem tepla. Je možno pracovat bez chlazení a kotouč se bude jevit jako ostřejší. Spotřeba diamantu je větší než v prvním případě. Určitým kompromisem je použití efektu samoostření.

Vlastnosti pojiva jsou přizpůsobeny účelu použití, druhu velikosti a koncentraci použitého diamantu tak, aby se v určitém stupni otupení z pojiva zrno uvolnilo a pojivo ubylo natolik, že dojde k samovolnému obnažení nových ostrých zrn.

Dle účelu použití rozeznáváme různé vazby kovové, organické a keramické.

Kovové vazby jsou dány těmito skupinami :

Mk / měkká kovová /

Tato vazba rychle obnažuje zrna a má vlastnosti kovu. Pracuje ostře za velmi malých přítlaků. Dobře drží tvar nástroje a měrná spotřeba diamantu je menší než použití pryskyřičného pojiva. Představuje přechod mezi pryskyřičnými a tvrdými kovovými pojivy Bz.

Bz

Jedná se o vazbu bronzovou s různým obsahem cínu. Obsah cínu reguluje podle druhu kotouče tvrdost pojiva. Tato vazba obsahuje také malé množství dalších kovů a jiných materiálů pro zlepšení vlastností pojiva.

Pro nástroje s Bz pojivem se používá pevný blokovitý diamant o vysoké koncentraci, což umožňuje odebírat až 1mm i více SK na jeden průchoď. Nástroj dlouho zachovává rozměr a je vhodný pro nejtěžší namáhání, práce hrubovací, střední broušení a ostření.

Zvláštní druhy Bz pojiv jsou :

- vazba El - používá se pro kotouče pro elektrolytické broušení. Jedná se o bronzové pojivo se zvýšeným obsahem stříbra a dalších přísad pro potlačující ztráty.

- vazba BZs - nejtvrďší bronzové pojivo používáme na nástroje se zvláštní odolností např. při otěru pojiva. Broušení je nutné provádět za mokra .

Ni - čistý nikl

Toto pojivo se používá k upevnění diamantových brusných zrn v jedné nebo více vrstvách. Výhodné je tam, kde při

opracování materiálu vznikají abrazivní účinky a tam, kde je požadován co největší břit zrna. Při práci je nutno chladit.

Cu

Používá se pro křehké obrobky a vyznačuje se rychlým samostřením.

Pryskyřičné vazby

Ba

Jedná se o fenol - kresolové pryskyřice se speciálními plniteli. Pojivo je vhodné pro nástroje pro střední a dokončovací broušení. Je možné použití za sucha, ale broušení s velmi malým množstvím tekutiny je hospodárnější.

Ep

Upravená epoxidová pryskyřice obsahující jako plnitelé kysličníky kovů. Používá se pro střední dokončovací a velmi jemné broušení s malými přitlaky. Je nutné chlazení.

2.2. Kubický nitrid bóru

2.2.1. Vlastnosti KNB

Po diamantu je KNB druhým nejtvrdším brusivem a používá se s výhodou pro opracování vysoce legovaných ocelí. Mezi základní vlastnosti patří vyšší tepelná odolnost než u diamantu a hlavně chemická netečnost vůči železu. Také adhezní a difuzní opotřebení je menší než u diamantového nástruže.

KNB obsahuje 43,6 % bóru a 56,4 % dusíku. Krystalická mřížka se podobá mřížce diamantu, tzn., že má stejnou stavbu, ale obsahuje atomy bóru a dusíku. Rozměry krystalické mřížky jsou poněkud větší, než u mřížky diamantu. Tím se spolu s nižší valencí atomu tvořící mřížku KNB vysvětluje jeho nižší tvrdost oproti diamantu. Krystaly vznikají syntézou šesterečného nitridu bóru za přítomnosti katalyzátoru ve speciálních kontejnerech na hydraulických

lisech zabezpečujících tlak $800 \div 980$ MPa a teplotou asi $8\ 000^{\circ}\text{C}$.

Brousící kotouč je charakterizován zrnitostí, koncentrací a použitím pojiva.

2.2.2. Koncentrace KNB

Vyjadřuje obdobně jako u diamantu množství KNB v pracovní vrstvě nanesené na tělese nástroje. Volba koncentrace určuje řezné vlastnosti kotouče, produktivitu a životnost. Za 100 % koncentraci je považován obsah KNB $0,88\text{ mg}$ v 1 cm^3 brusné vrstvy. Zásady pro volbu koncentrace jsou obdobné jako u nástroje diamantového.

2.2.3. Pojivo

Používané pojivo je obdobné jako u diamantových nástrojů. Dle údajů firmy Diamantfriedl se používá těchto pojiv :

- 1/ pojiva z umělých pryskyřic
- 2/ pojiva ze sintrovaného materiálu - jsou převážně bronzová, ale mohou být i wolframkarbidová
- 3/ galvanická kovová pojiva - na bázi mědi a niklu
- 4/ pojivo z pájecího kovu - postup byl vyvinut firmou DEGUSSA a DIAMANTFRIEDL. Pomocí niklové nebo měděné pájky se nanese ve vakuu nebo ochranné atmosféře zrna na pracovní plochu. Dle velikosti zrna je možné vytvořit vrstvy o tloušťce $0,5 \div 5\text{ mm}$.
- 5/ keramické pojivo - tento druh pojiva je vhodný pro materiály tvořící dlouhé třísky a pro práci za mokra. Obrábí se keramika a grafit.

2.2.4. Zrnitost

Obdobně jako u diamantu je dána zrnitost souborem úlomků /frakcí/, přičemž se značí podle základní frakce dvojcíslím odděleným pomlčkou nebo zlomkovou čarou.

První číslo udává jmenovitou délku oka vrchního síta a druhé číslo délku oka spodního síta.

Zatím co u diamantu malé velikosti zrn vedou k malým hloubkám drsnosti, je vliv zrnění KNE na hloubku drsnosti nepatrný.

Protože velikost zrn nezvyšuje cenu kotouče, ale příznivě se odrazí na životnosti, má být zrnitost zvolena co možná největší.

Nástroje z KNE se svýhodou používají na ostření nástrojů z RO s vysokým obsahem molybdenu, vanadu a kobaltu, přičemž se dosahuje vysoké jakosti povrchu, přesnosti a vysoké produktivity.

3. PŘÍPRAVA POVRCHU NÁSTROJE PŘED VLASTNÍM BROUŠENÍM

Tato kapitola se bude zabývat vznikem a průběhem opotřebení pracovní části kotouče a problematikou orovnávací. Obsahuje také experimentální výzkum vlivu režimu orovnávací na kvalitu obráběné plochy.

Další oblastí zkoušek byl vliv charakteristiky kotouče na proces broušení a dosaženou drsnost povrchu obrobku.

3.1. Opotřebení brousících kotoučů

3.1.1. Základní poznatky o opotřebení

V procesu broušení dochází po určité době ke zhoršení kvality povrchu obrobku, které je způsobeno otupením brusných zrn nástroje. Průběh opotřebení pracovní plochy závisí na všech podmínkách broušení, tzn. na charakteristice kotouče, vlastnostech obráběného materiálu, řezných podmínkách a trvanlivosti kotouče. Vzhledem k typu použité této pojiva a brusiva probíhá při broušení buď otupení, nebo samoostření.

Otupení vzniká vylamováním nevhodně položených zrn brusiva jejich štěpením a zaoblováním, které způsobuje ztrátu rezivosti.

Samoostření je způsobeno postupným otupováním zrn, která jsou následně vzrůstajícím řezným odporem vylamována a to buď celá, nebo jen částečně. Po vyderolení pojiva pak začínají pracovat nová zrna. Tím je pracovní plocha neustále obnovována.

Na počátku činnosti kotouče se vytvářejí na vrcholech zrn opotřeбенé plošky, které se v průběhu broušení postupně zvětšují. Způsobují růst řezných sil, jejichž působením se zrno i pojivo rozrušuje. Pokud jsou zrna pevně spojena s pojivem mohou být otupené plošky velké.

Z hlediska podmínek broušení určíme základní druhy opotřebení /obr.4/. Jsou to otěr řezných částí zrna, který je spojen se vznikem hladkých plošek /obr.4a/, mikroskopické porušování /štěpení/ s oddělením malých úlomků /obr.4b/,

porušování celých zrn, kdy se oddělují celé části zrna /obr.4c/, úplné vylamování zrn z pojiva /obr.4d/, porušení působením chemických vlivů v ploše styku zrna a obráběného materiálu, které vzniká při vysokých teplotách a patří sem difuzní, adhezní opotřebení /obr.4e/, v poslední řadě je to zanášení prostorů mezi zrny, třískami a brusným odpadem /obr.4f/ 1 .V povrchových vrstvách kotouče se obrušuje i pojivo.

Výskyt jednotlivých typů opotřebení závisí na daných podmínkách. Může vznikat i několik druhů současně, přičemž otěr a mikroskopické štěpení je typické pro nástroj pracující bez efektu samoostření. Samoostření probíhá buď jako odlamování částí zrn nebo v rozsahu celé pracovní řezné plochy odlamováním celých otupených zrn. Okamžik odlomení zrna z pracovní plochy je závislý na stupni opotřebení, dynamice procesu broušení a pevnosti pojiva.

3.1.2. Opotřebení z hlediska průběhu broušení

Opotřebení nástroje v průběhu broušení je složitý fyzikálně chemický a mechanický proces, při kterém současně probíhá křehký lom, plastická deformace, ohřev, oxidace zrn, vzájemné působení zrn a obráběného materiálu. Mění se povrchová vrstva obrobku.

Broušení je považováno za hromadné mikrořezání kovu zrny brusiva. Viditelné plošky opotřebení se objevují pouze na zrnech, která jsou relativně málo křehká a značně odolná proti opotřebení. Jsou to zrna přírodního diamantu. Zrna umělého diamantu, která jsou relativně křehká s větší zrnitostí než 160/125 se opotřebovávají vydrolováním malých částic. Pokud dochází v oblasti broušení k vytváření chemických sloučenin materiálu brusiva nebo obrobku, opotřebení zrn se zvětšuje. Chemické reakce jsou ovlivňovány vlastnostmi chemických prvků obsažených v materiálu obrobku, brusivu a pojivu. Prostředí, které obklopuje pracovní prostor může tyto reakce zrychlit nebo zpomalit. Ovlivňuje tedy odolnost zrn proti opotřebení a to různě pro kombinace brusiva a obráběný kov.

Vlastnosti broušeného kovu se mohou vlivem okolního prostředí měnit účinkem řezné kapaliny, ale i účinkem pojiva a plniva. Tohoto jevu se dá výhodně použít při broušení titanu, kdy použitím speciální řezné kapaliny lze dosáhnout lepší obrobiteľnosti[1].

Při broušení se rozlišují tyto druhy opotřebení diamantového brusiva :

- 1/ Mechanické, způsobené plastickým rozrušením a křehkým lomem. Toto opotřebení převládá při obrábění kovů netvořících karbidy a jejich slitin, pokud styková teplota broušení je nižší než 650°C . Křehký lom nastává, pokud v kterémkoliv bodě dosáhne napětí meze pevnosti. Charakter rozložení napětí a hodnoty napětí jsou závislé na parametrech procesu broušení. Z toho vyplývá, že jejich změnou může dojít ke křehkému lomu nástroje. Důležitými vlastnostmi pro efektivní použití brousícího nástroje jsou tedy vysoká křehká a plastická pevnost.
- 2/ Oxidace vzdušným kyslíkem, která probíhá při zvýšení stykové teploty vlivem zvýšené řezné rychlosti nebo vlivem jiných činitelů.
- 3/ Opotřebení grafitizací vzniklé za podmínky velkého řezného odporu do $6 \cdot 10^3$ MPa a vysokých teplot. Objevuje se při broušení slinutých karbidů s teplotou tavení vyšší než 1600°C .
- 4/ Adhezní opotřebení převládá u kovů, které tvoří karbidy a dobře se roztékají po povrchu krystalu. Vlivem adhezního opotřebení vznikají mikroskopické důlky na povrchu zrna, které jsou způsobené vytrháváním nebo odříznutím jeho částí. Týká se broušení molybdenu a titanu.
- 5/ Difuzní opotřebení je charakteristické pro broušení kovů s vysokým součinitelem difuze uhlíku. Projevuje se hladkým povrchem opotřebené části zrna způsobeným rovnoměrným difuzním rozpouštěním na celé styčné ploše. Opotřebení je typické pro broušení ocelí.

6/ Kovy, tvořící karbidy se středními velikostmi součinitelů difuze uhlíku a značnou adhezí vůči diamantu způsobují kombinovaný charakter opotřebení brusiva. Jedná se např. o vanad.

Procesy opotřebení nástroje z kubického nitridu bóru jsou obdobné. Vzniká křehké a plastické rozrušení, opotřebení adhezí, abrazí, oxidací a difuzí. Difuzní opotřebení v tomto případě nevzniká afinitou ke slitinám uhlíku, niklu a kobaltu, neboť KNB se vyznačuje inertností k většině obráběných materiálů. Zatímco u diamantu při teplotě 1 300°C, době trvání 0,5 s se vytvoří oblast ovlivněná difuzí 100 μm u KNB je tato oblast pouze 7 μm při teplotě 1 300°C a době působení 720 s [2].

3.1.3. Opotřebení z hlediska trvanlivosti kotouče

Opotřebení a trvanlivosti brousících kotoučů se věnuje velká pozornost a je předmětem rozsáhlého experimentálního výzkumu. Jako kritérium otupení kotouče se uvádějí vnější příznaky snižování řezivosti kotouče jako jsou vznik chvění, zvýšení příkonu, klepání, opaly, změna lesku atd. Při výzkumu bylo sledováno pomocí mikroskopu opotřebení zrn brusiva a pojiva po orovnání kotouče až do otupení [1].

V průběhu opotřebování řezné plochy byly zpozorovány dvě etapy.

První trvala pouze krátce. Již na počátku broušení dochází k odlamování nevhodně uložených zrn, čímž vzniká intenzivní opotřebení kotouče.

V druhé etapě se opotřebení zpomalí a ustálí a dochází k zaoblování ostrých zrn.

Jako příklad byl použit opotřebení elektrokorundového zrna o zrnitosti 40 za běžných podmínek broušení /obr.5/. Zrno vystupuje z pojiva na vzdálenost $l_0/2$, kde l_0 je vzdálenost zrna v příčném řezu. Stupně 1 ÷ 4 charakterizují průběh opotřebení.

/Obr.5 a/ Mezi zrnem brusiva a obrobkem dochází ke tření a postupnému zaoblování zrna. Tím dochází ke zvětšování řezné síly, odlomí se částice zrna a vzniká několik řezných hran. Zvětší se řezivost a řezná síla klesne. Pokud je zrno v pojivu nedostatečně pevné, dojde k jeho vylomení. Jestliže zrno v pojivu nadále zůstává, probíhá otupování zaoblováním následuje další štěpení spojené s vytvářením velkého počtu břitů. Tento proces pokračuje až do doby, kdy se vyložení zrna zkrátí asi na $1/6$. Elementární řezná síla již nestačí k rozrušování zrna, to se ohladí a ztrácí řezivost. Proces řezání se změní na kluzné tření mezi kotoučem a obrobkem, které je provázeno velkým vývinem tepla, vzniká úplné otupení kotouče [1].

/Obr.5 b/ Byl zjištěn za obtížnějších podmínek broušení odpovídajícím hrubováním. Tlak na zrno je značný, od zrna se odlamují větší částice. Zbytek úplně otupeného zrna přesahuje pojivo v podstatně menší výšce než v předchozím případě [1].

Broušení na čisto odpovídá obr. 5c. Tlak na zrno je mnohem menší, což se projevuje odštěpováním menších částic. Z toho jasně vyplývá skutečnost, že otupování probíhá za lehčích řezných podmínek zatím co při obtížnějších se uplatňuje samoostření [1].

Dále byl zkoumán vliv řezné rychlosti. Se vzrůstající řeznou rychlostí dochází k intenzivnějšímu opotřebování a ohlazení do úplného otupení /obr. 5d/ .

Pro srovnání je na obr. 5 e uveden průběh opotřebení karborundového kotouče se zrnitostí 40 při běžných řezných podmínkách. Jak je vidět zrno se také porušuje odlamováním částic, ale vytváří se větší počet břitů než u elektrokorundu [1].

Tyto popsané způsoby opotřebení byly dále ověřeny experimenty /obr. 6/ Schema 6a ukazuje postupné porušování zrna při broušení. Účinkem elementárních sil F_N a F_T se části zrn neustále štěpí / 1, 2/, vzniká velký počet břitů a zrna se snižují / 6b, 6c/. Objevuje se charakteristická ploška [1].

3.1.4. Vliv řezných podmínek na trvanlivost kotouče

Trvanlivost kotouče závisí na všech podmínkách broušení. Důležitá je skutečnost, že zvětšováním obvodové rychlosti vzrůstá trvanlivost kotouče [1]. To svědčí o velkém vlivu tepla, které vzniká při procesu oddělování třísky. Tohoto jevu se využívá u kotoučů s pevnějším pojivem, kde je patrné zvýšení produktivity [1].

Naproti tomu, se zvyšováním obvodové rychlosti obrobku se trvanlivost nástroje snižuje. Tento jev se vysvětluje tím, že se zvětší tloušťka odebírané vrstvy připadající na jedno zrno brusiva. Snížení trvanlivosti se nejvíce projevuje při broušení kalené oceli v porovnání s ocelí tepelně nezpracovanou. Skutečnost lze vysvětlit vyšší pevností a tvrdostí kalené oceli. [1].

Závislost úběru při broušení kalené oceli má komplikovaný průběh, který je dán malým zatížením zrn brusiva při malém přísluvu $f = 0,005$ mm. Zrna klouzají po broušené ploše a objem odebraného materiálu se zmenšuje. Se zvýšením obvodové rychlosti obrobku v intervalu 30 - 80 m/min roste zatížení zrn a úběr se zvětšuje, ale objem odebraného materiálu za dobu trvanlivosti se zmenšuje.

Při broušení nekalené oceli se objem odebraného materiálu za dobu trvanlivosti prakticky nemění při všech rychlostech obrobku. Pro broušení nekalené oceli je produktivnější používat maximálně možné rychlosti broušeného obrobku s ohledem na kvalitu obrobku.

3.2. Orovnávání diamantových a KNB brousících kotoučů

Efektivní použití diamantových nebo KNB brousících kotoučů je závislé na hospodárném způsobu orovnávaní. Tyto kapitoly byly zpracovány dle literatury č. 3 a tudíž grafické závislosti a výsledky zkoušek jsou převzaty.

3.2.1. Přehled používaných orovnávacích nástrojů

Vlivem výroby, nebo působením řezného procesu se mohou brusné kotouče nalozat v nepoužitelném stavu. Výskytují se vady jako házivost, zaoblení hran nebo otupení řezných zrn. Jak bylo uvedeno dříve, prostory pórů mohou být zaneseny třískami tak, že je ztíženo přijímání třísek nových, nebo je zcela znemožněno.

Příprava brusných kotoučů je považována za samostatný pracovní cyklus, skládající se z profilování a ostření. Tyto způsoby přípravy nástrojů zpravidla vyžadují různé postupy a nářadí. Brusné kotouče se zrna tvrdých materiálů získají žádoucí tvar mechanickým odejmutím jejich objemu. Tímto procesem vznikají současně ostře břity, dostatečný prostor v pórech pro přijímání třísek, ale nemluví se již o profilování a ostření, používá se termín orovnávací. Nástroje k orovnávací dělíme z hlediska kinematických principů na stojící a pohybující se /obr. 7/.

Stojící nástroje jsou charakterizovány tím, že mezi styčným bodem, ve kterém probíhá řezný proces a nástrojem nevzniká relativní pohyb.

Pohybující se orovnávací nástroj provádí vůči bodu působení rotační nebo posuvný relativní pohyb.

Stojící nástroj např. jednozrnný diamant, orovnávací deska, nebo vícezrnný orovnávač. Opracovávají brousící kotouč jako soustružnický nůž. Na pracovní desce nebo orovnávacím zařízení upevněný nástroj se pohybuje konstantní rychlostí V_d po brousícím kotouči, který se otáčí řeznou rychlostí ω a je mezi dvěma orovnávacími zdvihy radiálně přisazován o hodnotu h .

U pohybujících se orovnávacích nástrojů nevyžaduje orovnávací kotouč žádný stranový posuv. Přisazovací pohyb vzniká u orovnávacího kotouče kontinuálně zapichovací rychlostí V_f . Při použití orovnávacího bloku je přisazovací pohyb přerušovaný. Protože nevzniká žádný pohyb v osovém

směru, musí se profil obou těchto nástrojů přenést na kotouč. Pohybující se orovnávací kolečka a desky vyžadují jako stojící nástroje stranový posuv.

Aby bylo v průběhu orovnávacího možno odsoustružení určité části materiálu brousícího kotouče, musí být orovnávací nástroje tvrdší než materiál brusných zrn. Proto se k orovnávacím používají nástroje osazené průmyslovými a polykryсталickými diamanty. Používají se orovnávací nástroje různých konstrukcí.

K ručnímu orovnávací jsou jako stojící nástroje používány bor-karbidové kameny a jako pohyblivé orovnávací ocelová kolečka. Orovnávací ozubenými nebo zvlněnými kolečky je účelné, když k vyrovnání geometrických vad je nutno odebrat více materiálu.

Pro strojní orovnávací jsou již výhradně používány diamantové nástroje. U jednozrnných diamantů je osmistěnný celý surový diamant zaletován do ocelového držáku. Ke zhotovení složitých tvarů brousících kotoučů může být diamant zabroušen. U orovnávacích desek jsou použity buď diamantová drť, nebo omíláním vyrobené diamantové jehly. Jsou do kovového držáku vsazeny tak, že leží vedle sebe v jedné rovině. Již před vylomením obroušených zrněk popř. jehel přicházejí do záběru špičky následující řady. Vícezrnný orovnávač má prostorové uspořádání diamantových zrněk a používá se tam, kde je nutné odebrat více materiálu brousícího kotouče. Diamanty osazený kotouč se vyznačuje vysokou orovnávací rychlostí a malým obrusem, ale protože obsahuje vysoký počet zrněk je velmi drahý. Vyžaduje velmi tuhé uložení a vlastní pohonný systém. Jeho použití je hospodárné pouze pro velkoseriovou výrobu.

3.2.2. Podmínky orovnávací

Proces orovnávací ovlivňuje brusné vlastnosti kotouče a tím i dobažene výsledky. hrubé orovnávací se používá tehdy,

pokud se předpokládají vysoké řezné rychlosti, nebo teplotní ovlivnění okrajových částí obrobku. Tam, kde je podmínkou velký objem komůrek břitů a nejsou kladeny tak vysoké požadavky.

3.2.2.1. Orovnávání stojícími nástroji

Při použití tohoto způsobu ovlivňuje brusné vlastnosti kotouče orovnávací posuv, přísuv, geometrie použitého nástroje. Je známá skutečnost, že při použití jednozrnného diamantu s postupujícím obrusem nástroje, při téměř konstantních podmínkách, stoupají řezné síly, což může být způsobeno příliš malým prostorem pro shromažďování třísek nebo termicky poškozenou okrajovou částí obrobku. Z tohoto důvodu je nevhodné příliš jemně orovnávat, pokud není orovnávací posuv přizpůsoben geometrii nástroje.

Důležitým parametrem pro stanovení správného orovnávacího je činná šíře b_d , tzn. šířka nástroje v hloubce orovnění. Pro zjištění této hodnoty se nejprve orovnávač zapíchne do kotouče /obr.8/. Tím se prořízne stopa, která odpovídá jeho činnému profilu. Dále následuje vytvoření profilu brousícího kotouče do plechu. Stopa se jeví jako vyvýšenina. Změřením stopy se získá činný profil, který je zobrazen na obr.9. Činná šíře se odměřuje v závislosti na hloubce orovnění a_d .

Z těchto hodnot je možné stanovit stupeň překrytí při orovnávacím u_d , který je definován jako poměr mezi činnou šíří b_d a orovnávacím posuvem s_d . Pro konstantní orovnávací podmínky musí zůstat stupeň překrytí nezměněn, tzn. orovnávací posuv je nutné přizpůsobit okamžitě činné šíři. Při malém stupni překrytí dosáhneme hrubého orovnění. Pro hodnotu $u_d=1$, nastává mezní případ, řezné stopy orovnávacího nástroje leží přímo vedle sebe a vzniká výrazný zévít. Naproti tomu vysoký stupeň překrytí dává hladký brusný kotouč.

Vliv stupně překrytí na řezné síly opotřebení, drsnost povrchu je znázorněna na obr.10.

Jemným orovněním získá pracovní část větší počet břitů. Protože každý břit vykonává mimo práce oddělovací také práci třecí, která je závislá na průřezu třísek, bude řezná síla na průřezu třísek větší. Pokud bude celkový průřez třísek konstantní, za stejných řezných podmínek, budou síly s narůstajícím stupněm překrytí stoupat /obr. 10a/. Pro otěr kotouče není rozhodující velikost řezných sil, ale zatížení a stabilita jednotlivých břitů. Proto otěr hrubě orovnávaného kotouče je větší. Menší počet břitů je více zatěžován a vlivem ubývajícího stupně překrytí jsou břity méně stabilní. Tato skutečnost je znázorněna na obr. 10b.

Jemné orovnění tzn. vysoký stupeň překrytí dává vysoký počet břitů, což se příznivě projeví na drsnosti povrchu obrobku. Toto zlepšení se vysvětluje snížením tloušťky třísek /obr. 10c/.

Typický průběh na obr. 10 ukazuje maximální vhodný stupeň překrytí. Při dalším zvyšování této hodnoty stoupají bez zlepšení povrchu obrobku pouze náklady na orovnávaní. Mezní hodnota je závislá na zrnění kotouče /obr. 11/. Srovnáním dvou kotoučů s rozdílnou velikostí zrna bylo zjištěno, že kotouč zrnění 60 bude při dalším zvyšování u_d jen nepatrně jemnější a drsnost povrchu se zlepší také jen nepatrně. Podobný průběh byl zaznamenán pro kotouč zrnění 120 a stupeň překrytí 6. Hrubé orovnění $u_d = 2$ vedlo ke stejné drsnosti povrchu obrobku u obou kotoučů. Z toho vyplývá, že kotoučem zrnění 120 je možné hrubovat, ale před broušením na čisto musí být jemně orovněn.

3.2.2.2. Obrus

Orovnávací nástroje se obrušují v závislosti na objemu orovnávaného kotouče a otěrového objemu. Změna šíře účinnosti byla Wölerem změřena jako funkce otěrového objemu. Tato křivka objasňuje chování vícezrnných orovnávačů, jednozrnného diamantu a orovnávací desky /obr. 12/. Po silném nárůstu otěru nového ostrého jednozrnného diamantu zvětšuje se jeho činná šíře s narůstající dobou používání.

Vícebřité nástroje, orovnávací deska a vícezrnný orovnávač charakterizuje kolísající průběh činné šíře. Tento jev je způsoben vylamováním jednotlivých zrněk nebo jehlic, pokud nosič neodolá orovnávacím silám působícím na břity. Vzniká skoková změna činné šíře, která vyvolá změnu stupně překrytí a dojde k jinému orovnání kotouče. Proto se stanovuje geometrie orovnávače podle orovnávacího objemu. Doporučený objem je přibližně 300 cm^3 a odpovídá 100 orovnávacím zdvihům s $h = 30 \text{ } \mu\text{m}$ na 50 mm širokém kotouči o $\varnothing 600 \text{ mm}$.

Obrus byl zkoušen též u orovnávacích nástrojů s řeznými destičkami z polykrystalických diamantů /PKD/. Pro tento typ nástroje platí stejné závislosti řezných sil a drsnosti povrchu na stupni překrytí /obr. 13/ jako u ostatních diamantových orovnávačů. Činná šíře se stanovuje v závislosti na orovnávaném objemu brusného kotouče.

Změnu činného profilu PKD ukazuje skutečnost, že s narůstajícím otěrem vzniká na břitu více stupňů /obr. 14/. Počet stupňů je shodný se stupněm překrývání jejich šíře je shodná s orovnávacím posuvem. U prvního použitého PKD orovnávali zpočátku jen části břitu bezprostředně sousedící s boky kužele břitu. Otěrem se hrana osadí a vznikne stupeň. Při dalších orovnávacích zdvizích se otírají osazené části pomaleji, protože při nastavenem orovnávacím přísuvu do brousícího kotouče nezabírají. Zbytek je orovnán sousedními úseky břitu. Tyto otěry rovněž postupně vytváří nové stupně. Tento proces pokračuje až do získání maximálního počtu stupňů. Ten je shodný se stupněm překrývání. Po dosažení

tohoto stavu se otírají všechny stupně rovnoměrně tzn., že činný profil se mění již velice málo.

3.2.3. Orovnávání diamantovým válečkem

Tento způsob se řadí mezi nejpoužívanější způsoby orovnávání pohyblivým nástrojem. Hlavní parametr tohoto způsobu je poměr rychlosti q_d /poměr mezi obvodovou rychlostí válečku a brusného kotouče/ a orovnávací přísuv na otáčku brusného kotouče /obr. 19/. Ukazatelem je v tomto případě výsledná drsnost R_{tso} , která popisuje prostor břitů a získává se z charakteristických průběhů závislostí na hlavních parametrech.

Diamantová zrna válečku se pohybují relativně k brousícímu kotouči po křivkách. Jejich tvar je závislý na poměru rychlosti q_d . Zaboří-li se diamantová zrna strměji do brousícího kotouče, zvýší se hloubka činné drsnosti. Při souhlasném směru pohybu vznikají dráhy silně zakřivené, při nesouhlasném směru vznikají dráhy dlouhé. Z toho vyplývá, že výchozí drsnosti jsou při souhlasném pohybu větší než při pohybu protisměrném. Pro hodnotu $q_d=1$ dosahuje výchozí hloubka drsnosti maxima. Mezi diamantovým válečkem a brousícím kotoučem dochází k odvalu, což je nazýváno jako "crushing". V důsledku namáhání vysokým tlakem je struktura brousícího kotouče narušována. Naproti tomu při stojícím válečku $q_d = 0$ vytvářejí diamantová zrna stopy, které se v axiálním směru překrývají velmi málo. To způsobuje nárůst výstupní hloubky drsnosti. Pokud je požadována drsná struktura povrchu nástroje, orovnává se pro souhlasný pohyb $q_d=q_b$.

Zvýšení přísuvu při orovnávání způsobuje přibližně lineární nárůst výstupní hloubky drsnosti, protože je větší okamžitý úběr objemu materiálu.

Změna zrnění diamantu a koncentrace v orovnávacím válečku nemění průběh hloubky drsnosti v závislosti na rychlostním poměru. Stoupání závislosti probíhá až se zvyšujícím se

zrnění diamantu a ubývající koncentrací.

Z uvedených skutečností je zřejmé, že je možné stojícími i pohybujícími se nástroji vytvořit orovnávací strukturu s obdobnými vlastnostmi. Orovnaním vytvořený prostor břitů se v průběhu broušení mění a proto je možné dosáhnout pro různou specifikaci kotouče při stanovených podmínkách orovnaní různé výsledky.

3.2.4. Chvění při orovnávání

Při orovnávání vznikají chvěním relativní pohyby mezi orovnávacím nástrojem a brousícím kotoučem, které mohou ovlivňovat orovnávací strukturu a tvar kotouče. Tímto vlivem může být činná hloubka drsnosti kotouče nechtěně velká. Na kotouči mohou vznikat obvodové vlny, které se mohou kopírovat na obrobek, nebo vybudí systém kotouč - obrobek ke kmitání.

Budoucí mechanismy kmitání jsou buď cizí zdroje nebo vlastní zdroje.

Cizí zdroje jsou charakterizovány tím, že jejich frekvence je shodná s frekvencí systému v rozkmitaném stavu.

Při samovolném rozkmitání nepůsobí žádné rušivé síly a systém kmitá jednou nebo více vlastními frekvencemi.

U orovnávacích nástrojů se stranovým posuvem může vznikat mimo obvodové i axiální vlnitost /obr. 16/. Orovnávací nástroj se pohybuje rychlostí posuvu v_d a přísuv h je nastavován paralelně k ose brusného kotouče. Posuvný pohyb interferuje s kmitavým pohybem o frekvenci f_{stor} . Tím se periodicky mění objem odebíraný orovnáváním o stejné frekvenci, což se projeví u normální orovnávací síly amplitudovým vyvýšením s frekvencí cizího buzení. Vzniká relativní interference mezi kotoučem a obrobkem ve směru normály. Na brousícím kotouči se vytvářejí axiální vlny, přičemž poměr rychlosti orovnávacího posuvu a délky vlny odpovídá rušivé frekvenci. Axiální vlnitost se vztahuje pouze na

cizí buzení a nedá se pokládat za orovnávací spirálu / stupeň překrytí ≥ 1 /.

Pouze obvodová vlnitost se tvoří, pokud poměr mezi rušivou frekvencí a rotační frekvencí je roven celému číslu. Při zlomkových poměrech nastává interference mezi obvodovou a axiální vlnitostí. Axiální vlny zhoršují jakost povrchu obrobku / obr. 17 /.

Povrch obrobku má po orovnání vlnitost s délkou vlny. Po broušení se dostaví ošěr / obr. 17a /. Brousící kotouč je drsnější, délka vln zůstává zachována, amplituda se nepatrně sníží. Tímto stavem kotouče zhotovené povrchy obrobku jsou uvedeny na obr. 17 b . Je zřetelně zhoršení kvality po vyjiskření po dobu 10 s. Frekvenční analýza povrchu vykazuje amplitudové převýšení s rušivou frekvencí.

Teorie o vlivu zmenšení přísluvu při orovnávání si odporují. U ideálně tuheho systému musí přísluv při konstantním orovnávacím posuvu vést k drsnější topografii kotouče, protože se zmenšuje stupeň překrytí. To však snižuje současně objem odebíraného materiálu, orovnávací síly klesají, snižují se kmitavé amplitudy systému. Tento stav je shodný se zjemňováním řezného prostoru.

Menší orovnávací přísluv bude při jinak konstantních podmínkách vždy snižovat činnou hloubku drsnosti, pokud vliv snižujících se amplitud kmitů je větší než vliv poměrného stupně překrytí.

Při orovnávání diamantovým valečkem se tvoří na brousícím kotouči obvodové zvlnění. Vybuzení systému zde vzniká většinou rotující nevyváženou hmotou, jejíž frekvence a harmonické kmity vytvářejí brusné spektrum. Stejný význam mají chyby kruhovitosti nebo rotace válečku. Při orovnávání vzniklé vlny se kopírují na obrobek, pokud poměr mezi rotační frekvencí kotouče a rotační frekvencí obrobku je celé číslo. To může znamenat, že např. házivost obrobku není často způsobena nevyvážeností kotouče, ale příčinou je vzniklá chyba tvaru kotouče při orovnání.

3.2.5. Metody orovnění KNB a diamantových brousících kotoučů

3.2.5.1. Základní přehled způsobů orovnění

Jak bylo již uvedeno, před použitím brousících kotoučů je nutné profilovat a ostřit. Způsoby mohou být různé. Omezující podmínkou je tvar profilu a vazebná tvrdost. Profilování a ostření může probíhat současně, ale také po sobě. K profilování se používají stojící a rotující diamantové nástroje. Jsou to jednozrné diamanty, diamantové pásy, rovnací tvarové kotouče a rovnací profilové kotouče, které se vyznačují příznivým poměrem opotřebení. Často však vytvářejí hladké a málo brusitelné povrchy kotoučů. Pro vytvoření požadovaného přesahu zrn se kotouče ostří. Základní metody ostření uvádí obr. 18, kde jsou rozděleny na postupy pracující se spojenými nebo nespojenými zrn.

3.2.5.2. Ostření tryskáním

Teto metody se používá hlavně u kotoučů s tvrdými kovovými vazbami, které bylo možno ostřit pouze s velkými náklady.

Zařízení pro ostření se skládá z vysokotlakého čerpadla, přiváděcího a dávkovacího zařízení pro ostřicí prostředek a trysky /obr. 19/. Jako nosné médium se používá jemně filtrovaný chladicí mazací prostředek - brusný olej nebo stlačená voda na 15 MPa. Pomocí injektorového principu trysky se stranově nasává vzduch a ostřicí zrna, která jsou tryskána na rotující brousící kotouč rychlostí až 75 m/s. Při nárazu ostřících zrn se otryskává pojivo a může dojít i k obnovení tupých brusných zrn tříštěním.

Hlavní parametry jsou rychlost a úhel působení ostřících zrn, hmota a množství zrn za časovou jednotku.

Tato metoda se snadno automatizuje a dá se regulovat

dle požadovaného použití.

Diagram na obr. 20 ukazuje vliv tryskání na kotouč KNB. Brusný kotouč byl nejprve profilován diamantovým válečkem se stranovým posuvem a dodatečně ostřen. Přesah zrn se zvýšil při nezměněné výškové poloze špiček zrn $\geq 23 \mu\text{m}$ na $49 \mu\text{m}$. Doba tryskání se určuje dle tvrdosti pojiva, intenzity ostřicího proudu a požadovaného přesahu zrn.

3.3. Experimentální část

3.3.1. Použité zařízení

Pro zkoušky prováděné ve vývojových dílnách VŠST bylo použito tohoto zařízení:

a/ stroj - roviná bruska BPH - 20

Použití tohoto stroje se ukázalo jako nevhodné, pro malou odolnost axiálního ložiska proti opotřebení. Tato skutečnost vyžadovala časté seřizování včetně a v poslední řadě jeho výměnu. Na stroji bylo též problematické zajistit dostatečný proud chladicí kapaliny, který je nutný pro broušení KNB kotouči. Během provozu se vyskytly další dlouhodobé závady, které se odrazily v nemožnosti provedení všech plánovaných zkoušek.

b/ registrační zařízení

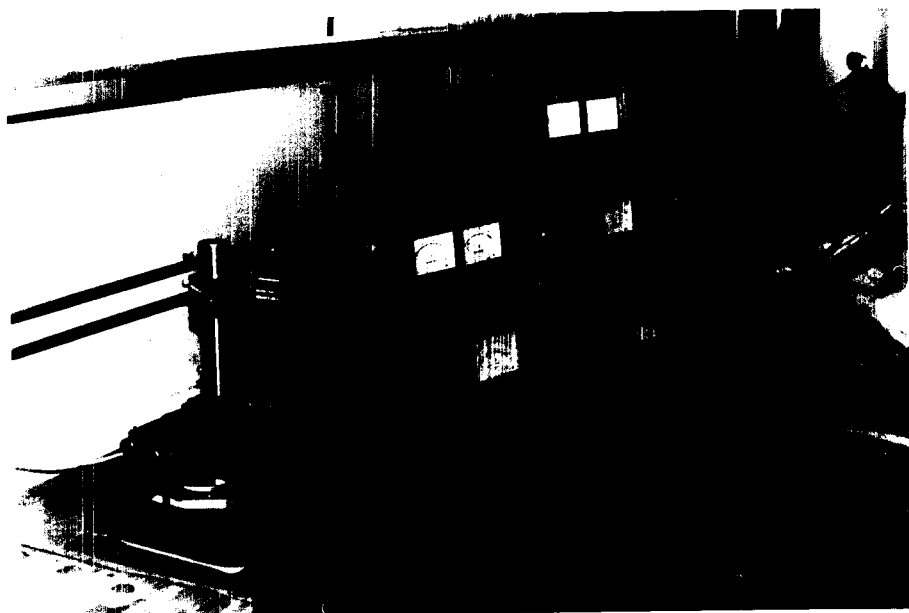
Byla použita aparatura M 1000 vyrobená podnikem Mikrotechna Praha a zařízení ULTRA VIOLET RECORDER 205 pro získání záznamů řezných sil.

c/ dynamometr

Ke snímání sil byl použit dynamometr s odporovými tenzometrickými snímači, který byl zkonstruován na VŠST v Liberci. Nevýhodou tohoto dynamometru byla poměrně malá tuhost.

d/ profiloměr

Drsnost povrchu byla naměřena profilomerem HOMMEL TESTER T3, který je vidět na fotografii.



e/ materiál

Pro výzkum orovnávacích režimů a testování brusných kotoučů byl použit tento materiál :

ocel 14 209

Pro měření různých materiálů byly použity oceli odpovídající práškové oceli 19 830.

E 83 - ocel odlévaná

M 2 - ocel krebsůge odlévaná

2 D - ocel překovaná anglické výroby

M O 5 - německá ocel prášková slinovaná

f/ brousící kotouče

- vyrobené v SSSR

E10 250 x 20 x 76 x 5 K 250/200 100 01

zrnitost : 250/200

pojivo : keramické

EL2 250 x 25 x 5 200/100 K7

zrnitost : 200/100

struktura: pórovitá

pojivo : keramické

- kotouče vyrobené v Rakousku

6B 270 N5 VD47 /TYROLIT/

zrnitost : 270

tvrdost : střední

struktura : polohutná

pojivo : keramické

max. obvodová rychlost : $v_g = 45$ m/s

- kotouče vyrobené v ČSSR

BN 8L 100/3V 302 C 60

zrnitost : velmi jemná

tvrdost : střední

koncentrace : 100

struktura : hutná

pojivo : keramické

max. obvodová rychlost : $v_s = 60$ m/s

BN 8L 100/5V 302 C 60

zrnitost : velmi jemná

tvrdost : střední

koncentrace : 100

struktura : polohutná

pojivo : keramické

max. obvodová rychlost : $v_s = 60$ m/s

BN 5N 100V 302 C 60

zrnitost : velmi jemná

koncentrace : 100

pojivo : keramické

max. obvodová rychlost : $v_s = 60$ m/s

3.3.2. Kritéria vyhodnocování naměřených výsledků

Pro experimentální výzkum vlivu orovnávacího režimu na řezný proces při broušení bylo použito závislosti sil F_n' , F_t' na odebraném objemu V' . Jako brusný kotouč byl vybrán BN 8L 100/3V, jehož charakteristika byla již uvedena.

Zákonitost změny řezné síly je obecně znázorněna na obr. 21. Jak je z obrázku patrné, vznikají v prvních záběrech velké řezné síly způsobené především opotřebením zrn brusiva, zvýšením tření pojiva kotouče o obroušenou plochu, vylamováním nevhodně orientovaných a špatně upevněných. V této oblasti probíhá neustálený režim úběru materiálu, kdy skutečná hloubka řezu roste úměrně s nárůstem předpětí v technologické soustavě. Postupně se zvětší řezivost zrna a řezná síla klesne. Nastává ustálený režim, kdy je přísuv prakticky konstantní a velikost řezné síly se stabilizuje. Výkyvy řezných sil mohou být způsobeny nesprávným upnutím obrobku, nebo nerovnoměrným rozložením teplot a vnitřních pnutí. Po otupení zrn brusiva a zanešení pracovní plochy kotouče se řezné síly prudce zvětšují. Tento stav je charakterizován třetím úsekem.

Dalším kritériem posuzování vhodnosti orovnávacího režimu je závislost drsnosti povrchu na odebíraném objemu materiálu.

3.3.3. Orovnávací režimy při orovnávání polykrystalickým diamantem

Cílem těchto zkoušek bylo porovnat vliv daných orovnávacích režimů na řezný proces a výběr nejvhodnějšího režimu pro další experimenty.

opět vynášeno v závislosti na odebíraném objemu V' . Zatím co u režimu a/ můžeme konstatovat téměř lineární průběh se vzrůstající tendencí, režim b/ vykazuje zpočátku mírný pokles z vyšších hodnot po křivce, ale dále je průběh možno považovat za lineární. Celkem výrazně je zde vidět nižší hodnoty u režimu a/.

Orovnávací režimy druhé skupiny se vyznačují větší hloubkou orovnění, tudíž se dá předpokládat jemnější orovnění kotouče než u skupiny první. Tento předpoklad se potvrdil většími silami u režimu c/ , zatím co u režimu d/ se pohybují v obdobném rozmezí jako u režimů první skupiny. Výrazně však dochází k zlepšení drsnosti povrchu, která má téměř lineární charakter již od prvních záběrů kotouče a pohybuje se v rozmezí hodnot $R_a = 0,16 \div 0,24$ u režimu c/ a $R_a = 0,25 \div 0,32$ u režimu d/. Těmito hodnotám odpovídají i silové průběhy, kdy vyšší hodnoty řezných sil jsou charakteristické pro režim c/. Průběh u je u obou případů klesající po křivce.

Pro výběr nejvhodnějšího orovnávacího režimu je směrodatná kvalita obrobené plochy. Z hlediska nejnižší hodnoty R_a by se jevil jako nejvýhodnější režim s orovnávací hloubkou 0,08mm, ovšem u tohoto způsobu se po prvním měření zjistily husté hluboké praskliny a opálený povrch. Tento stav trval do odebrání objemu $V' = 50 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$. Při dalším broušení se postupně praskliny ztrácejí, ale nepatrný podíl prasklin se objevuje až do posledního měření tzn. do odebraného objemu $V' = 400 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$.

U režimu d/ se již neobjevují praskliny tak hluboké, ale zpočátku husté. Praskliny se ovšem ztrácejí dříve a to po odbroušení $V' = 100 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$.

Broušený povrch se dále vyznačoval u všech režimů vlnkovitostí, která byla intenzivnější na počátku broušení. Tato vlnkovitost mohla být způsobena malou tuhostí upnutí obrobku v dynamometru. Určitým vlivem na vlnkovitost se vyznačuje poměr mezi silami F_t' sousledného a ne-

sousledného broušení. Pro režim $3 \times 0,03\text{mm}$ je uvedený poměr v rozmezí hodnot $1,26 / V' = 25 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}} / - 1/V' = 200 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$, u režimu $5 \times 0,01\text{mm}$ od $1,33 / V' = 25 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}} / - 1/V' = 200 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$, ovšem pro objem $V = 50\text{mm}^3$ vyskočila hodnota až na 1,45. U režimu $4 \times 0,02\text{mm}$ se poměr pohyboval v rozmezí $1,5 / V' = 25 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}} / - 1/V' = 100 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$ zatím co rozdíl mezi silami F'_t sousledného a nesousledného broušení u režimu $4 \times 0,01\text{mm} + 1 \times 0\text{mm}$ byl minimální.

Veškeré uvedené závislosti byly získány broušením materiálu 14 209 při $v_s = 32\text{m/s}$, $v_f = 12\text{m/min}$ a $h = 0,01\text{mm}$ na jeden zdvih. Během broušení se chladilo 4 % Robolenu.

Pro další zkoušky byl vybrán jako nejvýhodnější režim $4 \times 0,01\text{mm} + 1 \times 0\text{mm}$. Tento režim se sice nevyznačuje nejlepší drsností povrchu obrobku, ale během broušení se nevyskytuje žádný opal ani praskliny. Hlavním důvodem byl nejvýhodnější průběh řezných sil. Toto kritérium bylo zvoleno za hlavní vzhledem k vysoké poruchovosti a nepřesnosti provozu stroje.

Grafické závislosti obr. 30 ÷ 33 se týkají vlivu obvodové rychlosti kotouče na průběh sil a drsností povrchu obrobku. Použitý stroj umožnil změnu obvodové rychlosti kotouče z $v_s = 32\text{m/s}$ na $v_s = 45\text{m/s}$. Jak je zřejmé z grafických závislostí při broušení vyšší obvodovou rychlostí nastal pokles síly F'_n až na polovinu, přičemž průběh síly F'_n je lineární s malým poklesem proti výraznému klesání síly při broušení nižší rychlosti. Zatím co změna rychlosti vyvolala prudký pokles síly F'_n , síla F'_t je prakticky nezměněná. Průběhy sil F'_t pro oba režimy jsou téměř totožné. Změna síly F'_n vyvolala samozřejmě značnou změnu rozmezí hodnoty μ . Tento průběh je zachycen na obr. 32. Drsnost povrchu je znatelně lepší u broušení s vyšší obvodovou rychlostí kotouče, neboť průběh je téměř konstantní oproti stoupající tendenci drsnosti povrchu naměřené pro nižší rychlost.

Dále bylo provedeno orovnění kotouče BN 8L 100/5V za stejných podmínek tzn. $v_{sd} = 32 \text{ m/s}$, příčný posuv ruční, chlazení 4 % Robolem režimem $4 \times 0,01 \text{ mm} + 1 \times 0 \text{ mm}$. Pro názornější srovnání jsou v grafických závislostech vyneseny křivky příslušející kotouči BN 8L 100/3V, získané za stejných podmínek $v_s = 32 \text{ m/s}$, $v_f = 12 \text{ m/min}$, $h = 0,01 \text{ mm}$, broušený materiál 14 209/. Na obr. 34 je znázorněna závislost $F'_n = f / V'$. Oproti kotouči BN 8L 100/3V se zde projevil značný pokles síly F'_n , která má téměř konstantní charakter. V průběhu síly F'_t byl zaznamenán také pokles, ale ne tak výrazný. Průběh hodnoty u se pohybuje v oblasti nižších hodnot, jinak je obdobný jako u kotouče BN 100/3V.

3.3.4. Režimy ostření za použití drátěného kotoučku

Jako druhý způsob orovnávací bylo zkoušeno orovnávací pomocí polykrystalického diamantu a drátěného kolečka, jehož schema bylo uvedeno na obr. 18. Postup zkoušky byl volen následující. Nejprve byl kotouč BN 8L 100/3V pomocí stojícího orovnávacího nástroje tzn. polykrystalického diamantu orovnávací. Pro orovnávací byl zvolen režim $4 \times 0,01 \text{ mm} + 1 \times 0 \text{ mm}$ za stejných podmínek jako v předchozích případech. Tímto režimem bylo docíleno odstranění možných nerovností na povrchu brousícího kotouče a jeho naostření. Pomocí protisměrného otáčení drátěného kotoučku došlo k otevření pojiva a kotouč nepravidelným osekáváním dosáhl hrubého orovnávací. Pro zkoušku byly voleny tyto podmínky. Obvodová rychlost kotouče zůstává tzn. $v_{sd} = 32 \text{ m/s}$, počet otáček kotoučku $n_{rsd} = 1900/\text{min}$. Kotouček byl nastaven na hloubku 1 mm , aby vzniklo předpětí mezi drátěným kotoučkem a orovnávacím kotoučem. Základní doba osekávání brousícího kotouče byla volena 10 s . Doba osekávání se měla nadále zvyšovat na 15 s , 20 s atd., dokud by nebylo dosaženo optimálního naostření kotouče.

Po osekávání prováděné 10s byl broušen materiál 14 209 za stejné obvodové rychlosti kotouče $v_s = 32\text{m/s}$ a rychlosti stolu $v_f = 12\text{m/min}$. Při broušení se opět chladilo 4 % Robolem a přísuv byl $h = 0,01\text{mm}$ na 1 zdvih.

První měření byla provedena po odebrání objemu $V' = 25 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$. Síla F'_n byla zjištěna 5,03 N síla $F'_t = 1,23\text{ N}$. Dosažená drsnost povrchu byla $R_a = 0,7$. Jak je zřejmé bylo dosaženo nízkých řezných sil v porovnání s orovnávacími režimy uvedenými v kap. 3.3.3. , což potvrzuje hrubé orovnání kotouče a tomu odpovídá i vysoká hodnota drsnosti povrchu $R_a = 0,7$. Ovšem následný proces broušení byl velmi hlučný, což bylo patrně způsobeno nepřesným geometrickým tvarem kotouče po orovnání. Tento jev mohl vzniknout nedostatečnou tuhostí kotoučku. Z tohoto důvodu nebylo již v experimentech pokračováno.

3.3.5. Orovnání pomocí kladky

Tento způsob orovnávání patří mezi způsoby bez použití diamantu a používá se pro případy hrubovacího broušení, kdy se odebírají velké přídavky na obrábění.

Nejčastěji se používají kladky orovnávací obrušování a odvalování / obr. 37 /. Při obrušování dostává nástroj nucený rotační pohyb bez ohledu na otáčení brousícího kotouče. Při vnějším broušení se osa orovnávacího kotouče obvykle natáčí o úhel $5 \div 6^\circ$ vzhledem ke svislé rovině.

Orovnávání kotoučů s brusivem z diamantu nebo KNB se provádí pouze při zanesení, nebo při nerovnoměrném opotřebení pracovní plochy kotouče a při obnovování tvaru .

Orovnávacím nástrojem je brousící kotouč ze zeleného nebo černého karbidu křemíku s keramickým pojivem a hrubými zrny. Při obrušování se volí zrnitost brousícího kotouče o 1 ÷ 2 stupně vyšší , než je zrnitost orovnáva-

ného kotouče. Tvrdost se též volí o dva stupně vyšší.

Při odvalovacím způsobu se volí zrnitost a tvrdost orovnávacího kotouče o 2 ÷ 4 stupně vyšší než je zrnitost a tvrdost orovnávacího kotouče.

Při orovnávání obrušováním se v podstatě seřezávají a otupují vrcholy zrn brusiva a na vrcholcích vznikají plošky s malým počtem řezných hran. Při orovnávání odvalovacím způsobem se zrna hlavně usmykávají a drtí, vzniká tak volný počet břitů. Rozdíl mezi převýšením jednotlivých zrn brusiva se zvětšuje.

Další možný způsob ostření je pomocí ocelového kotouče a volného brusiva. Tento způsob byl schematicky znázorněn na obr. 18. Ocelový kotouček se otáčí proti směru otáčení orovnávaného kotouče a je od něj vzdálen o hodnotu menší než je velikost zrn použitého brusiva. Mezi orovnávačem a brusným kotoučem je sypáno brusivo SIC, korundu, které způsobuje naostření kotouče.

Po praktické vyzkoušení uvedených typů orovnání byla zkonstruována orovnávací kladka, jejíž výrobní výkresy jsou přiloženy. Tato kladka měla být původně použita pro odvalovací způsob orovnání, ale po konstrukční úpravě mohla být použita i pro způsob obrušovací nebo způsob s použitím volných zrn brusiva. Vzhledem k déle trvajícím poruchám použitého stroje nebylo možné tyto zkoušky prakticky provést.

3. 3. 6. Výzkum použití brousících kotoučů z KNB

Pro tyto zkoušky bylo použito již všech brousících kotoučů uvedených v přehledu. Pro hodnocení byly vynášeny opět závislosti $F_n^1 = f / V^1$, $F_t^1 = f / V^1$, $R_a = f / V^1$, $\mu = f / V^1$. Orovnáno bylo režimem 4 x 0,01 mm + 1 x 0 mm. Podmínky broušení byly stejné jako u předchozích experimentů. Přísuvy byly voleny pro všechny kotouče $h = 0,005\text{mm}$, $h = 0,01\text{ mm}$.

Z grafických závislostí znázorněných na obr. 38 ÷ 41 je vidět, že z hlediska řezných sil se jeví jako nejvýhodnější přísluv $h = 0,005 \text{ mm}$ u kotouče BN 8L 100/5V. Broušení materiálu 14 209 tímto režimem vykazuje jednak nejmenší řezné síly, ale také nejustálenější průběh, který je možné vzhledem ke křivkám příslušajícím přísluvům $h = 0,01 \text{ mm}$ a $h = 0,02 \text{ mm}$ považovat za téměř konstantní. Konstantního průběhu bylo dosaženo i v závislosti hodnoty drsnosti povrchu. Zvýšením přísluvu na $0,01 \text{ mm}$ došlo k výraznému zvýšení řezných sil, průběhy jednotlivých závislostí již obsahují výraznou část prvních záběrů a ustáleného broušení. Z hlediska drsnosti povrchu bylo dosaženo zpočátku lepší drsnosti povrchu, ale byly provázeny opalem a hustými prasklinami pro odebraný objem $V' = 25 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$. Při měření po obroušení objemu $V' = 50 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$ síla mizí opal, ale praskliny nadále zůstávají. Teprve po odebrání $V' = 100 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$ dostáváme povrch obrobku bez prasklin. Tento bod je již možno považovat za počátek efektivního broušení.

Třetí křivka se týká přísluvu $h = 0,02 \text{ mm}$. Tento režim se jevil jako nevhodný, byl charakterizován zpočátku vyššími silami, které klesají až na hodnotu nižší než u přísluvu $h = 0,01 \text{ mm}$. Síla F_t' se však po odebrání objemu $V' = 100 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$ silně rozkmitává, což se patrně projevilo v průběhu drsnosti povrchu, který je výrazný rychlým vzrůstem hodnot R_a po obroušení tohoto objemu.

Chování kotouče BN 8L 100/3V je vidět ze závislostí na obr. 42 ÷ 45. Zde je na první pohled patrný nárůst řezných sil se zvyšujícím se přísluvem. Jako nejvhodnější a nejustálenější režim je možno opět považovat přísluv $h = 0,005 \text{ mm}$. Křivky přísluvu $h = 0,01 \text{ mm}$ jsou opět charakterizovány výrazným oddělením oblasti naostřování kotouče a oblasti efektivního broušení. Pro srovnání je v uvedených grafických závislostech zachycen průběh pro přísluv $h = 0,01 \text{ mm}$, ale pro srovnání v režimu $3 \times 0,03 \text{ mm}$. Síla F_n' pro tento

režim sice vykazuje určitý pokles, ale průběh je možno považovat za obdobný. Výraznější rozdíl se projevil u síly F_t , kde je prokazatelný vzrůst této síly a také průběh je mnohem výraznější. Drsnost povrchu je zcela prokazatelně nejlepší pro přísuv $h = 0,005 \text{ mm}$. U hodnot odpovídajícím $h = 0,01 \text{ mm}$ je vidět vzrůst hodnoty R_a po orovnání $4 \times 0,01 \text{ mm} + 1 \times 0 \text{ mm}$ oproti orovnání $3 \times 0,03 \text{ mm}$. Naměřené závislosti pro $h = 0,02 \text{ mm}$ ukázaly nevhodnost tohoto přísuvu pro broušení. Průběhy řezných sil zcela postrádají ustálenou část, také počáteční hodnoty jsou jasně vyšší. Pro silné opotřebení kotouče nebylo možné provést měření po obroušení objemu $V' = 1 \frac{000 \text{ mm}^3}{\text{mm}}$. Tato skutečnost se projevila i v průběhu drsnosti, kde je opět patrný přesun do oblasti vyšších hodnot.

Z hlediska vzrůstu řezných sil a zhoršení kvality povrchu obrobku bylo provedeno měření s přísuvem $h = 0,02 \text{ mm}$, tak, že obrobek byl upnut v tuhém svěráku. Výsledky jsou znázorněny na obr. 46. Tužší upnutí obrobku výrazně přispělo ke zlepšení kvality broušené plochy a prodloužilo oblast do výrazné změny drsnosti.

Zkoušky kotouče BN 5N 100V se týkají obr. 47 ÷ 50. V těchto křivkách je i zaznamenán průběh zkoušky broušení kotouče firmy TYROLIT 6B 270 N5 VD47. Řezný proces probíhal nejvýhodněji pro přísuv $h = 0,005 \text{ mm}$, kde se objevily jednak nejnižší řezné síly, ale také nejlepší drsnost povrchu. I když se vzrůstajícím přísuvem vzrostly řezné síly, je možné konstatovat, že i pro přísuv $h = 0,01 \text{ mm}$ bylo dosaženo ustáleného režimu a to z hlediska sil F'_n a F'_t , ale i dosažené kvality povrchu.

Praskliny se objevují pouze v prvních záběrech kotouče, ale již po odebrání objemu $V' = 50 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$ zcela mizí. Zajímavé srovnání poskytují závislosti získané broušením kotouče TYROLIT s přísuvem $h = 0,005 \text{ mm}$ a kotouče BN 5N 100V. Je vidět zvýšení síly F'_n příslušející kotouči TYROLIT přibližně 3x a síly F'_t asi 2x. Drsnost povrchu byla však kon-

stantní a to již od prvních záběrů kotouče. První tři měření kvality povrchu ukázaly výskyt opalu až do obroušení $V' = 100 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$. Praskliny u materiálu broušeného kotoučem BN 5N 100V se objevovaly u obou přísuvů pouze do objemu $V' = 50 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$. Pro orovnnání a broušení kotouče TYROLIT bylo typické zanášení pórů tzn. zalepování kotouče. Pro broušení s přísuvem $h = 0,02 \text{ mm}$ se kotouč ukázal jako zcela nevhodný pro silné zalepení kotouče bylo možné změřit pouze hodnoty odpovídající objemu $V' = 25 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$. Síly $F'_t = 8,87 \text{ N}$, $F'_n = 31,48 \text{ N}$, drsnost povrchu $R_a = 0,42$. Dále došlo k úplnému zalepení kotouče a kotouč pracoval jako tupý. V dalších zkouškách se již nepokračovalo.

Také u kotouče BN 5N 100V se nezjišťovala charakteristika pro přísuv $h = 0,02 \text{ mm}$. Kotouč pracoval hlučně a tudíž nebylo možné provést měření.

Dále bylo předmětem zkoušek zjištění závislostí $F'_n = f/V'$, $F'_t = f/V'$, $R_a = f/V'$, $\mu = f/V'$ pro kotouče vyrobené v SSSR bez použití chladicí kapaliny.

Nejprve bylo broušeno kotoučem E10 250 x 20 x 76 x 5. U tohoto kotouče pro jeho silné zalepení a tudíž i opotřebení nebylo možné provést měření ani pro jeden z používaných přísuvů.

Jako druhý kotouč vyrobený v SSSR byl použit E12 250 x 16 x 5 200/160 K7. U tohoto nástroje byly zjišťovány závislosti pro přísuvy $h = 0,005 \text{ mm}$ a $h = 0,01 \text{ mm}$. Přísuv $h = 0,02 \text{ mm}$ nemohl být změřen pro silné zalepování kotouče. Jak je zřejmé z obr. 51 ÷ 54, průběhy řezných sil jsou obdobné. V obou případech je patrný pokles řezných sil asi do odebraného objemu $V' = 200 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$, dále následuje konstantní oblast odpovídající ustálenému broušení. V této oblasti pro oba přísuvy dosahují řezné síly přibližně stejných hodnot, ovšem pokles odpovídající přísuvu $h = 0,01 \text{ mm}$ je z podstatně vyšších hodnot.

Průběh drsnosti povrchu byl zaznamenán nesporně výhodnější u přísuvu $h = 0,005 \text{ mm}$, ovšem průběh ukázal na

stoupající tendenci hodnoty R_a tzn., že křivka neobsahuje konstantní čas. Měření s tímto přísuvem bylo provedeno pouze do hodnoty $V' = 1000 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$, dále se již kotouč začíná zalepovat tzn. objevuje se výrazné opotřebení kotouče. Teplota obrobku stoupá úměrně s odbroušeným objemem V' .

Broušení s přísuvem $h = 0,01\text{mm}$ bylo charakterizováno sice odbroušenou vrstvou $V' = 2000 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$, ale drsnost byla dána vysokými hodnotami $R_{a\text{ max}} = 2,9$. Povrch obrobku byl u obou případů provázen výskytem prasklin, pro měření s $h = 0,01\text{mm}$ se vyskytly opaly až do $V' = 250 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$.

4. Broušení různých materiálů

V této kapitole budou uvedeny výsledky broušení oceli 19 830 a molybdenu.

4.1. Broušení ocelí

Pro tyto zkoušky byl kotouč BN 8L 100/ 3V orovnáán režimem $4 \times 0,01 \text{ mm} + 1 \times 0 \text{ mm}$ a předběžným odbroušením objemu $V = 300 \frac{\text{mm}^3}{\text{mm}}$ naostřen, tzn. nacházel se v oblasti efektivního broušení. Mezi jednotlivým broušením daných materiálů nebylo již orovnááno. Orovnání a naostření kotouče bylo provedeno až před měřením drsnosti povrchu.

Broušení se provádělo při chlazení 4 % Robolem za podmínek uvedených v kapitole 3.3.5. Použitá ocel byla již uvedena v přehledu. Získané závislosti jsou vynášeny pro větší názornost s průběhy etalonového materiálu E83.

Jak je vidět z obr. 55 má průběh síly $F_n' = f / h /$ pro materiál M2 téměř shodné hodnoty jako pro etalonový materiál. Síla $F_t' = f / h /$ dosahuje mírně vyšších hodnot, dále následuje pokles na hodnoty nižší. Průběhy u jsou téměř totožné, ale etalonu přísluší vyšší hodnoty.

Broušení materiálu 2D je charakterizováno vyššími silami než pro etalon, ovšem poměr sil u se pohybuje v nižších hodnotách / obr. 58 ÷ 60 /.

Materiál M05 se ukázal z hlediska řezných sil jako nejvýhodnější, pokles je patrný jak na velikostech F_t a F_n , ale také u hodnoty μ / obr. 61 ÷ 63 /.

Drsnost povrchu byla měřena pro broušení bez vyjiskření a s vyjiskřením. Počet zdvihů na vyjiskření byl roven 10. Získané hodnoty jsou uvedeny v tab. č. 3.

4.2. Broušení molybdenu

V tomto experimentu byl broušen nástřík molybdenu na synchronizačních kroužcích převodovky. Použitý kotouč byl BN 10/100 V. Obvodová rychlost kotouče $v_s = 25 \text{ m/s}$,

přísuv $h = 0,005\text{mm}$, broušení vnitřních ploch bylo provedeno bez chlazení. Při tomto broušení nebyly zjišťovány řezné síly a drsnost povrchu. Při broušení nedocházelo k zalepování pracovního povrchu nástroje a vzniklá třísková odpovídala tříске vzniklé při broušení šedé litiny. Broušení nástřiku molybdenu kotoučem z KNB se jeví jako výhodné.

5. ZÁVĚR

Z uvedených teoretických poznatků a provedených zkoušek vyplývá, že problematika stanovení podmínek pro přípravu brousícího kotouče a vhodné použití nástroje je velmi složitá. Na volbu efektivního použití má vliv mnoho proměnných parametrů, jejichž správné určení je podmíněno provedením mnoha zkoušek s různými kotouči a různými obráběcími materiály.

Pro praktické využití jednotlivých nástrojů z KNB v průmyslové výrobě je nutné provést další z uvedených způsobů orovnění a ostření, stanovit nejvýhodnější metodu orovnění pro práce hrubovací a pro práce na čisto tak, aby kotouč pracoval po dlouhou dobu v efektivním pracovním režimu.

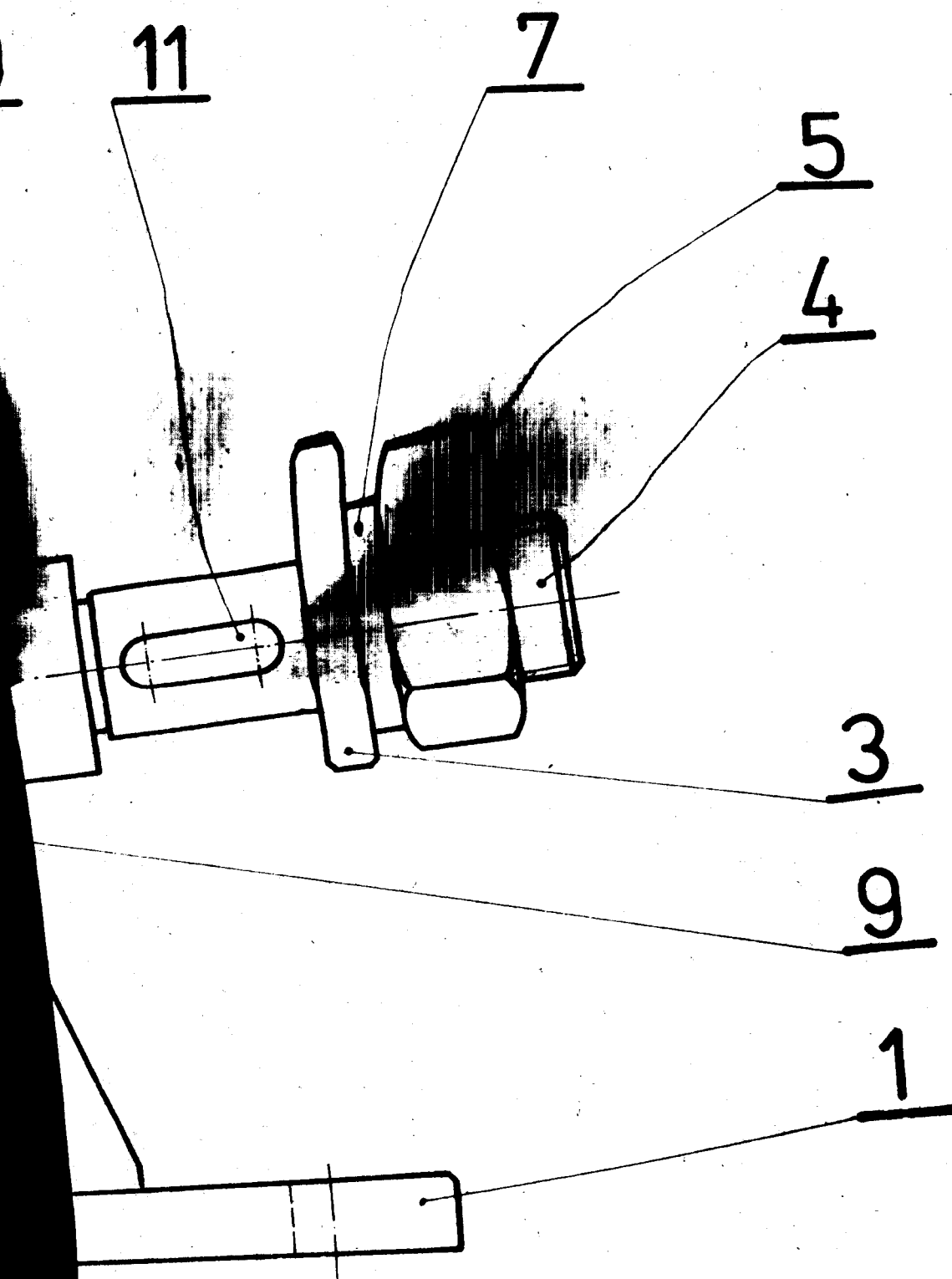
Diplomová práce obsahuje základní teoretické údaje o průběhu a charakteru opotřebení diamantových a KNB kotoučů, dále se podrobněji zabývá vlivem přípravy nástroje na kvalitu obrobene plochy. V experimentální části jsou pak uvedeny závislosti hlavních parametrů ovlivňujících řezný proces a výsledky získané provedením vybraných způsobů orovnění. Broušením oceli 19 830 a molybdenu byla ukázána praktická aplikace kotouče KNB.

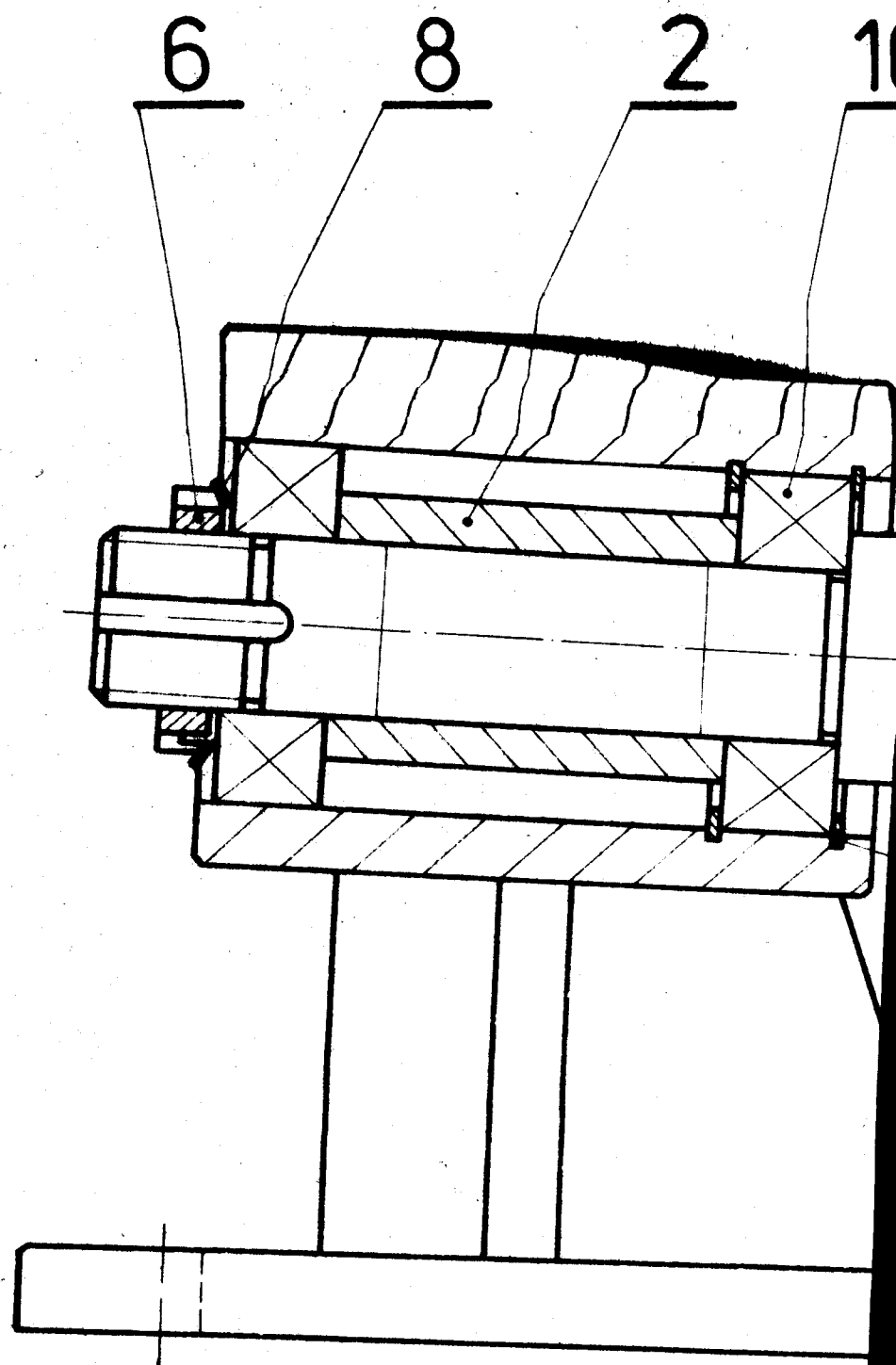
V této práci tvoří popsané skutečnosti základní soubor poznatků o aspektech použití těchto brousících nástrojů. Jsou podkladem pro detailnější rozbor a případně praktické využití. Pro tuto práci je však nutné zvolit vhodnější stroj a tužší dynamometr. Jak bylo již uvedeno, je možné využít navržené orovnávací kladky, která byla již vyrobena ve vývojových dílnách VŠST Liberec. Návrh úpravy této kladky pro širší využití je též přiložen.

Výzkum podmínek broušení pro diamantové a KNB nástroje otevírá nové možnosti progresivního rozvoje broušení ve strojírenství.

Použitá literatura

- 1/ Maslov J.N. : Teorie broušení kovů, SNTL, Praha 1979
- 2/ Švaral Š. : Obrábanie nástrojmi z diamantu a KNE,
Alfa Bratislava 1977
- 3/ IDR 19, 1985 Nr. 2
IDR 1987 Nr 3
- 4/ Tomečková G. : Diamantové nástroje pro obrábění
progresivní keramiky/Diplomová práce/
VŠST Liberec, Liberec 1988





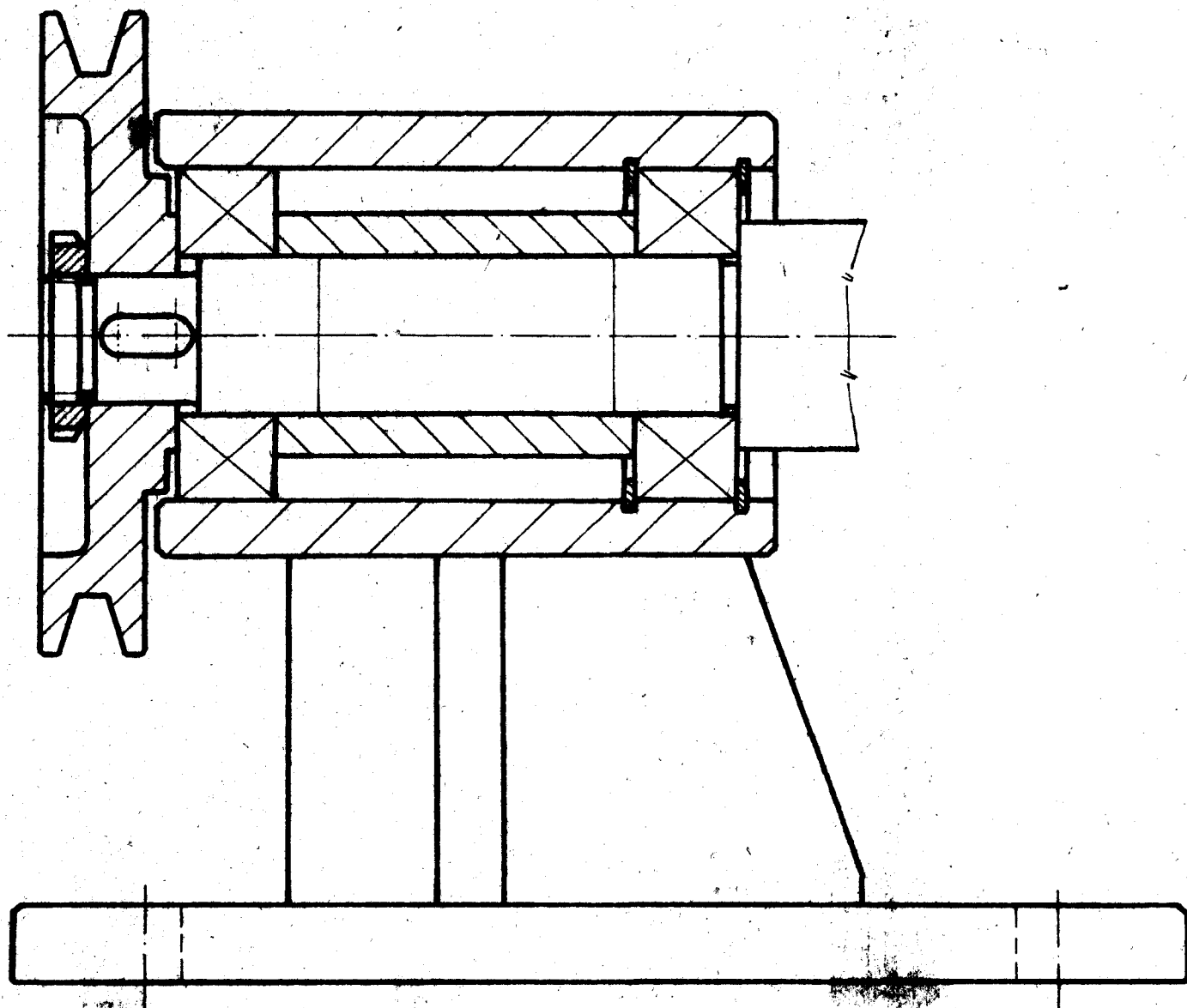
1	SVAŘENEC				3-KOM-OM-222-01	1
					-01	
1	POUZDRO	ČSN			4-KOM-OM-22 201	2
	ø42-60	42 65 10	11 373	001 0,27	-02	
1	PODLOŽKA	ČSN			4-KOM-OM-222-01	3
	ø48-12	42 65 10	11 373	001 0,12	-03	
		ČSN			3-KOMOM-22201	
1	HŘÍDEL ø40-155	42 65 10	11 500	001 0,78	-04	4
	MATICE	ČSN				5
1	M 24	02 14 01				
	MATICE	ČSN				6
1	KM 5	02 36 30				
	PODLOŽKA	ČSN				7
1	24,5	02 17 40				
	PODLOŽKA	ČSN				8
1	MB 5	02 36 40				
	POJISTNÝ	ČSN				9
2	KROUŽEK 52	02 29 31				
	LOŽISKO	ČSN				10
2	25x52x15 6205	02 46 40				
	PERO	ČSN				11
1	8 e 7x7x25	02 85 62				

R. STRUKOVÁ

1:1

OROVNÁVACÍ
KLADKA

4-KOM-OM-222-01-00



1:1

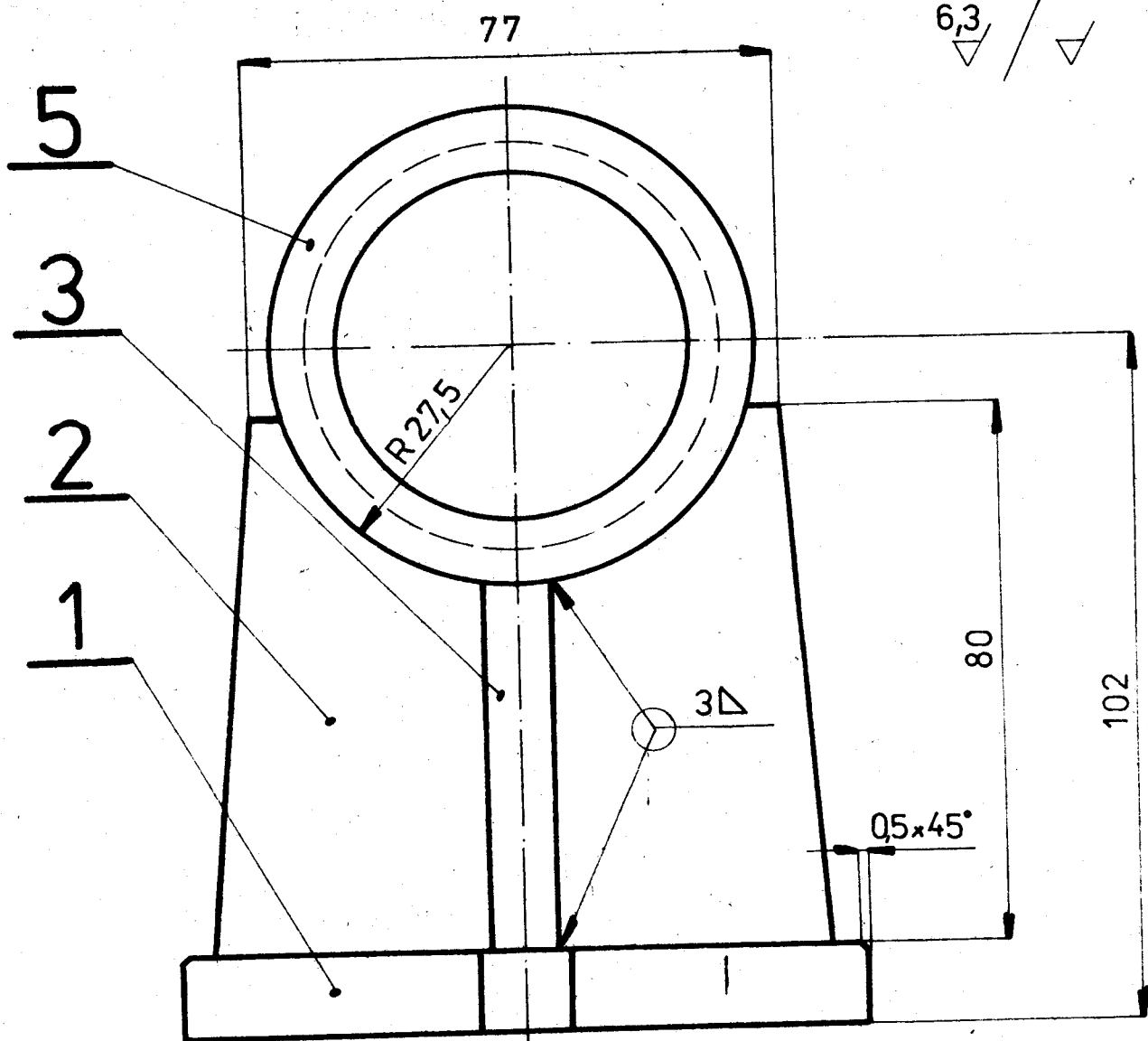
R. STRUKOVÁ

OROVNÁVACÍ Kladka
ÚPRAVA PRO POHON

4 KOM OM 222 01 00

8

3



E 48.83 ČSN 05 50 27.1 PO SVAŘENÍ VYŽÍHAT

1:1

R. STRUKOVÁ

SVAŘENEC

3-KOM-OM-222-01-01

1	DESKA	ČSN				1
1	P 15-105 x 185	42 53 10	11 373	001 1,65		
1	DESKA	ČSN				2
1	P 10-85 x 95	42 53 10	11 373	001 0,46		
1	DESKA	ČSN				3
1	P 10-25 x 60	42 53 10	11 373	001 0,11		
1	DESKA	ČSN				4
1	P 10-60 x 60	42 53 10	11 373	001 0,27		
1	NABOJ TR	ČSN				5
1	Ø 70 x 12-100	42 57 15	11 373	001 1,26		

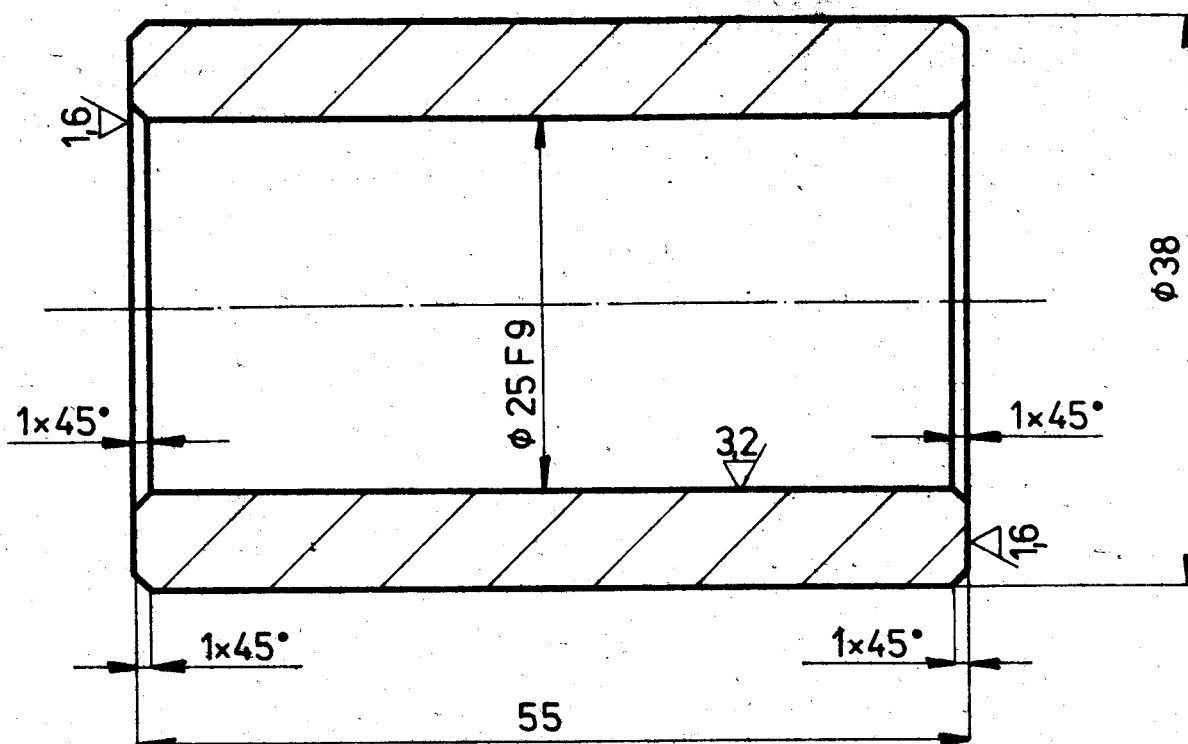
R. STRUKOVA

1:1

SVAŘENEC

4-KOM-OM-222-01-01

6.3 / / /



11 373

42-80 ČSN 42 65 10

001

0,27

2:1

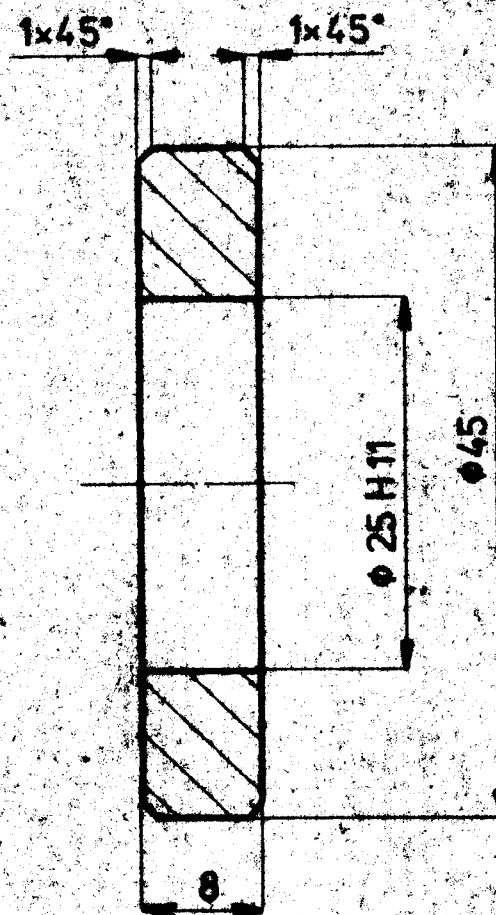
R. STRUKOVÁ

POUZDRO

4-KOM-OM-222-01-02

8

6



11.373

001

0,12

2:1

48-12 ČSN 42 65 10

0,12

R.ŠTRUKOVÁ

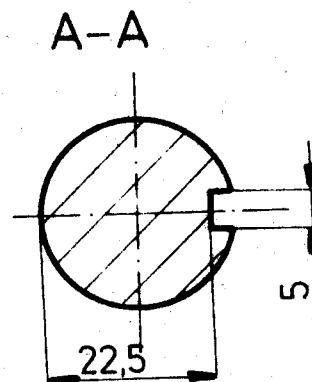
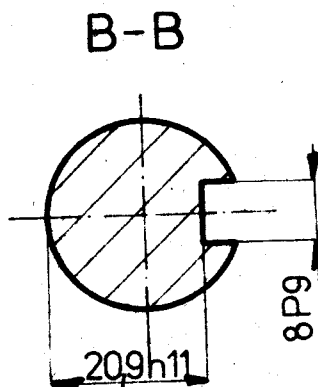
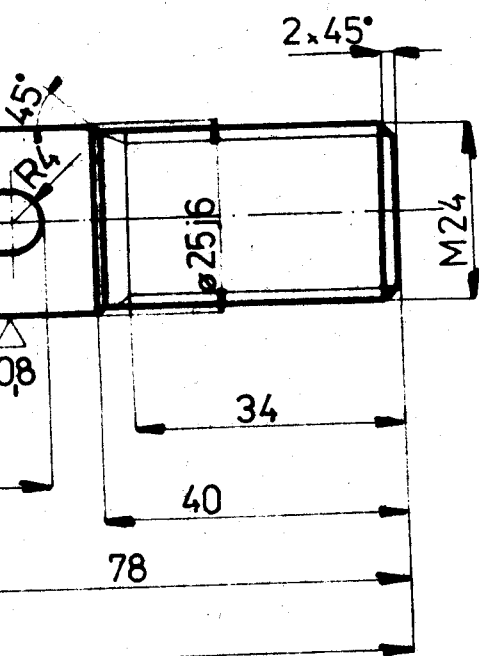
PODLOŽKA

4-KOM-OM-222-01-03

8

63 / ✓ /

0005 A



11 500

$\phi 40-155$ ČSN 42 65 10

001

0,78

1:1

R STRUKOVÁ

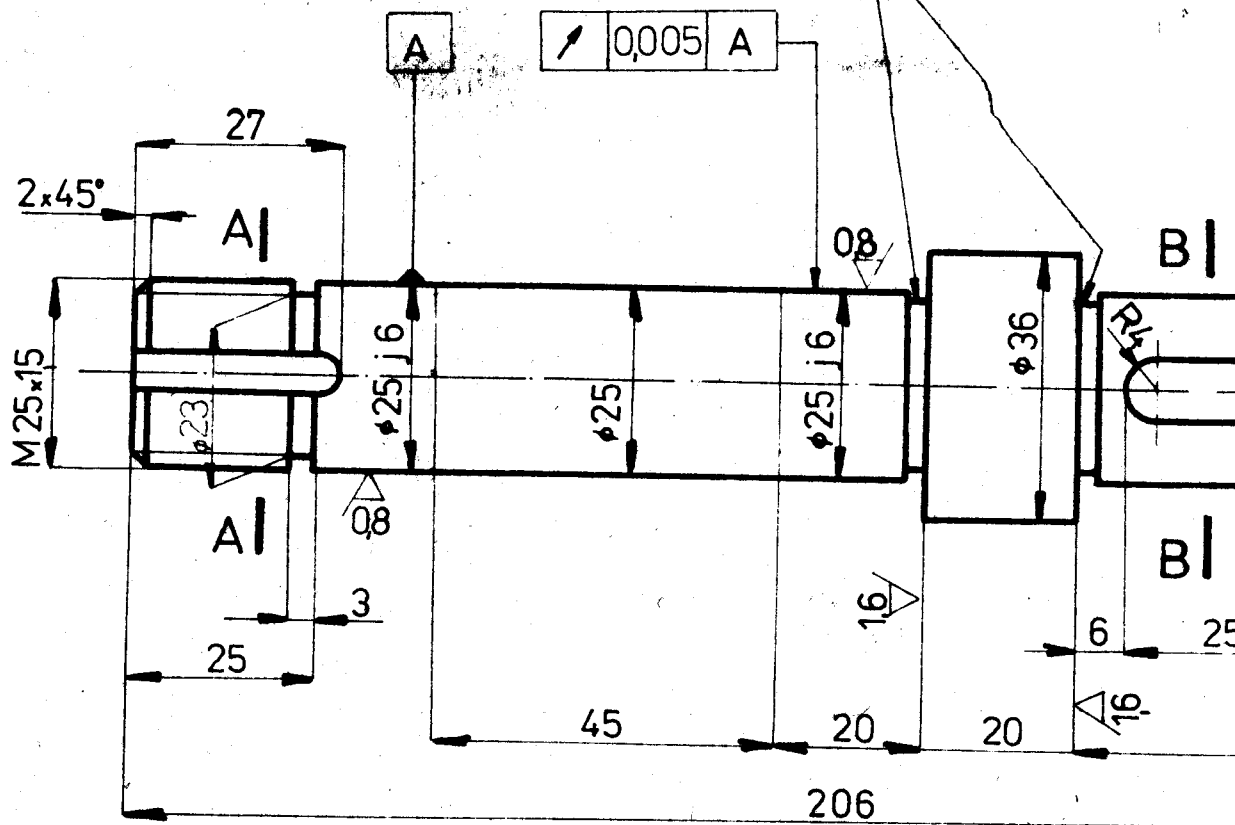
HŘÍDEL

3-KOM-OM-222-01-04

8

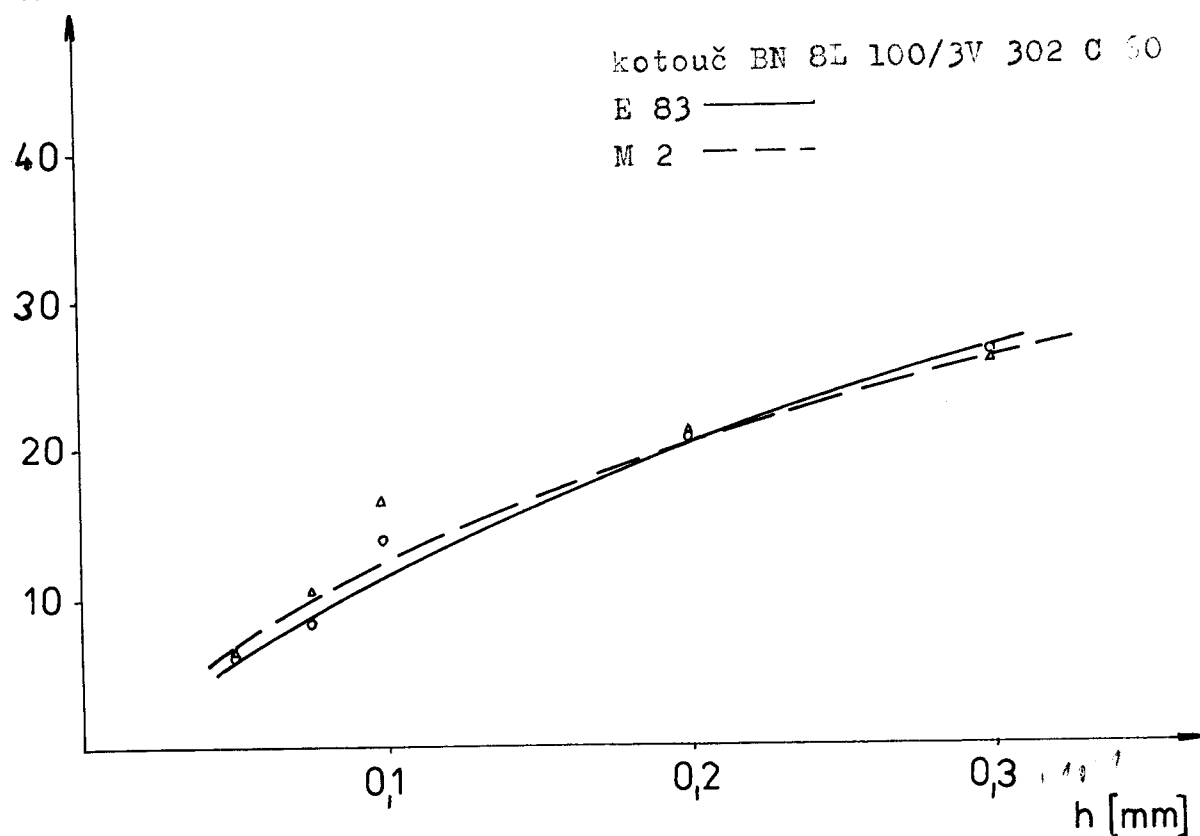
8

F 25 02 ČSN 01 49 30

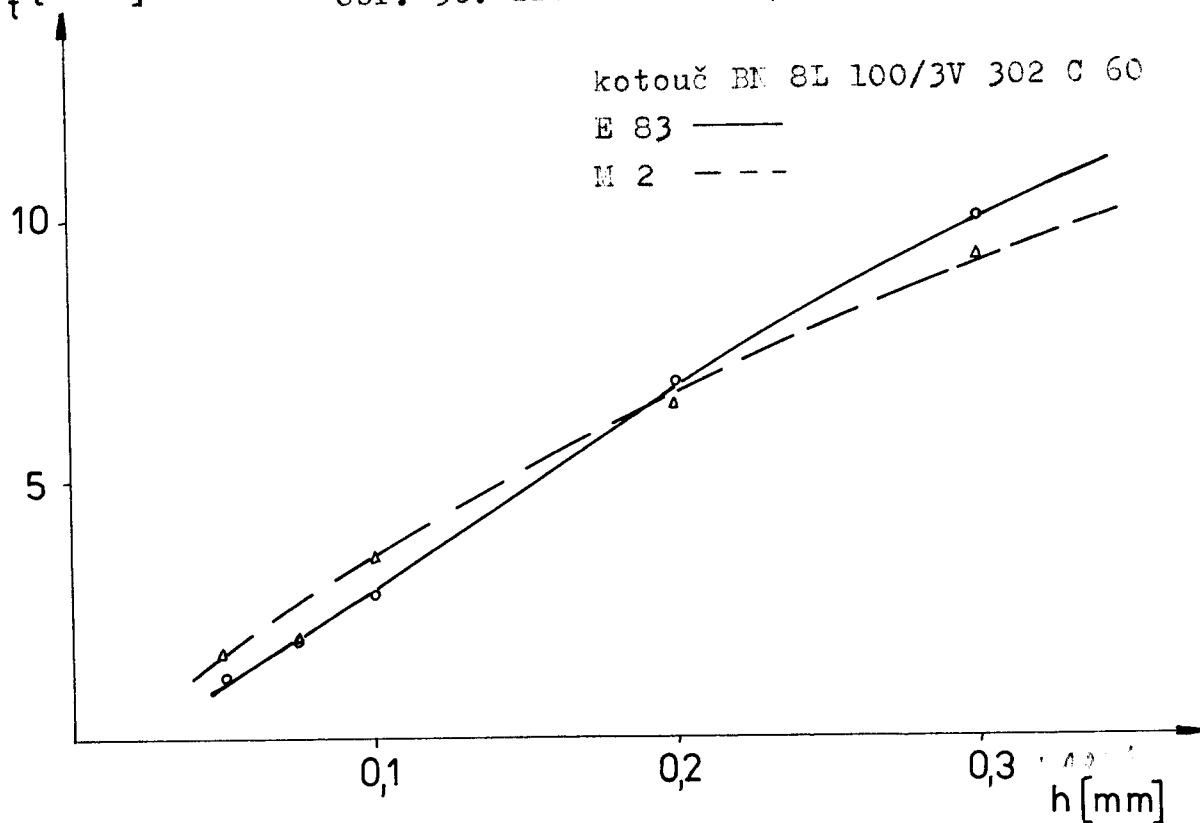


$F'_n [\text{N} \cdot \text{mm}^4]$

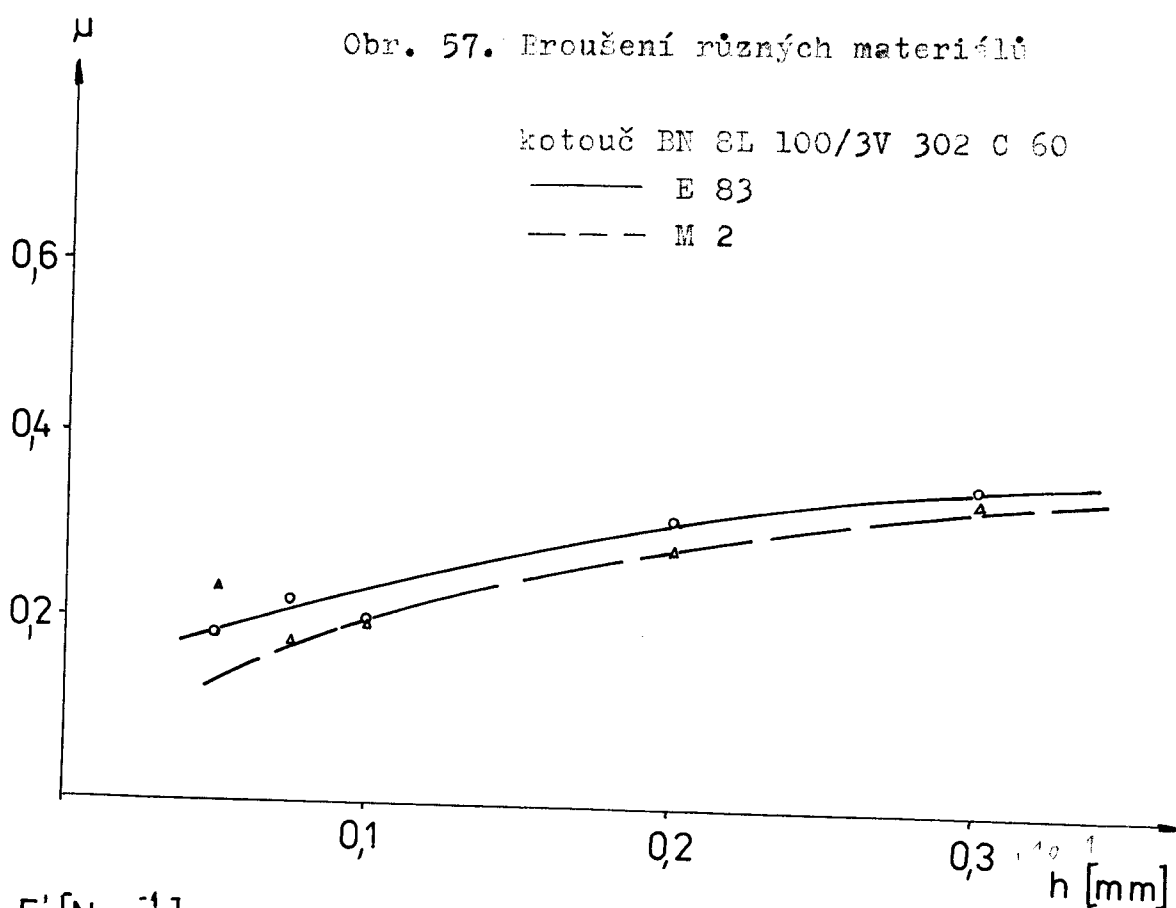
Obr. 55. Broušení různých materiálů

 $F'_t [\text{N} \cdot \text{mm}^4]$

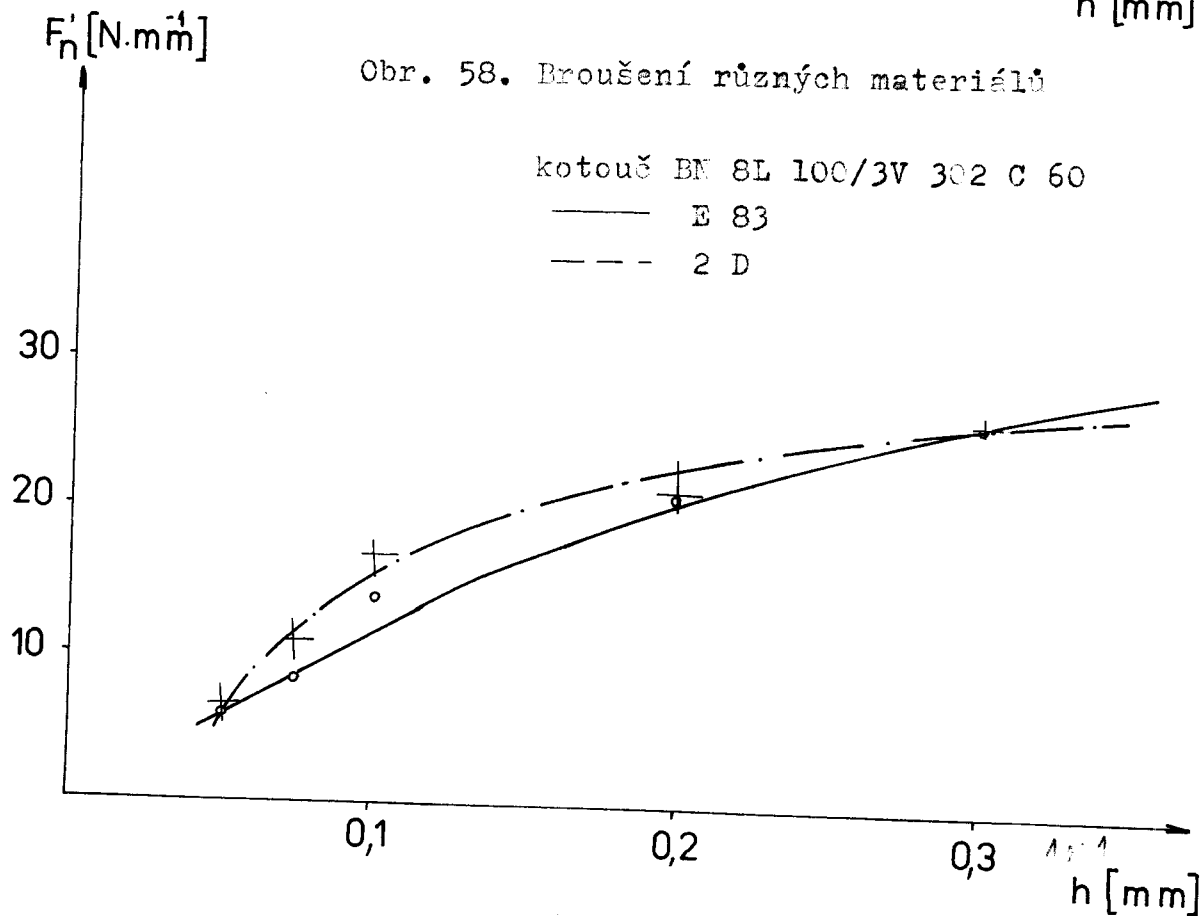
Obr. 56. Broušení různých materiálů



Obr. 57. Broušení různých materiálů



Obr. 58. Broušení různých materiálů



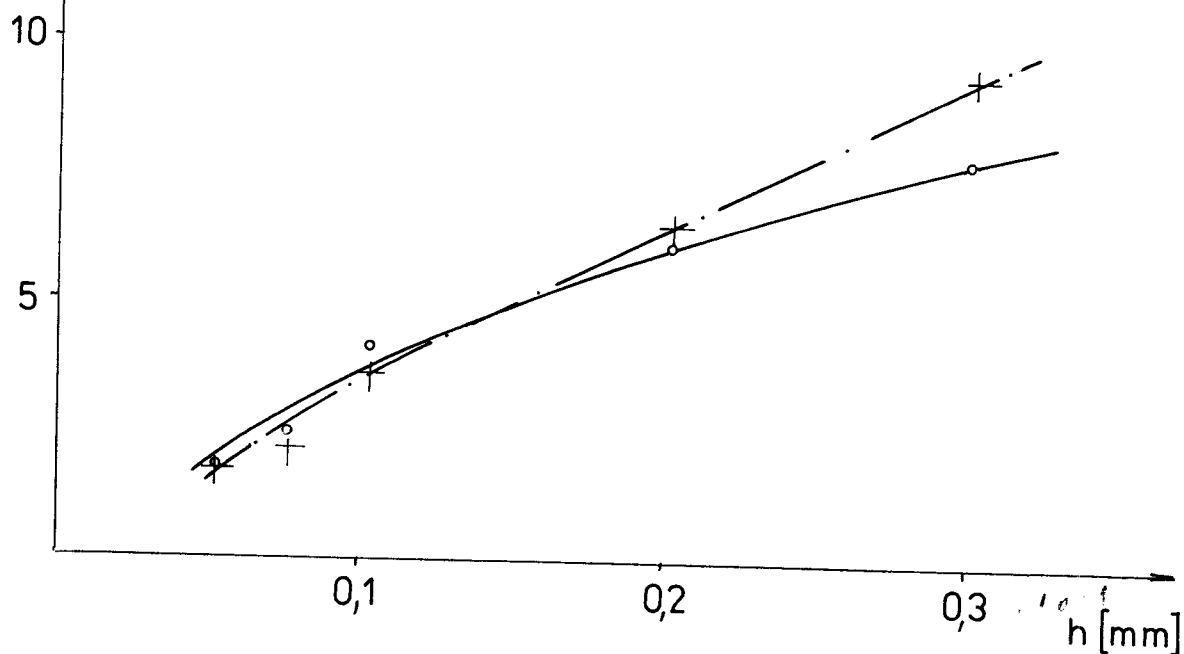
$F_t' [N \cdot m^{-1}]$

Obr. 59. Broušení různých materiálů

kotouč BN 8L 100/3V 302 C 60

— E 83

- - - 2 D



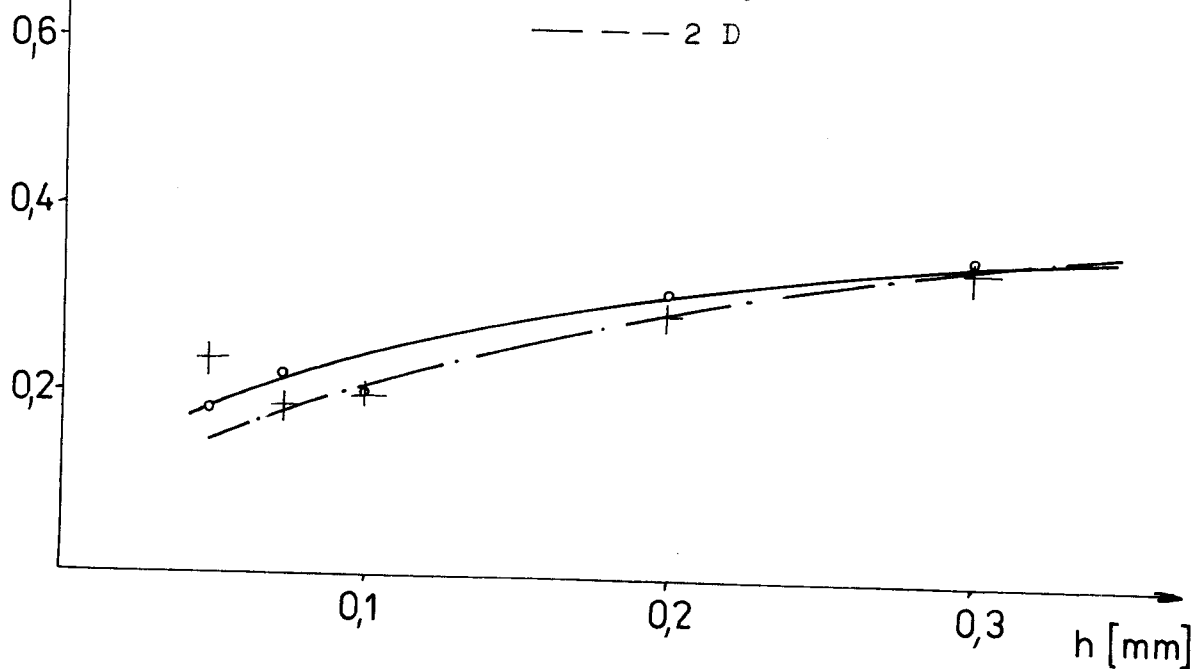
μ

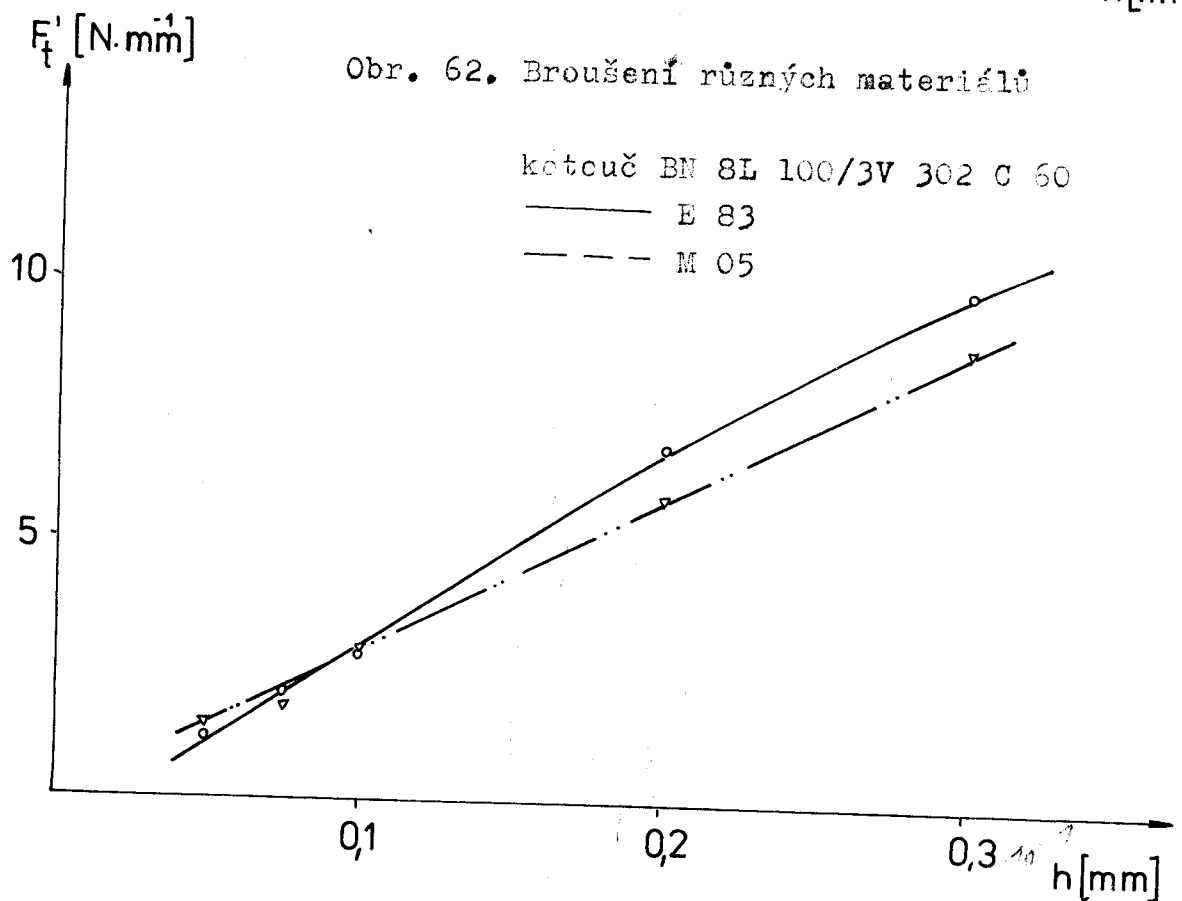
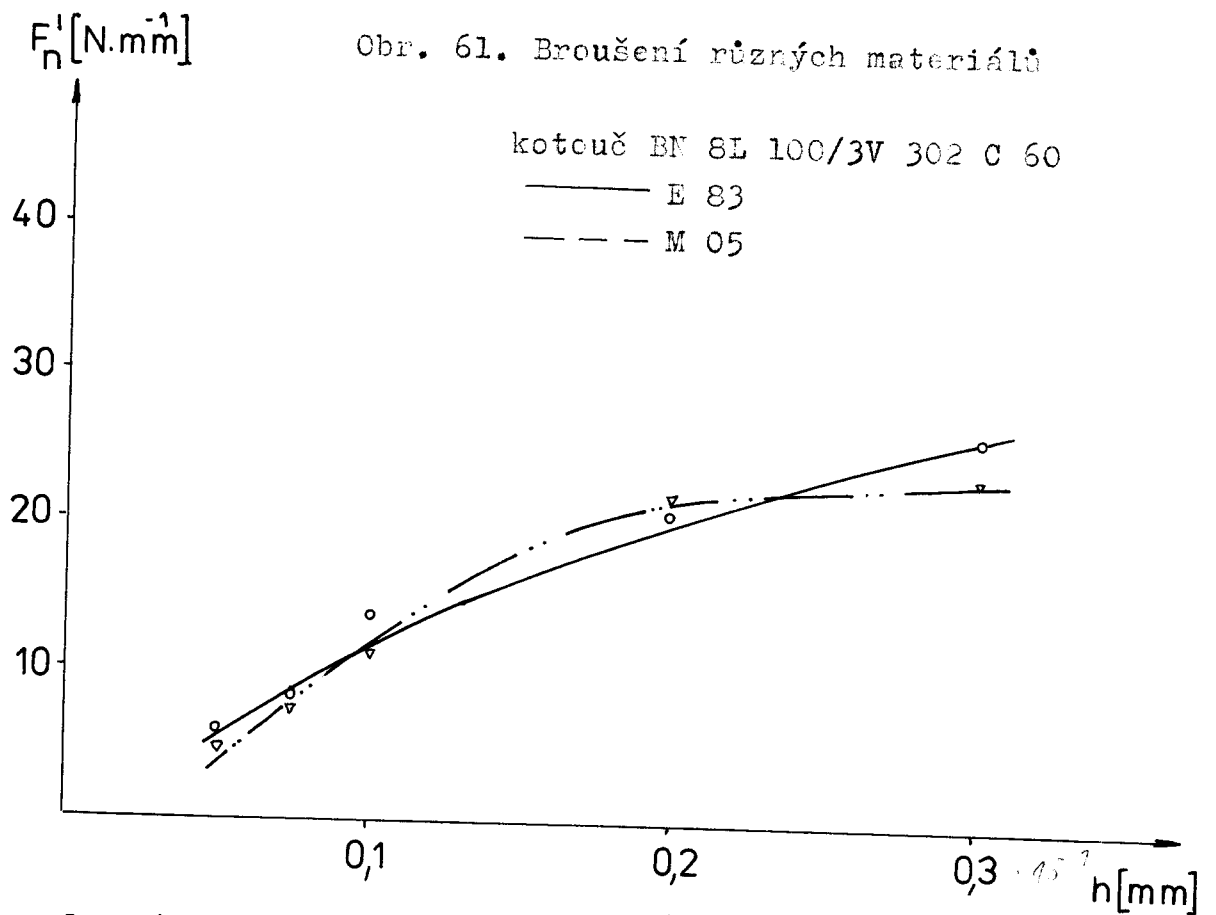
Obr. 60. Broušení různých materiálů

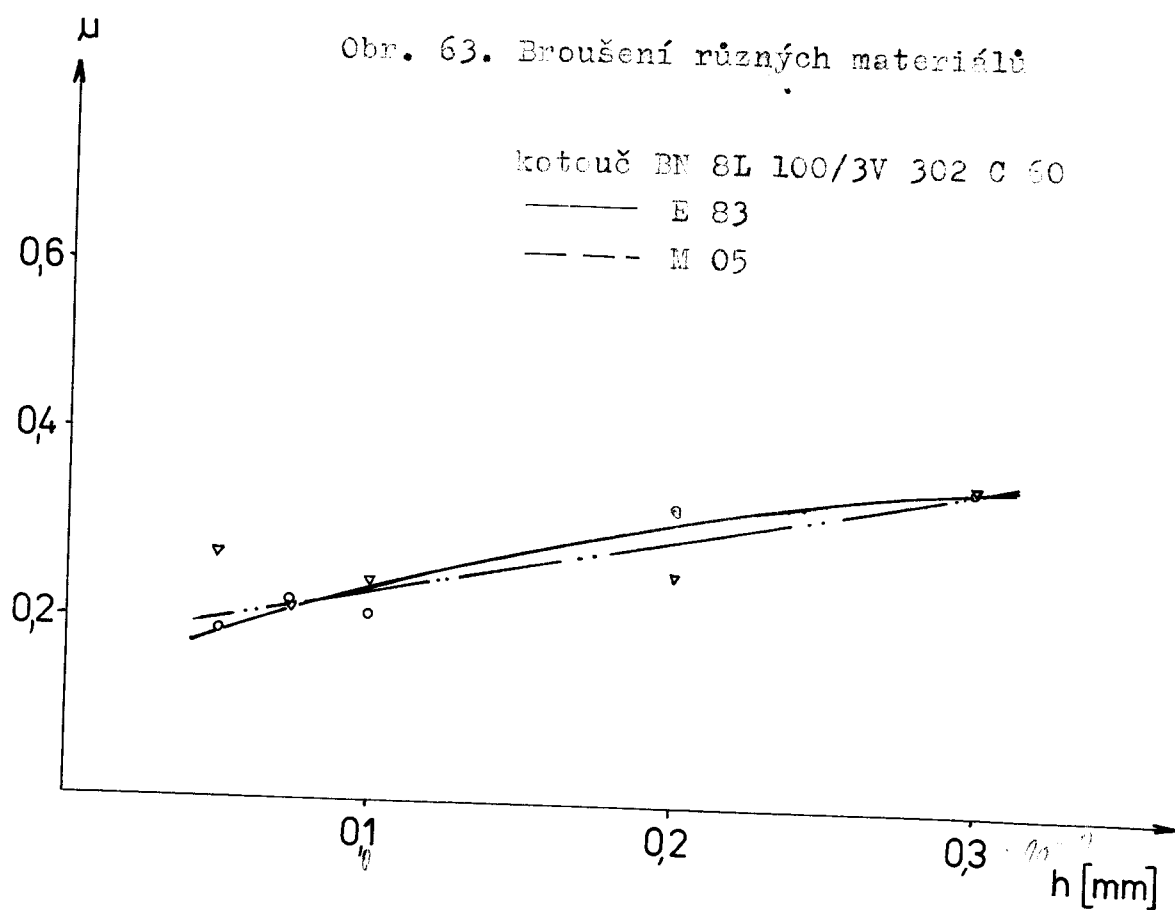
kotouč BN 8L 100/3V 302 C 60

— E 83

- - - 2 D

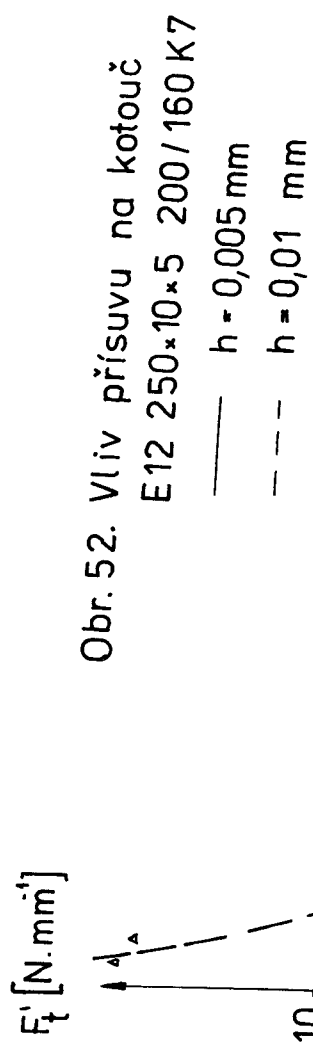






tab. č. 3

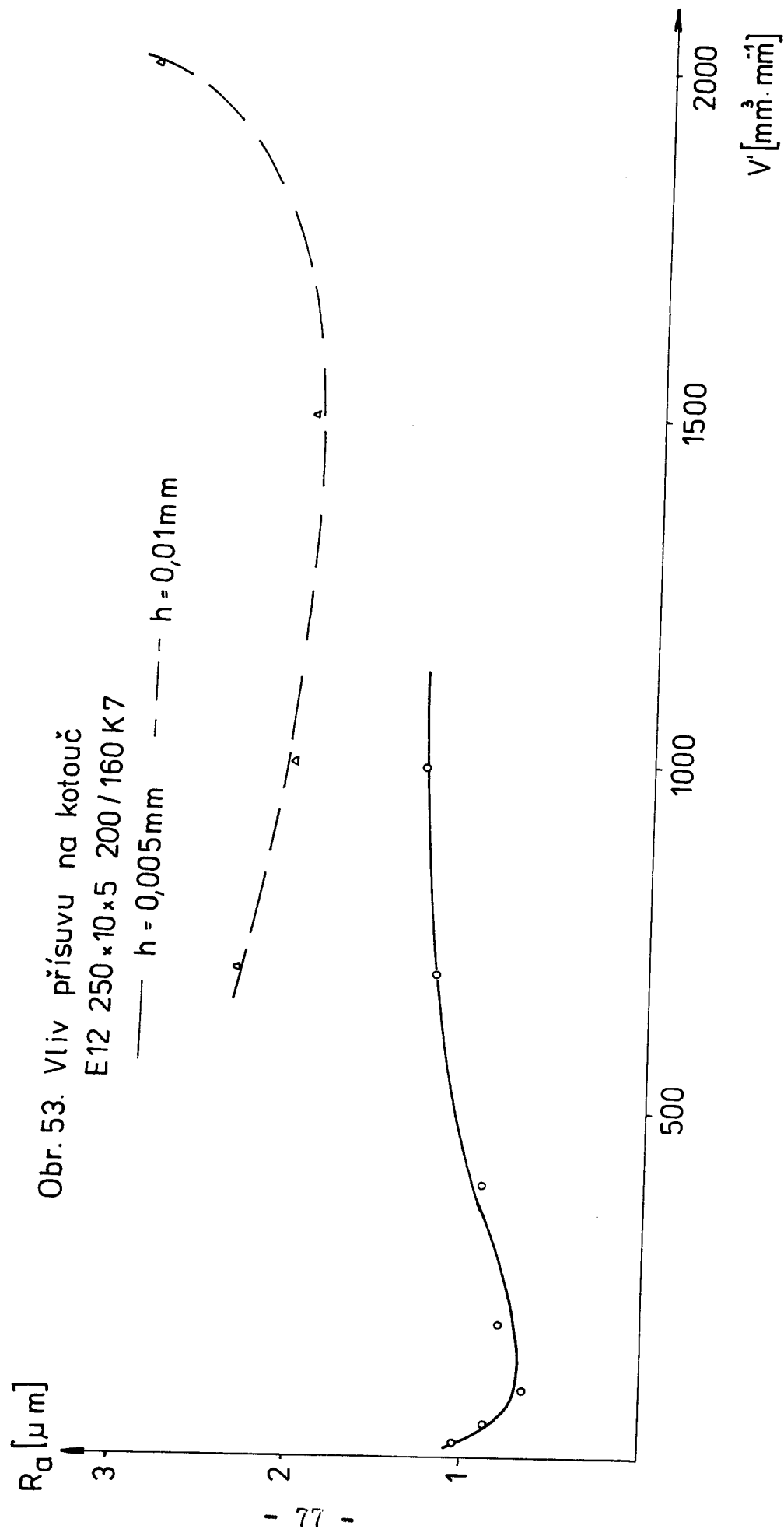
materiál	Ra^{*1}	Ra
E 83	0,25	0,3
M 2	0,27	0,32
2 D	0,26	0,37
M 05	0,34	0,37



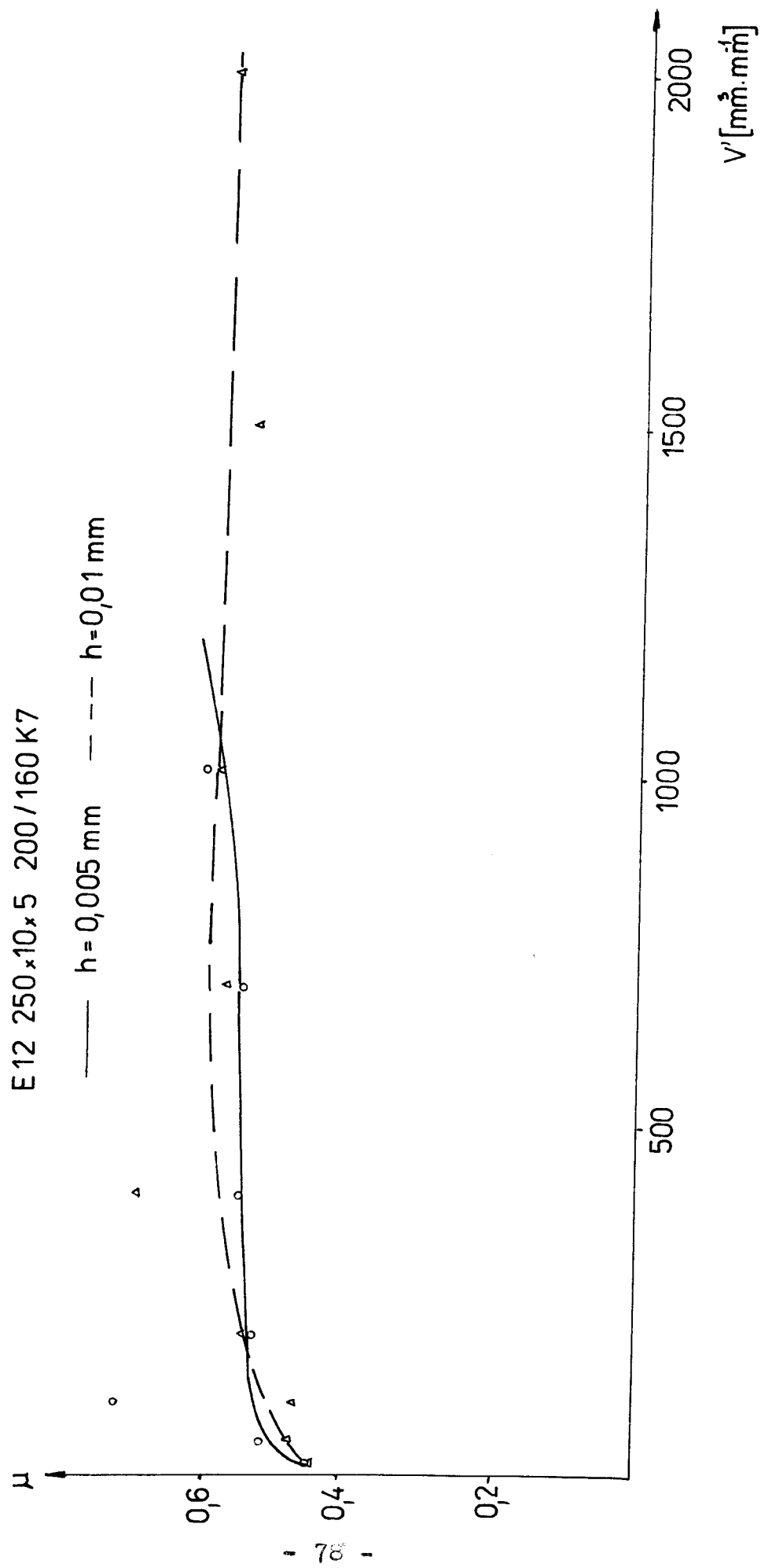
$R_a [\mu m]$

Obr. 53. Vliv přířuvu na kotouč
E12 250 × 10 × 5 200 / 160 K7

— $h = 0,005 mm$ - - - $h = 0,01 mm$



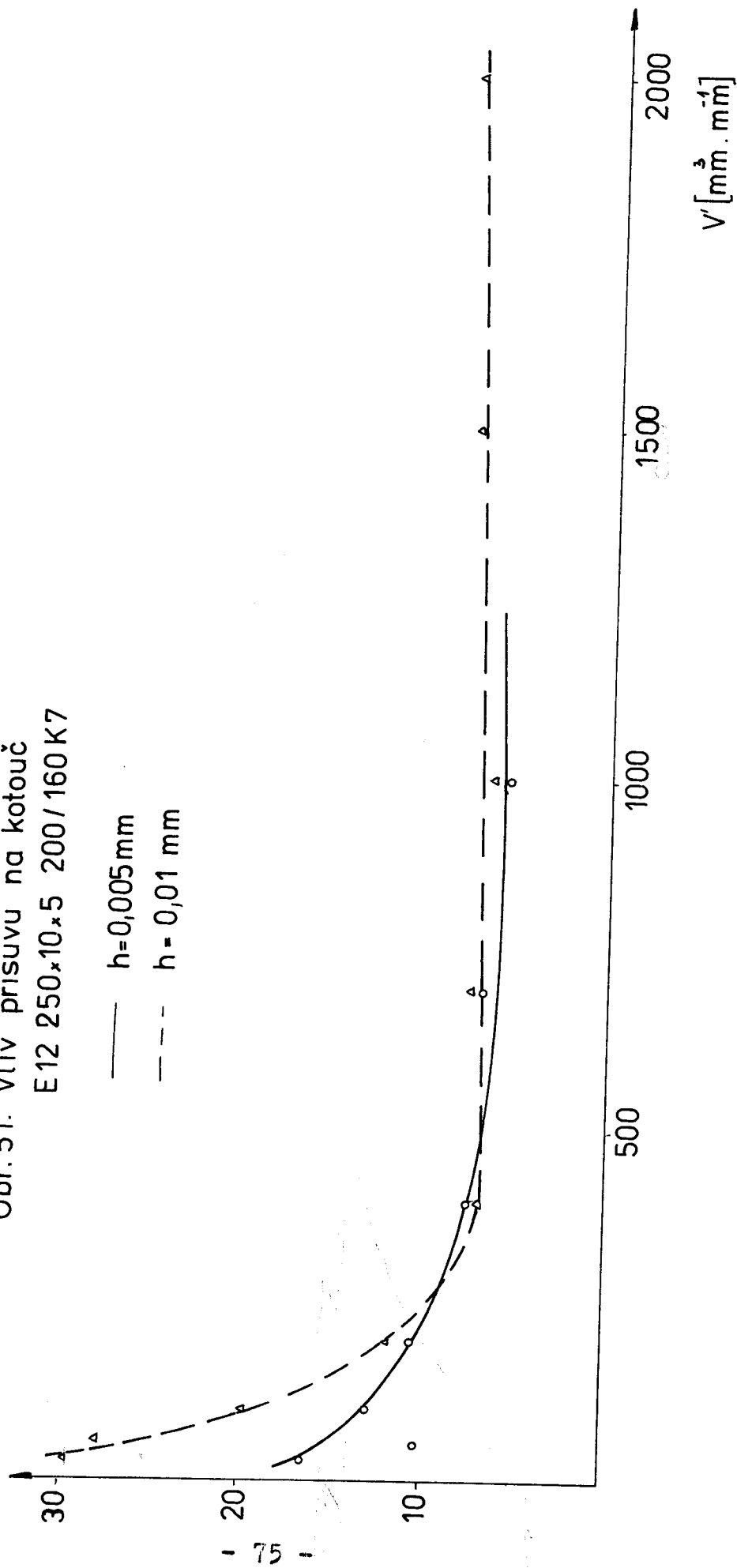
Obr. 54. Vliv přísuvu na kotouč
E12 250×10×5 200/160 K7



F'_h [N·mm⁻¹]

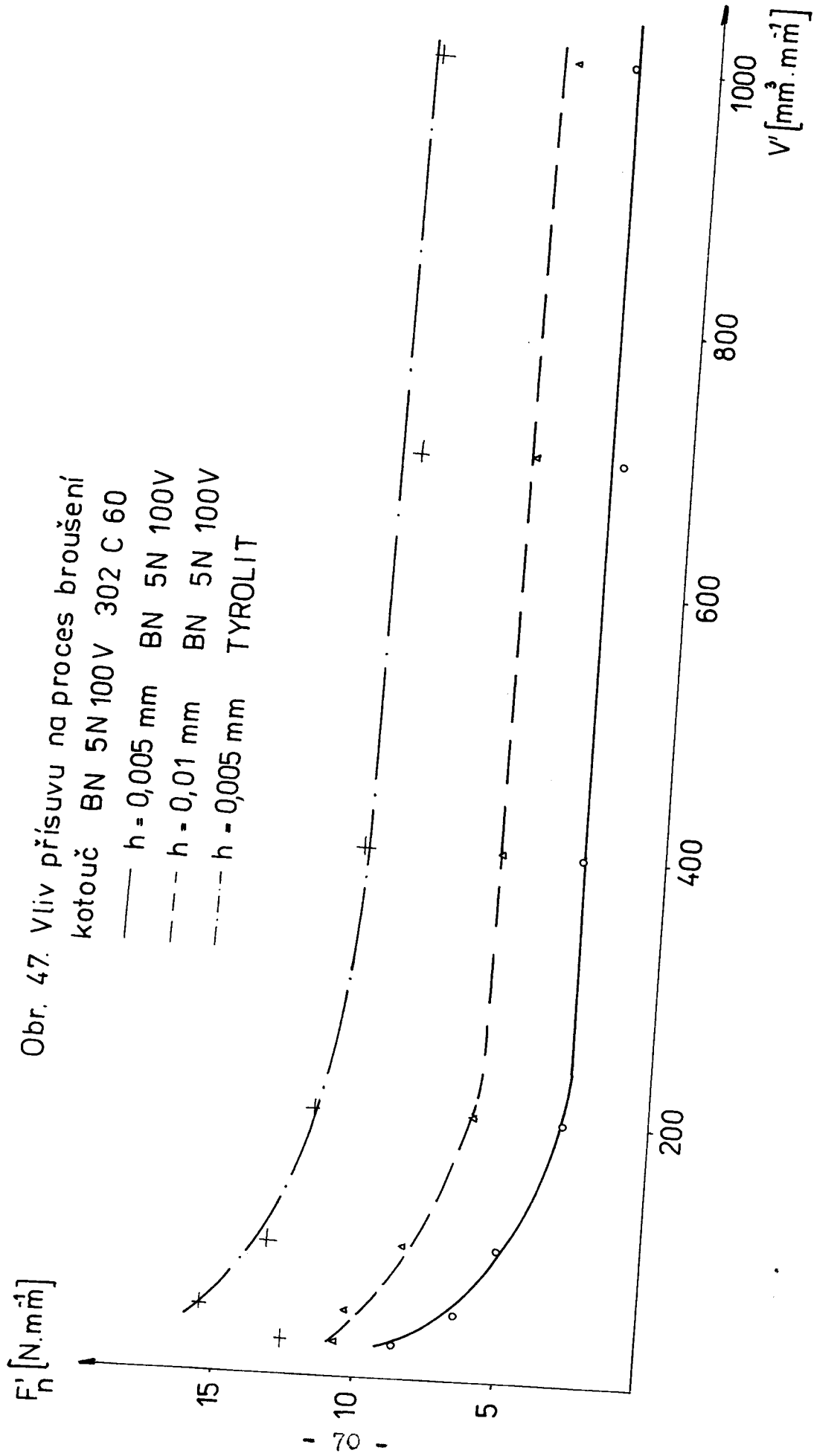
Obr. 51. Vliv přísluvu na kotouč
E12 250×10×5 200/160 K7

— $h=0,005$ mm
- - - $h=0,01$ mm



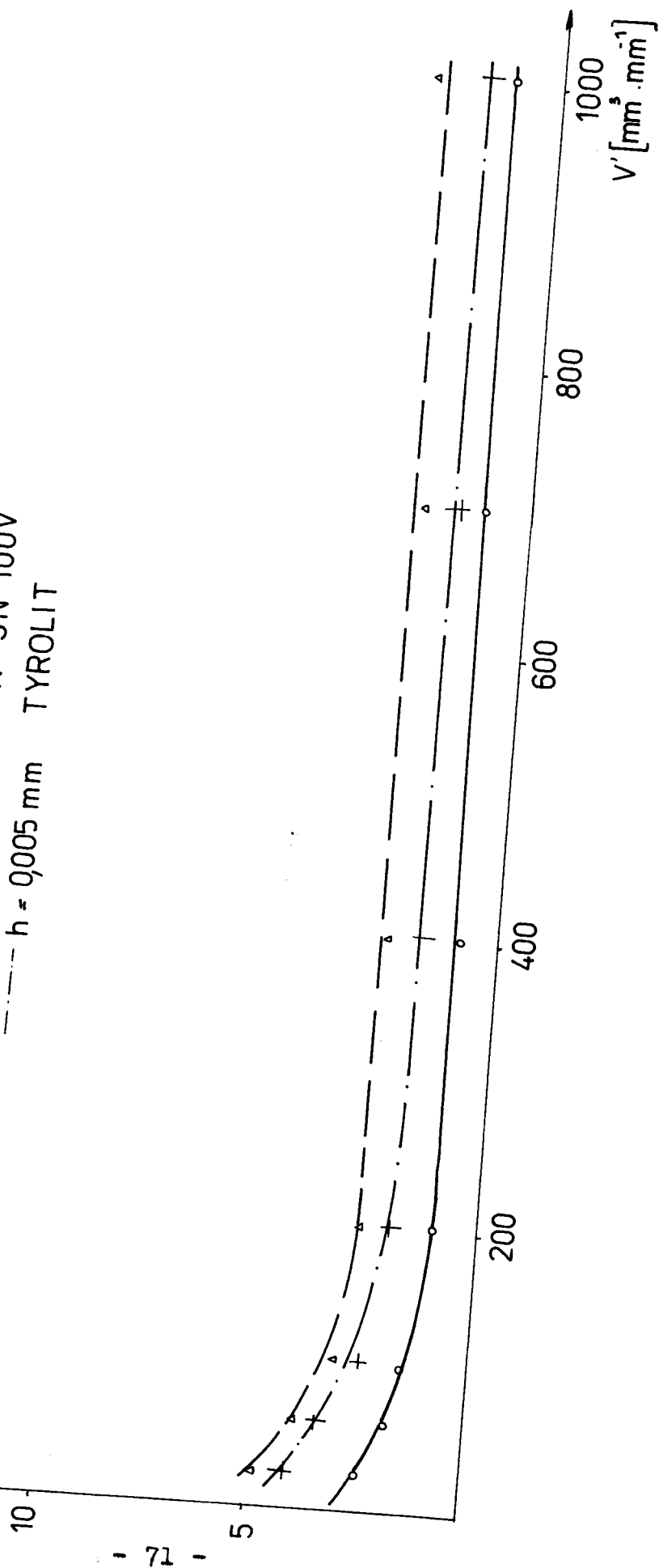
Obr. 47. Vliv přísuvu na proces broušení
 kotouč BN 5N 100V 302 C 60

— $h = 0,005 \text{ mm}$ BN 5N 100V
 - - - $h = 0,01 \text{ mm}$ BN 5N 100V
 - · - · $h = 0,005 \text{ mm}$ TYROLIT



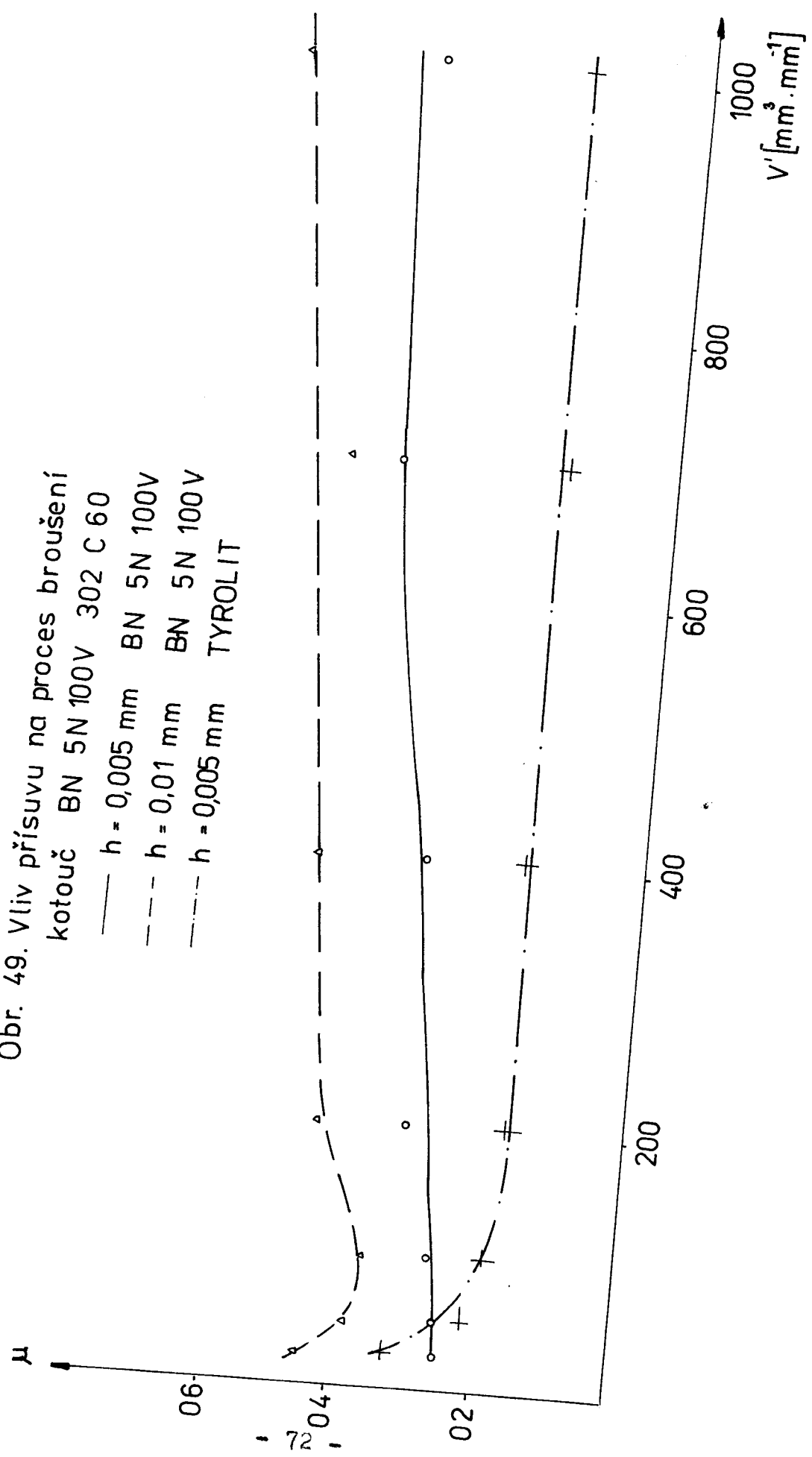
$F'_t [N \cdot mm^{-1}]$

Obr. 48. Vliv přísuvu na proces broušení
kotouč BN 5N 100V 302 C 60
— $h = 0,005 \text{ mm}$ BN 5N 100V
--- $h = 0,01 \text{ mm}$ BN 5N 100V
- - - $h = 0,005 \text{ mm}$ TYROLIT



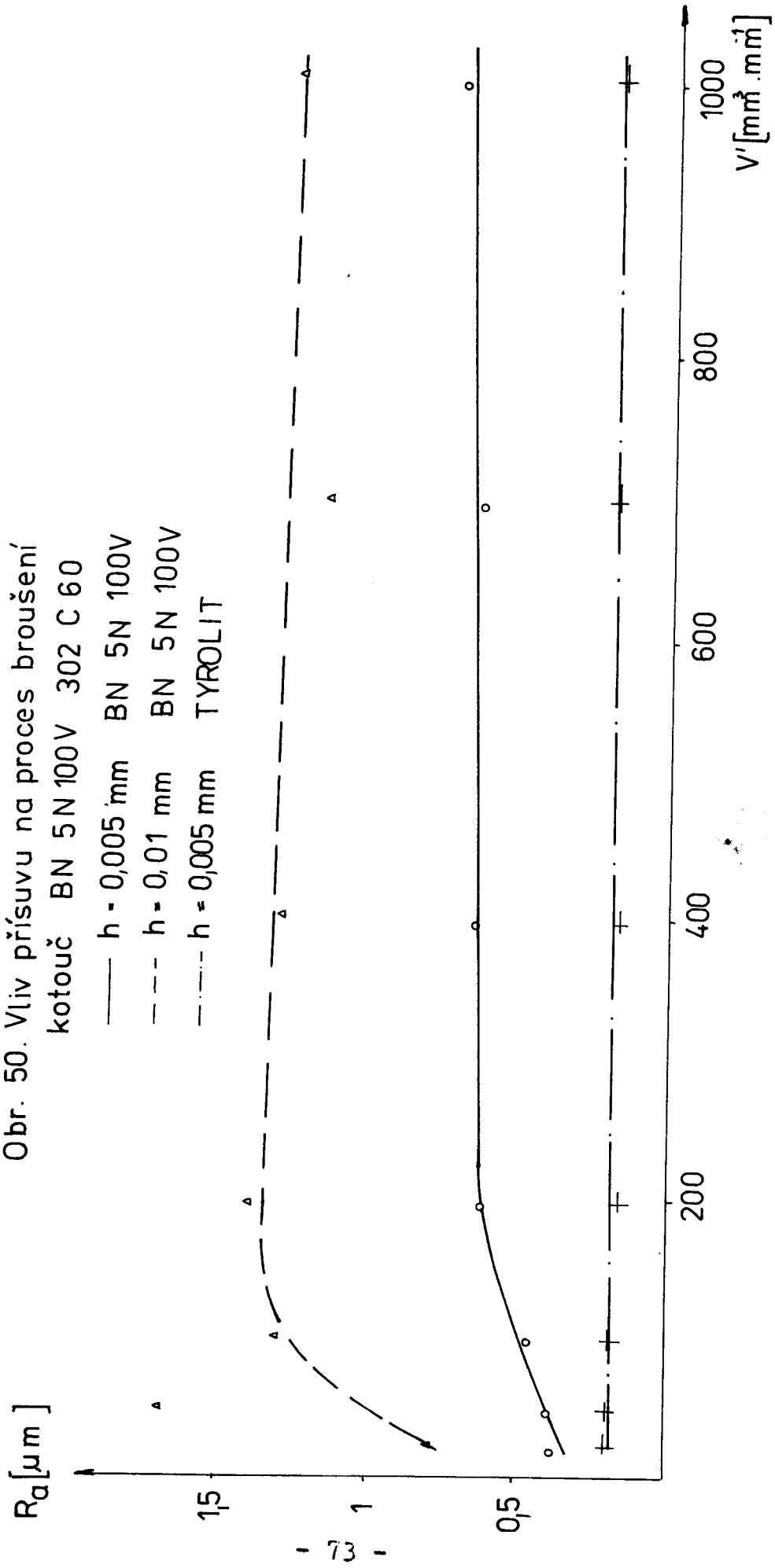
Obr. 49. Vliv přísluvu na proces broušení
 kotouč BN 5N 100V 302 C 60

- $h = 0,005 \text{ mm}$ BN 5N 100V
- - - $h = 0,01 \text{ mm}$ BN 5N 100V
- · - $h = 0,005 \text{ mm}$ TYROLIT



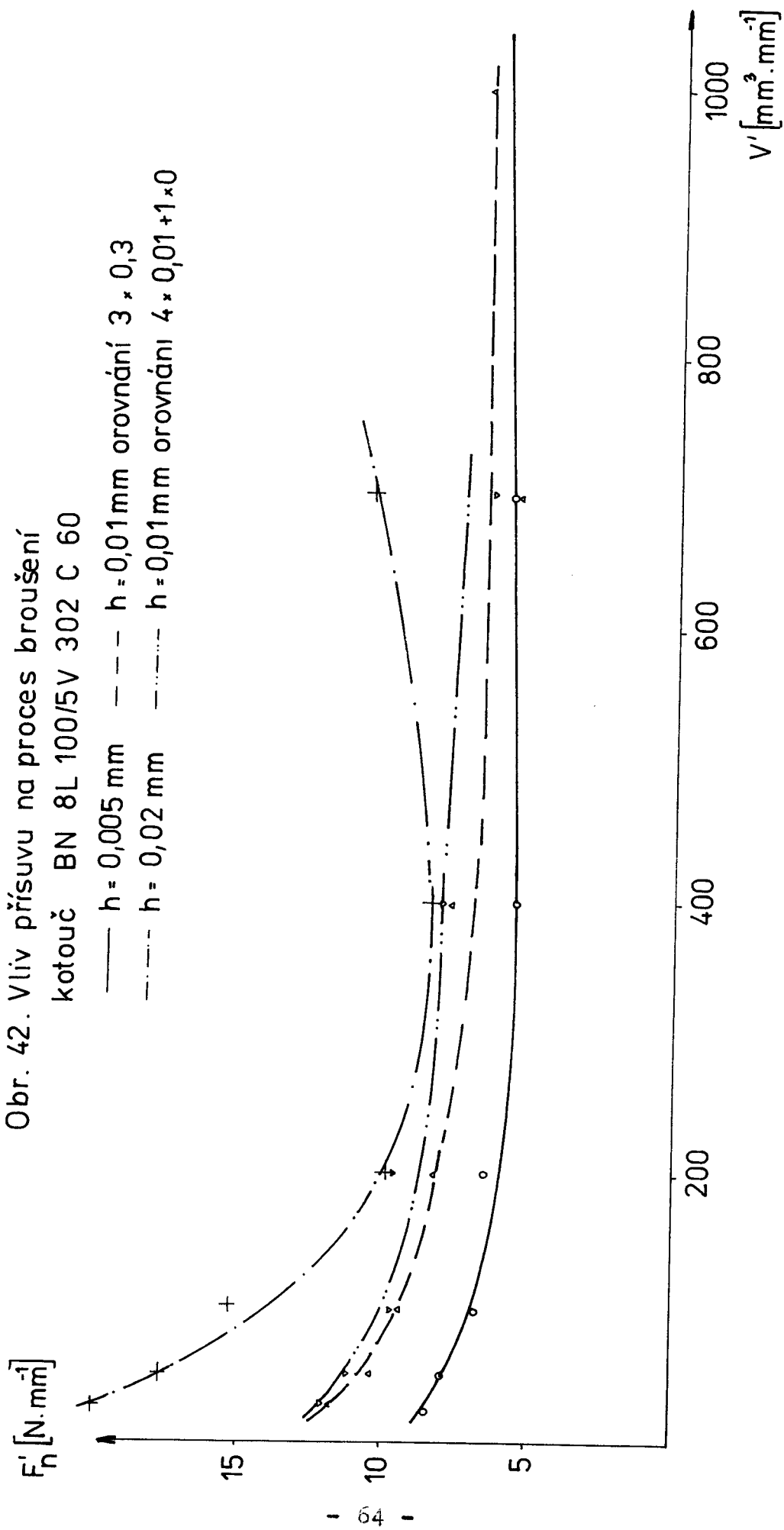
Obr. 50. Vliv přísluvu na proces broušení
 kotouč BN 5N100V 302 C 60

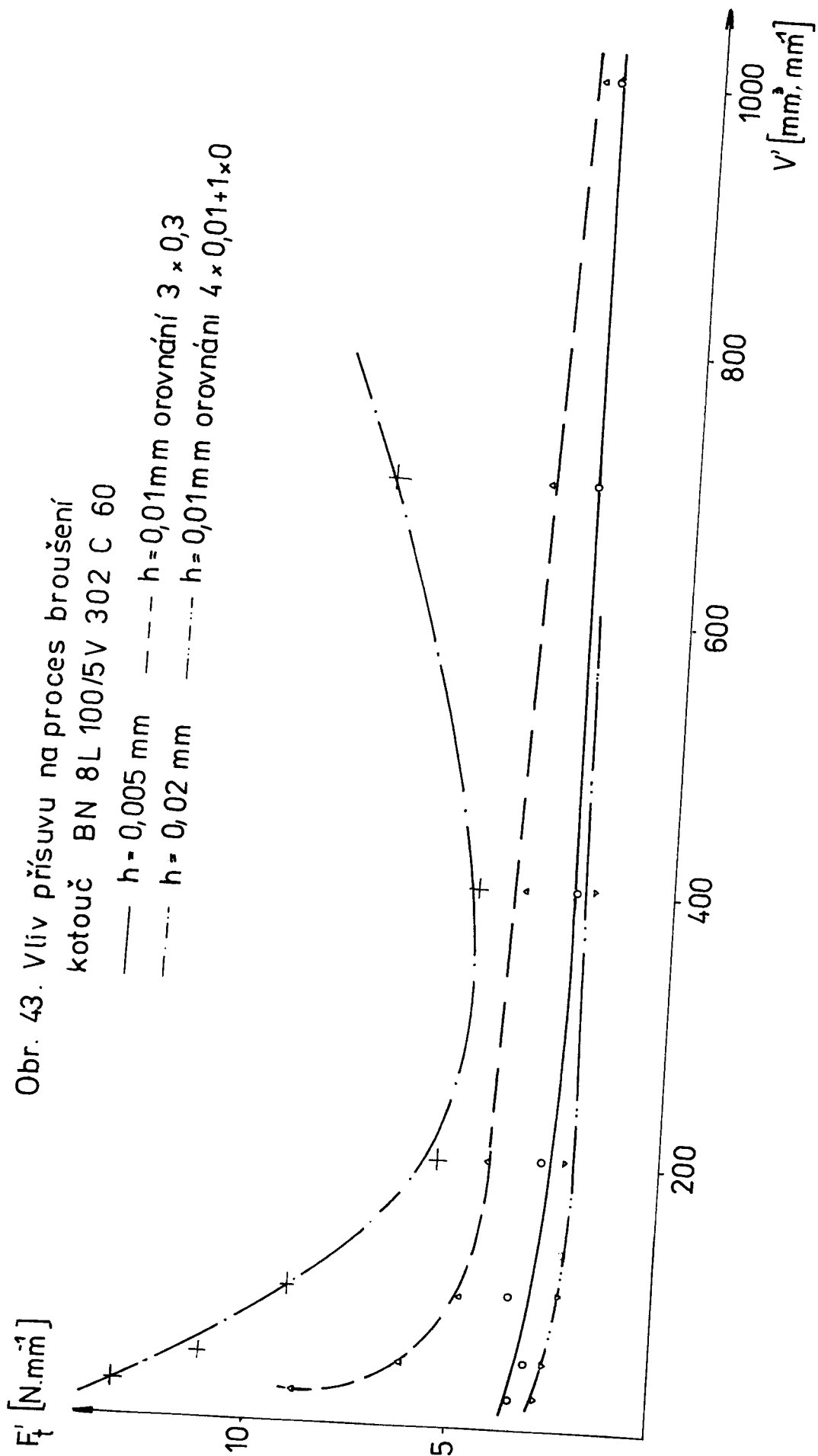
—	$h = 0,005 \text{ mm}$	BN 5N 100V
- - -	$h = 0,01 \text{ mm}$	BN 5N 100V
- · - · -	$h = 0,005 \text{ mm}$	TYROLIT



Obr. 42. Vliv přísuvu na proces broušení
 kotouč BN 8L 100/5V 302 C 60

$h = 0,005 \text{ mm}$ $h = 0,01 \text{ mm}$ orovnění $3 \times 0,3$
 $h = 0,02 \text{ mm}$ $h = 0,01 \text{ mm}$ orovnění $4 \times 0,01 + 1 \times 0$

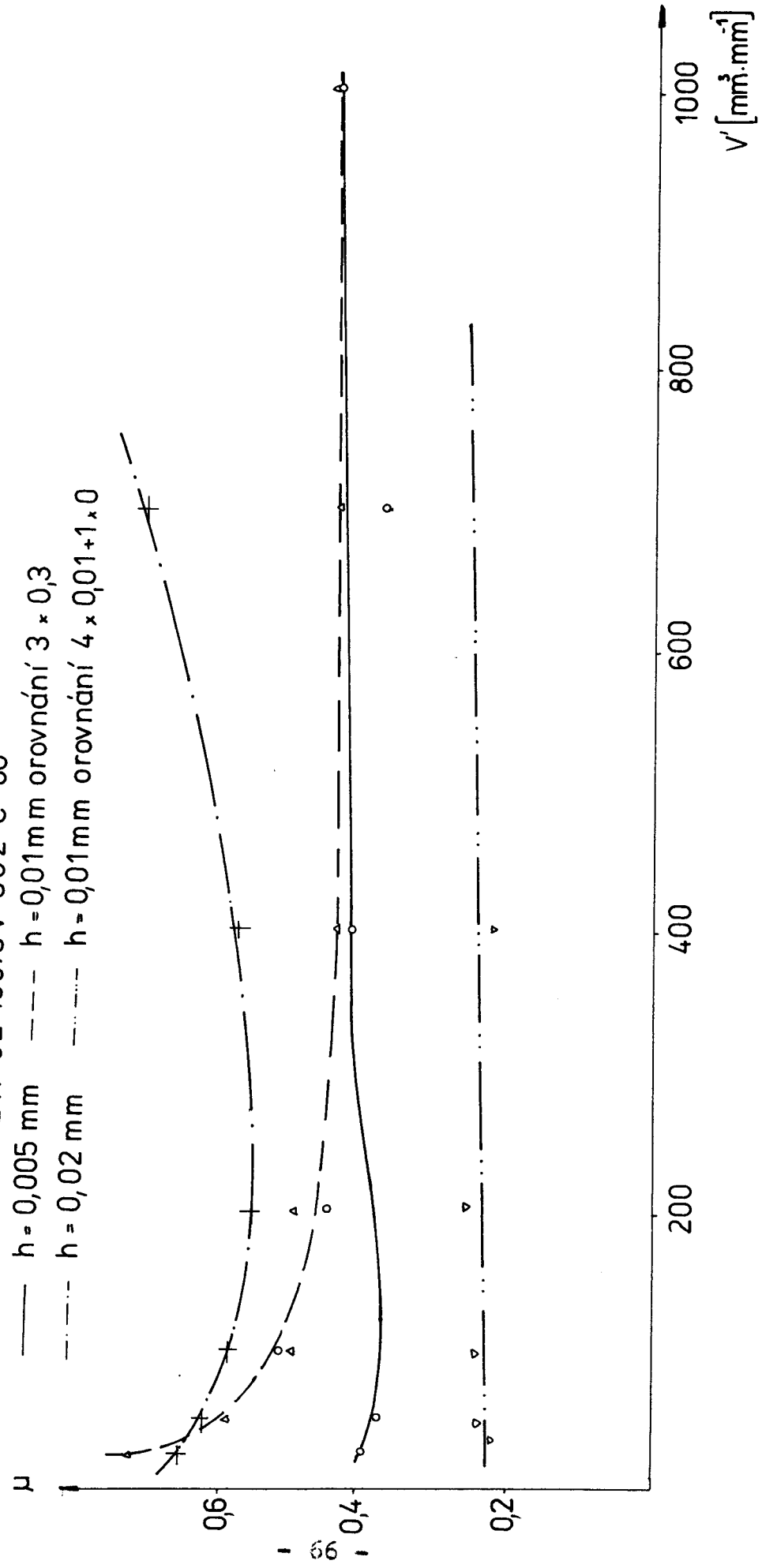




Obr. 44. Vliv přísuvu na proces broušení

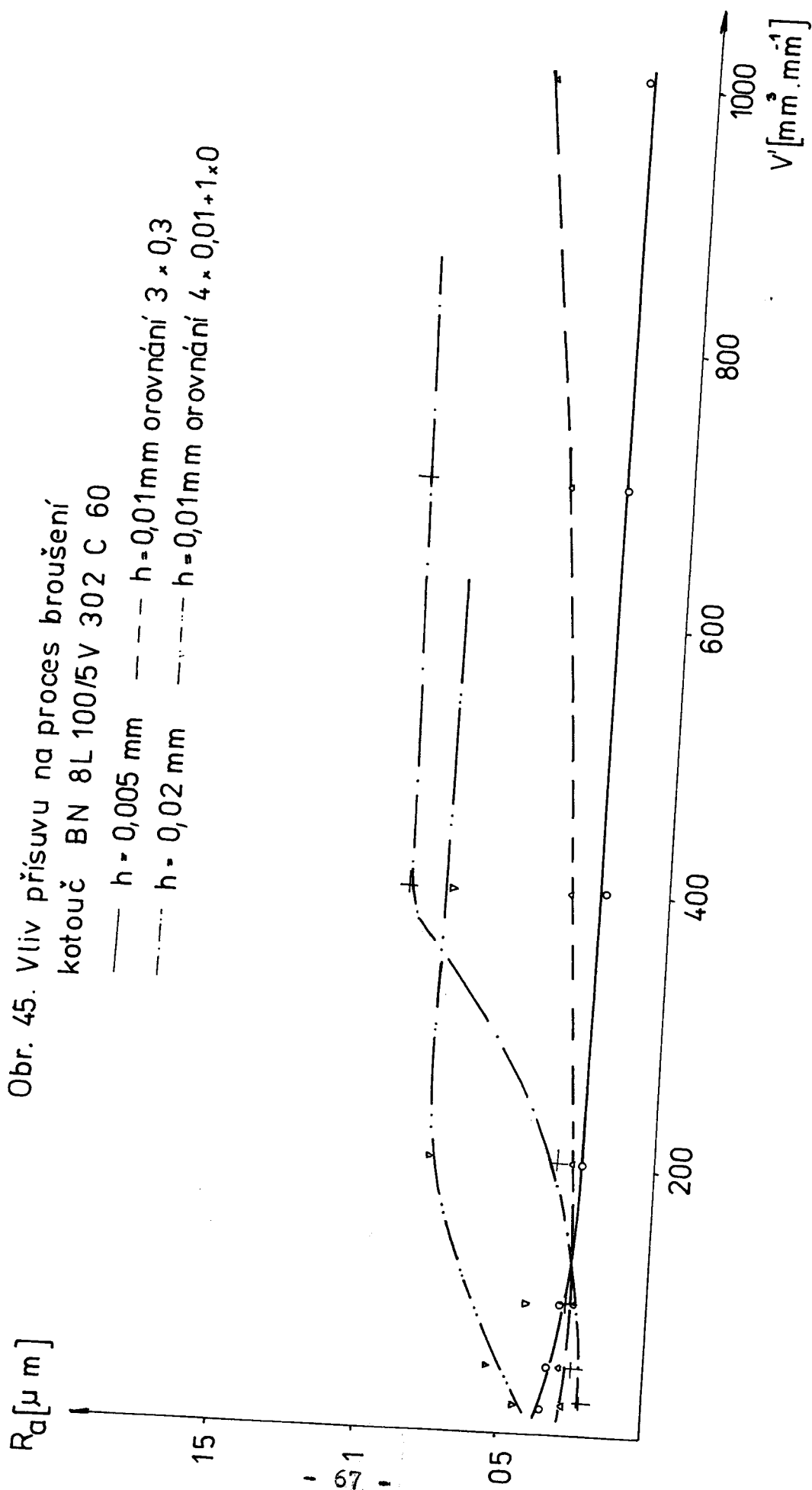
kotouč BN 8L 100/5V 302 C 60

- $h = 0,005 \text{ mm}$ --- $h = 0,01 \text{ mm}$ orovnění $3 \times 0,3$
 - - - $h = 0,02 \text{ mm}$ - · - · - $h = 0,01 \text{ mm}$ orovnění $4 \times 0,01 + 1 \times 0$

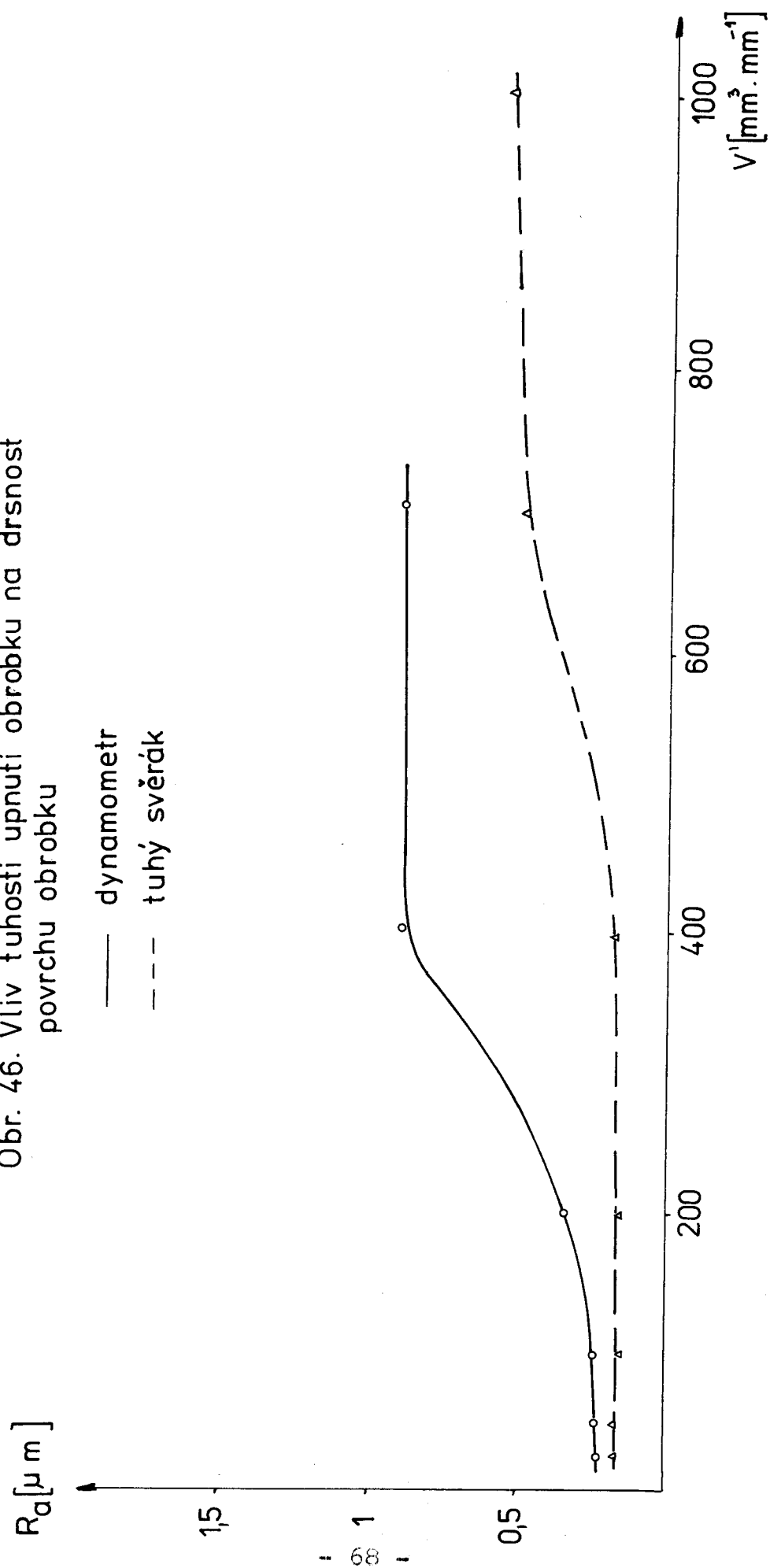


Obr. 45. Vliv přísluvu na proces broušení
kotouč BN 8L 100/5V 302 C 60

— $h = 0,005 \text{ mm}$ --- $h = 0,01 \text{ mm}$ orovnění $3 \times 0,3$
 - - - $h = 0,02 \text{ mm}$ - · - $h = 0,01 \text{ mm}$ orovnění $4 \times 0,01 + 1 \times 0$

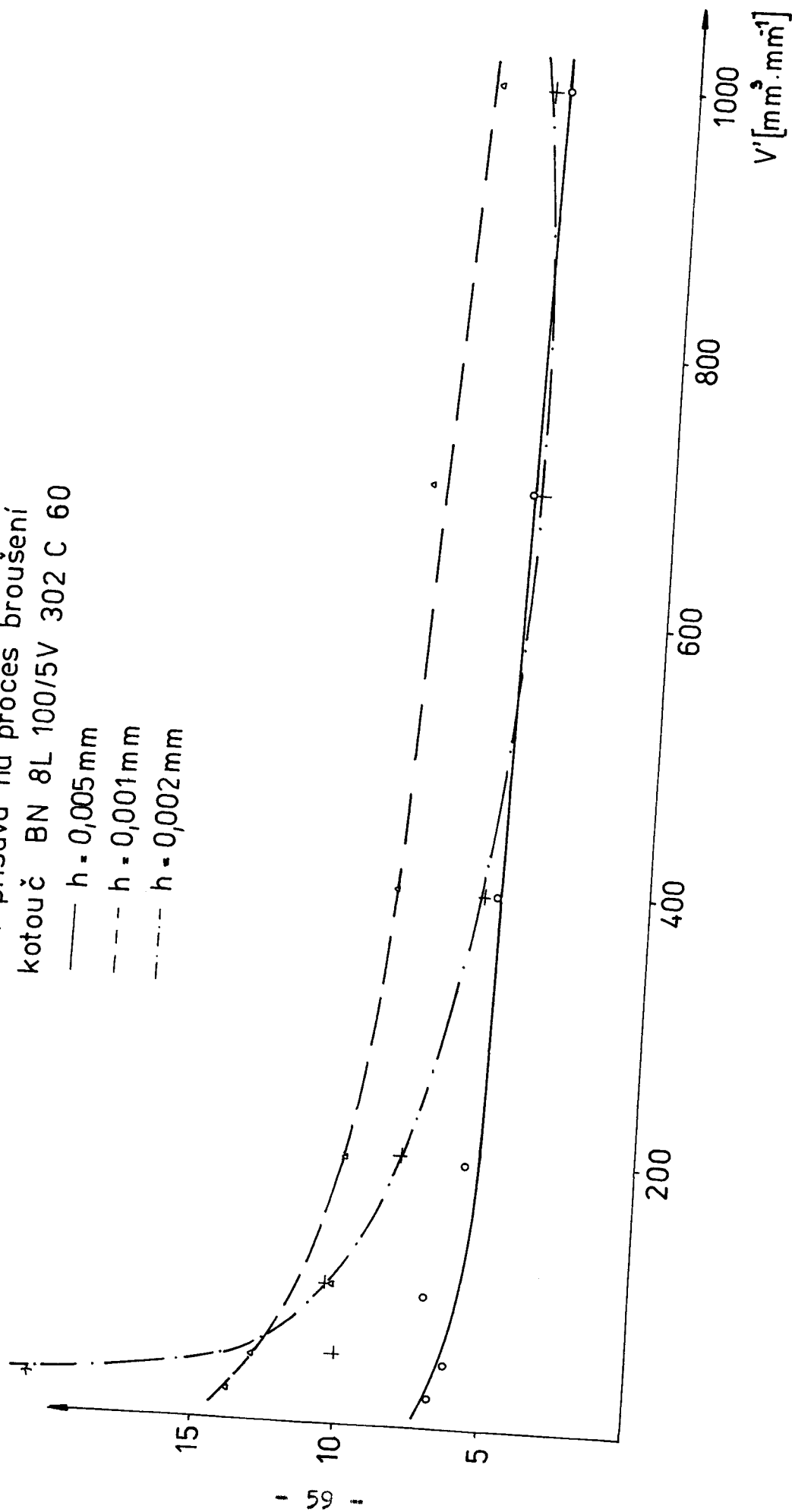


Obr. 46. Vliv tuhosti upnutí obrobku na drsnost povrchu obrobku



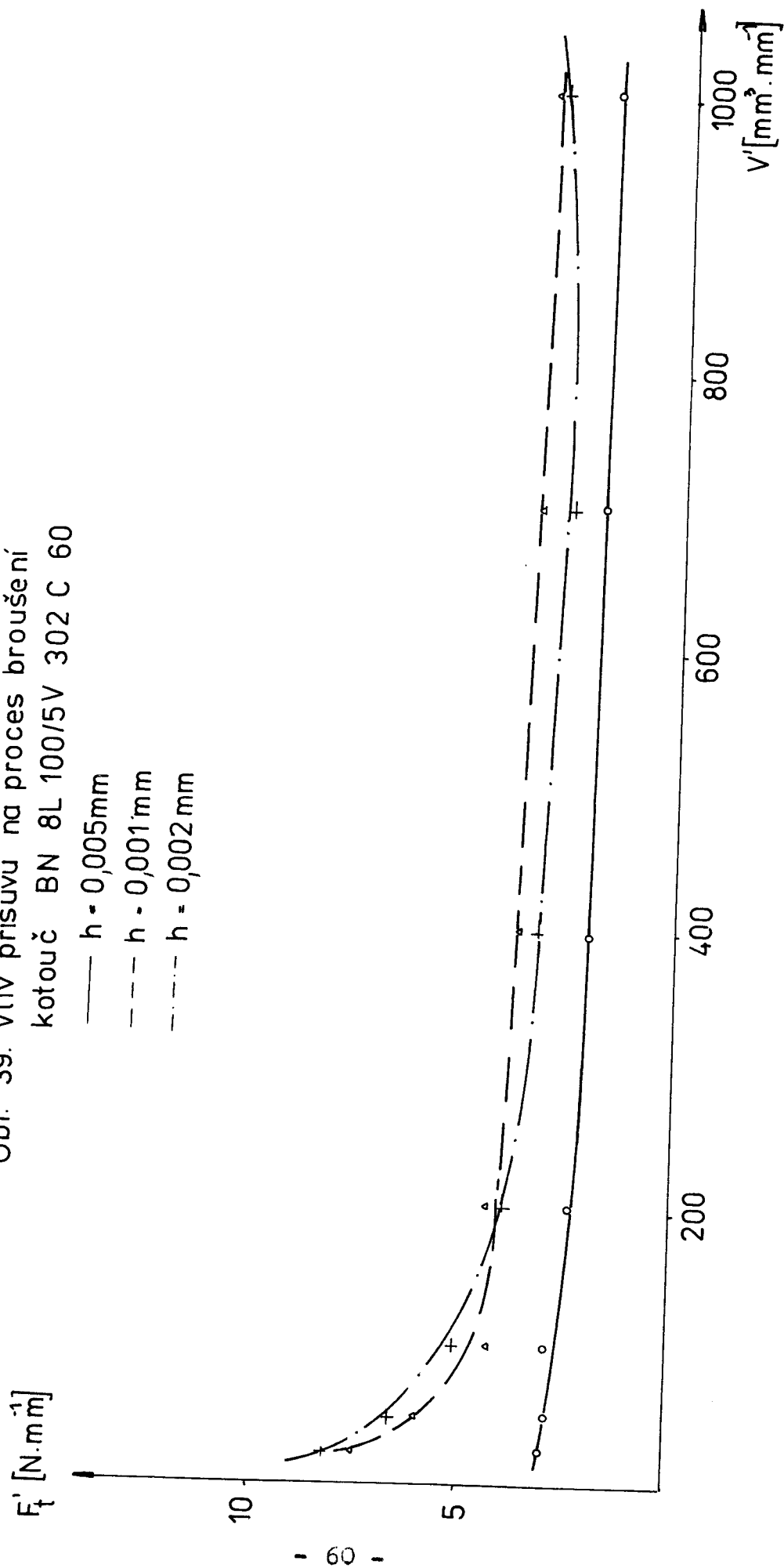
F'_H [N.m²]

Obr. 38. Vliv přísuvu na proces broušení
kotouč BN 8L 100/5V 302 C 60
— $h = 0,005$ mm
-- $h = 0,001$ mm
- · - $h = 0,002$ mm

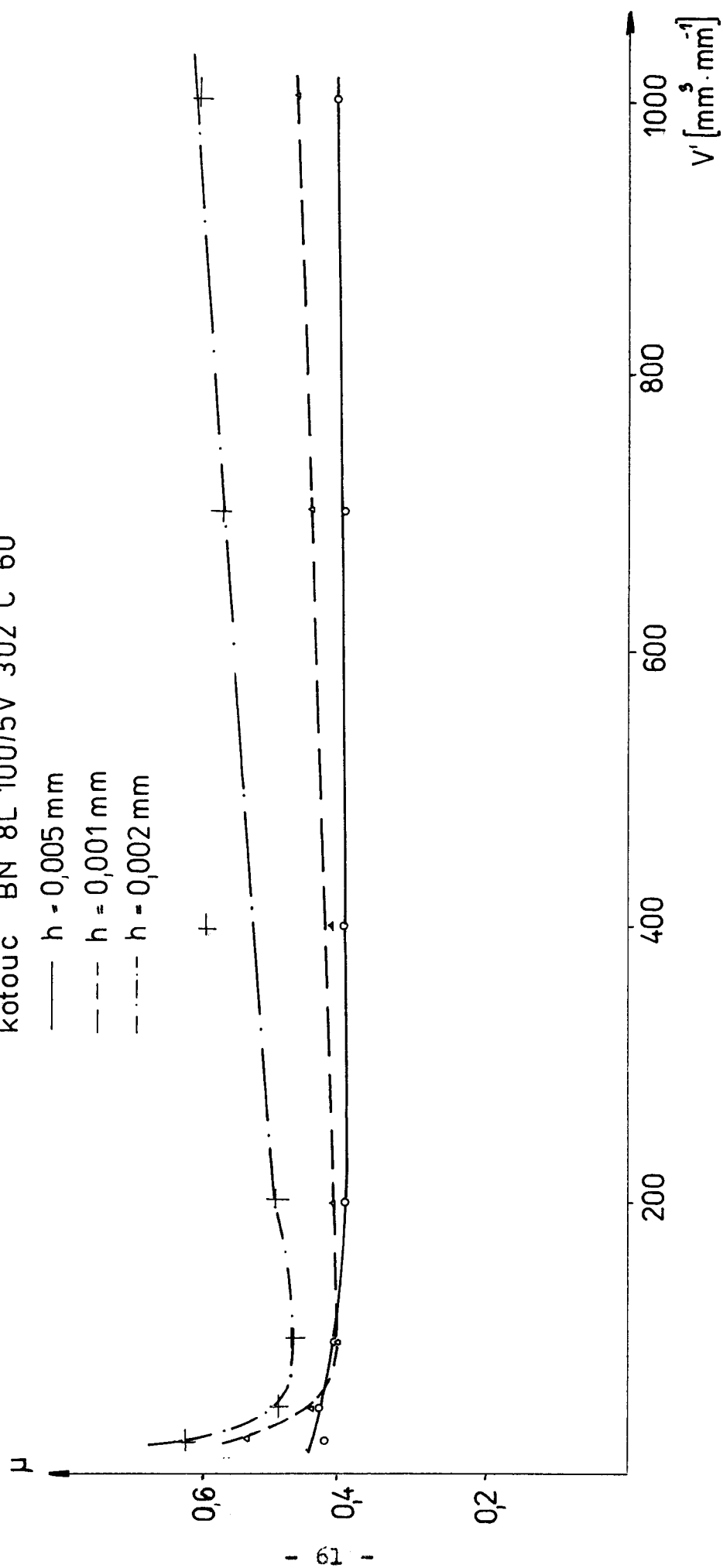


Obr. 39. Vliv přísluvu na proces broušení
 kotouč BN 8L 100/5V 302 C 60

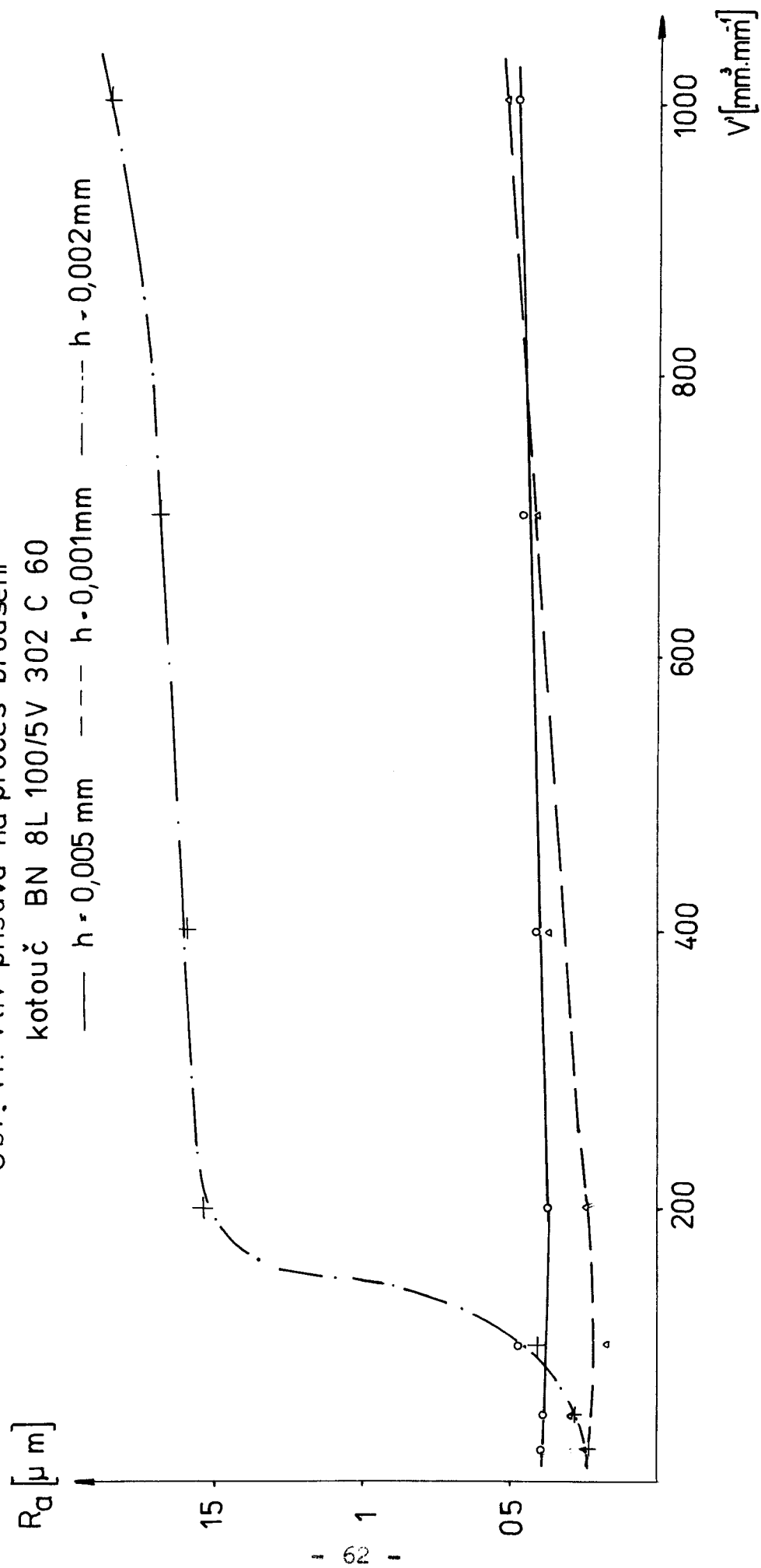
- $h = 0,005\text{mm}$
- - - $h = 0,001\text{mm}$
- · - $h = 0,002\text{mm}$

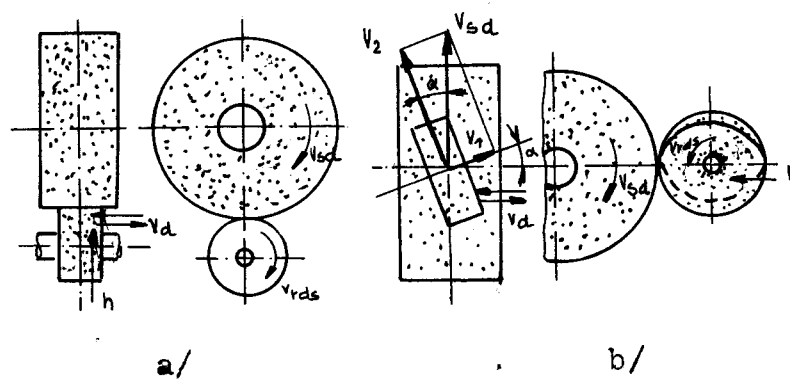


Obr. 40. Vliv přísuvu na proces broušení
kotouč BN 8L 100/5V 302 C 60



Obr. 41. Vliv přísuvu na proces broušení
kotouč BN 8L 100/5V 302 C 60



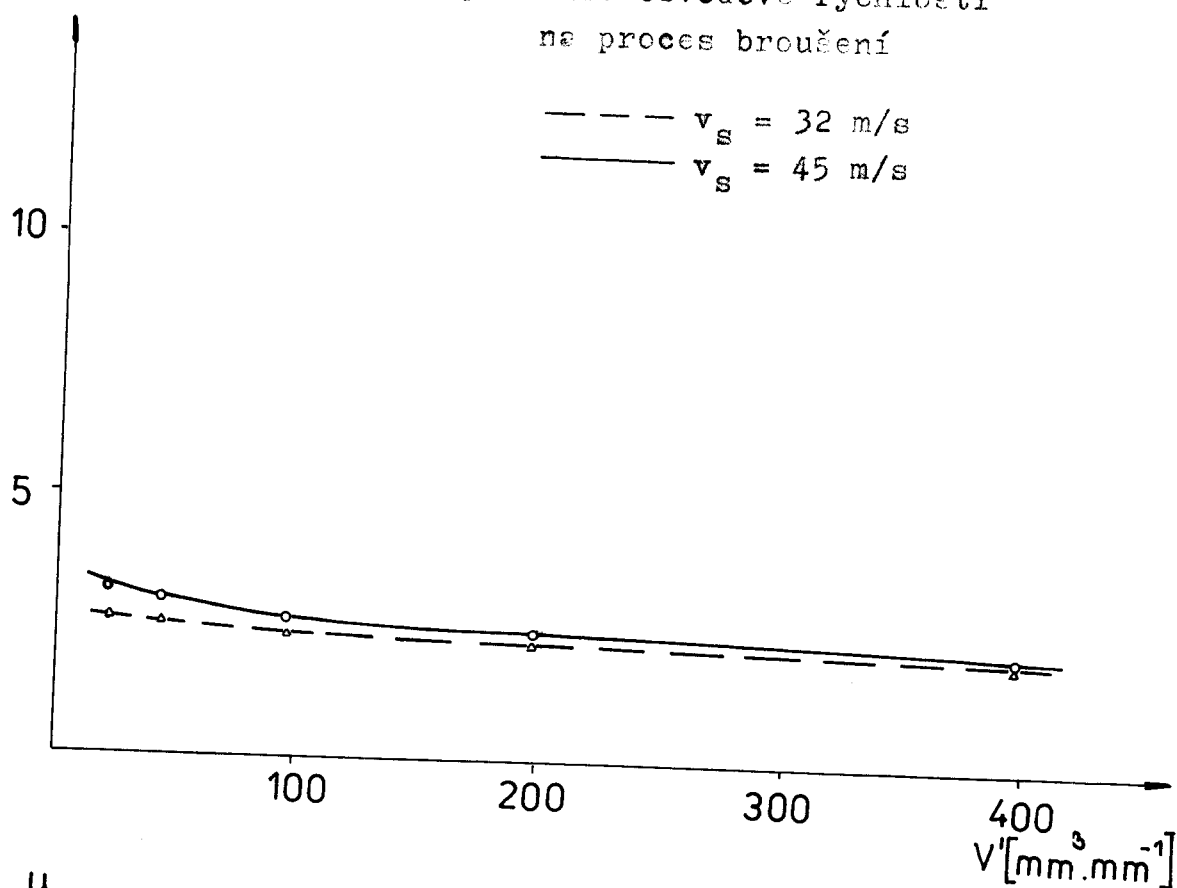


Obr. 37. Orovnávání bez použití diamantu

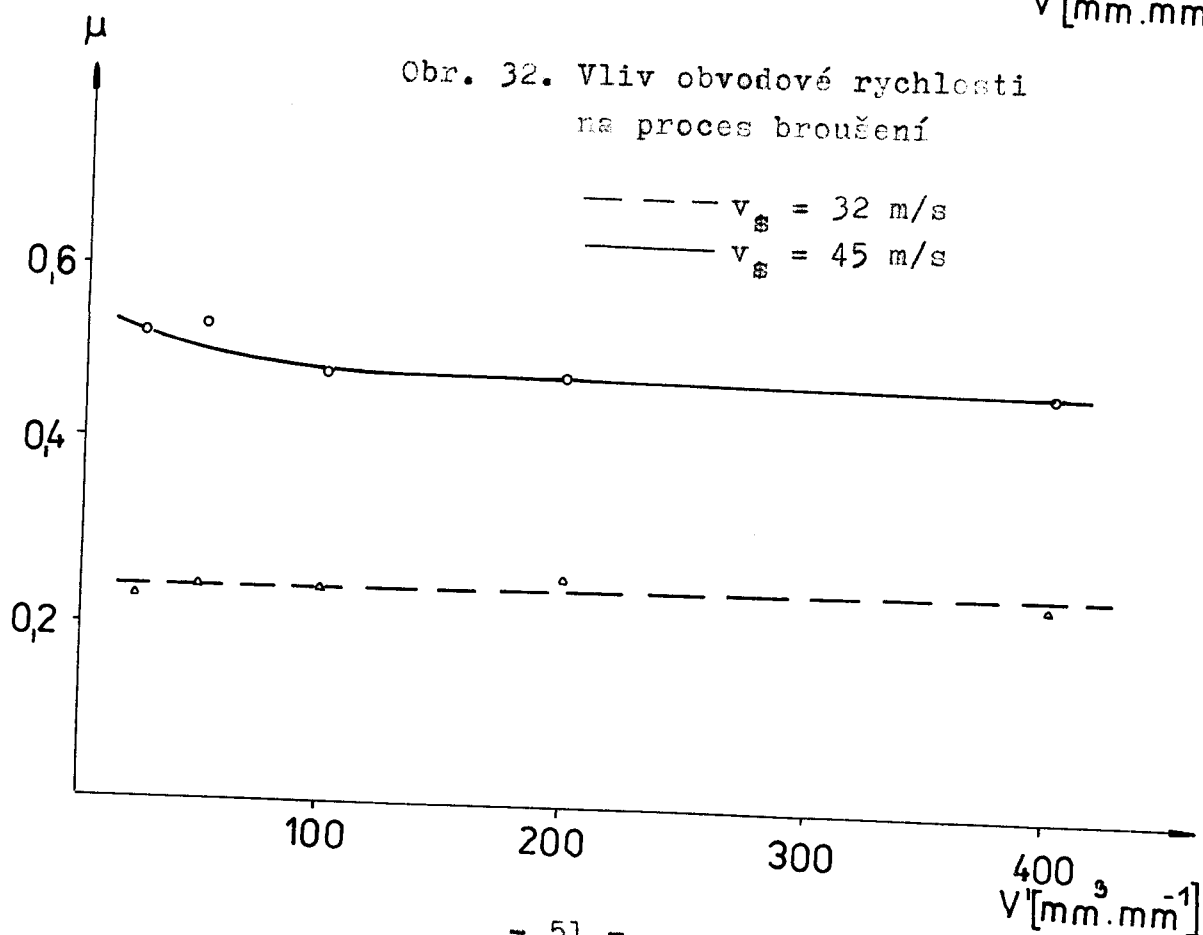
- a - obrušováním
- b - odvalováním

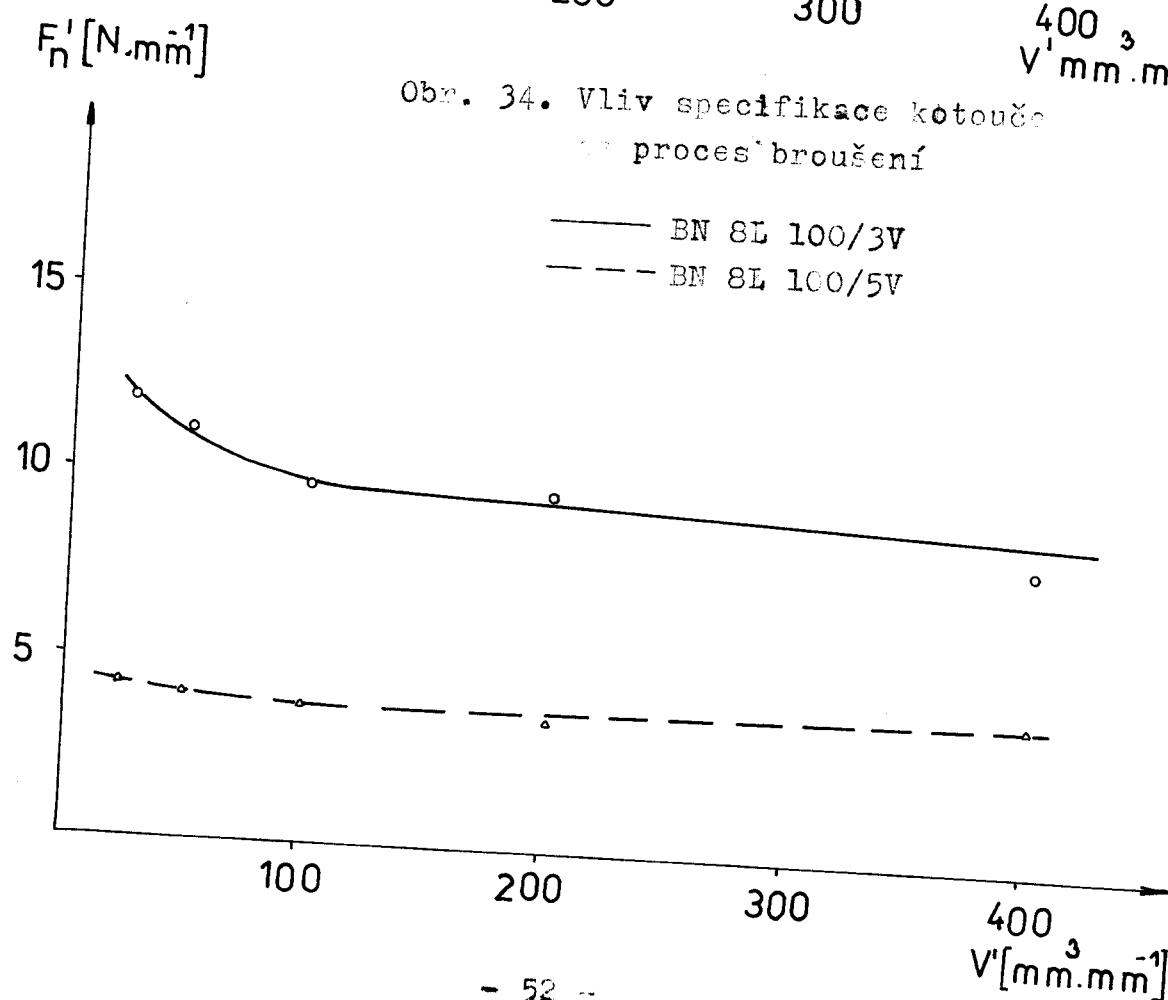
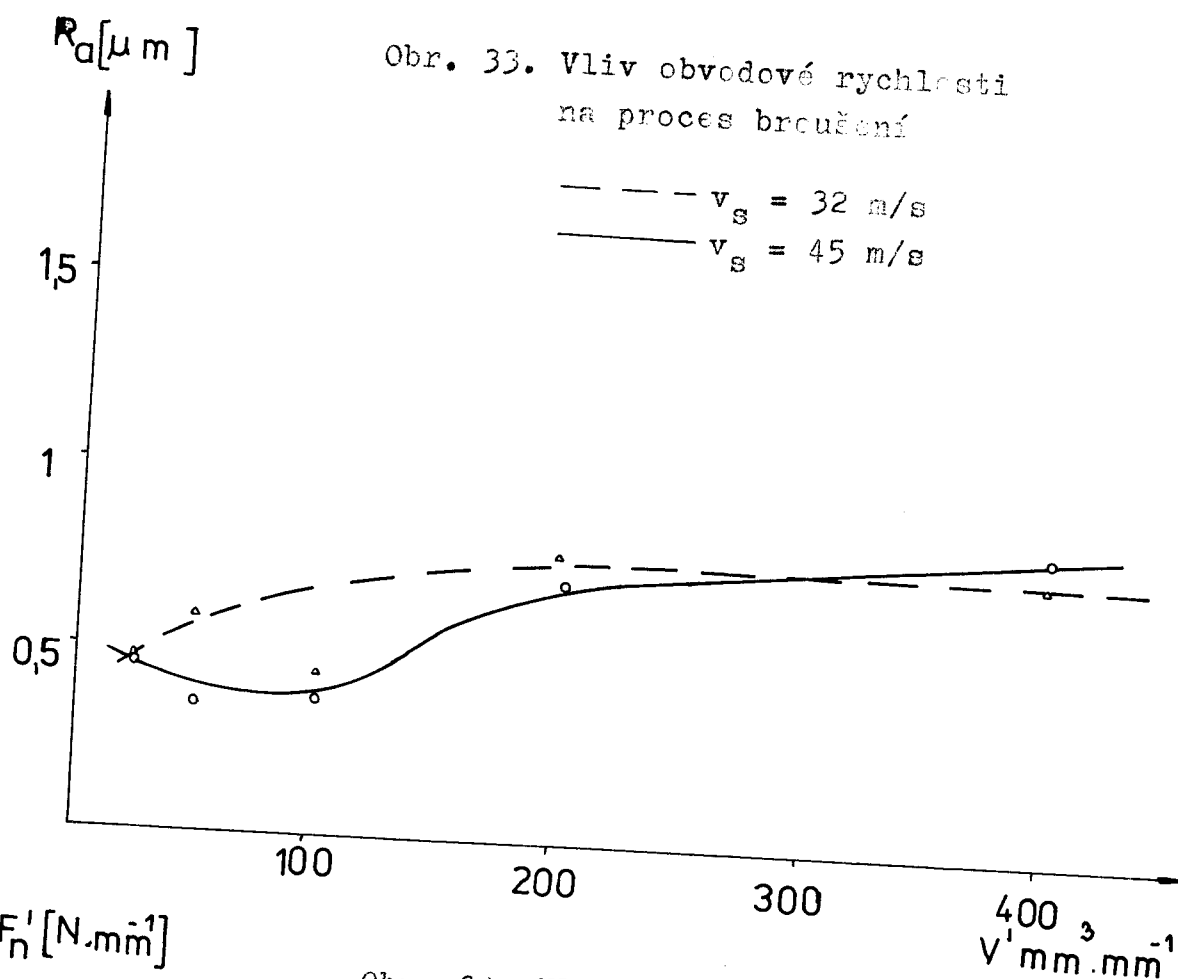
$F_t' [N.mm^{-1}]$

Obr. 31. Vliv obvodové rychlosti
na proces broušení



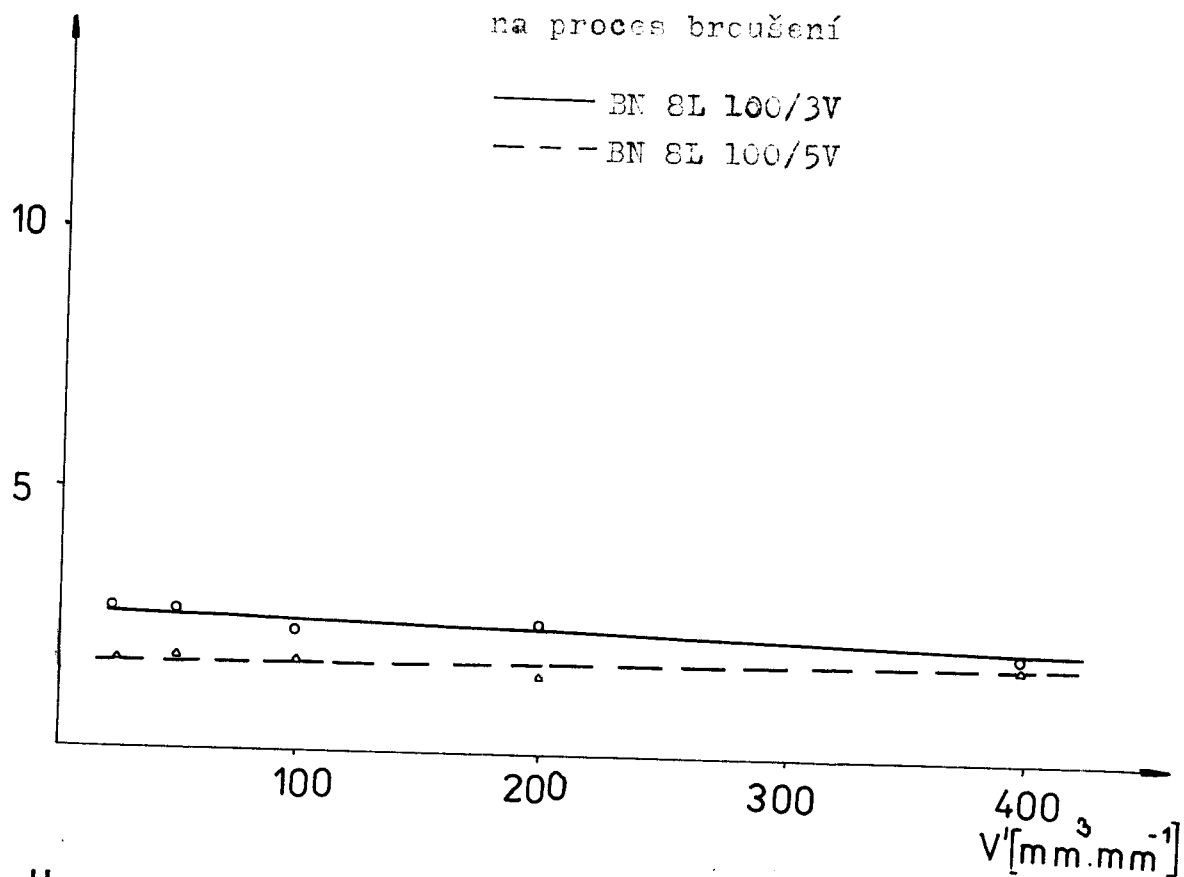
Obr. 32. Vliv obvodové rychlosti
na proces broušení





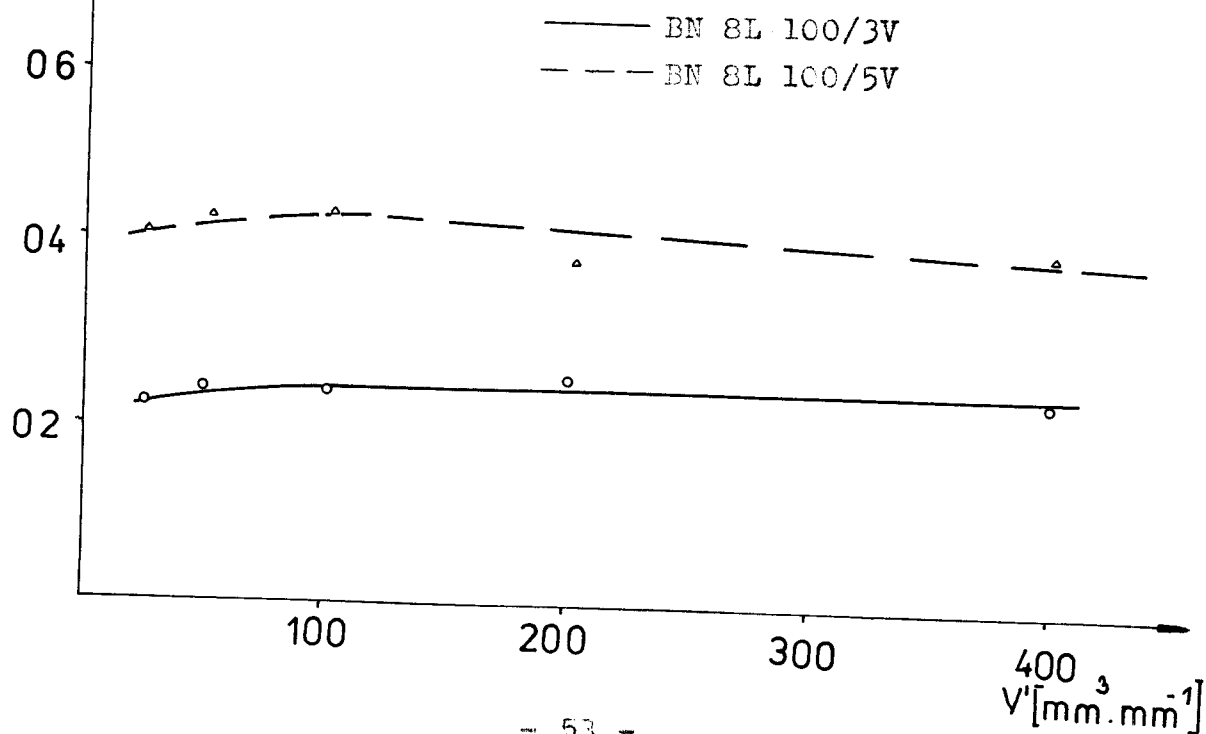
$F_t' [N \cdot mm^{-1}]$

Obr. 35. Vliv specifikace kotouče
na proces broušení



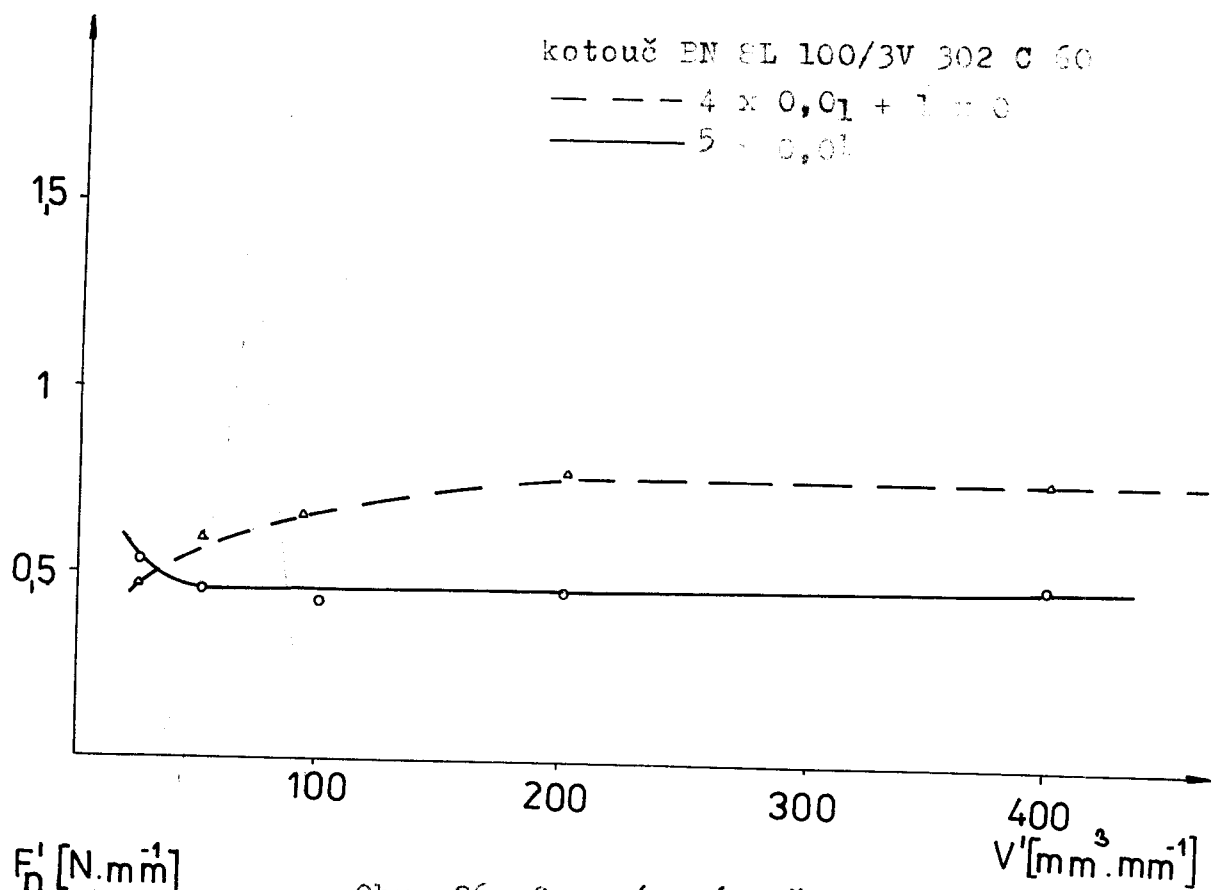
μ

Obr. 36. Vliv specifikace kotouče
na proces broušení



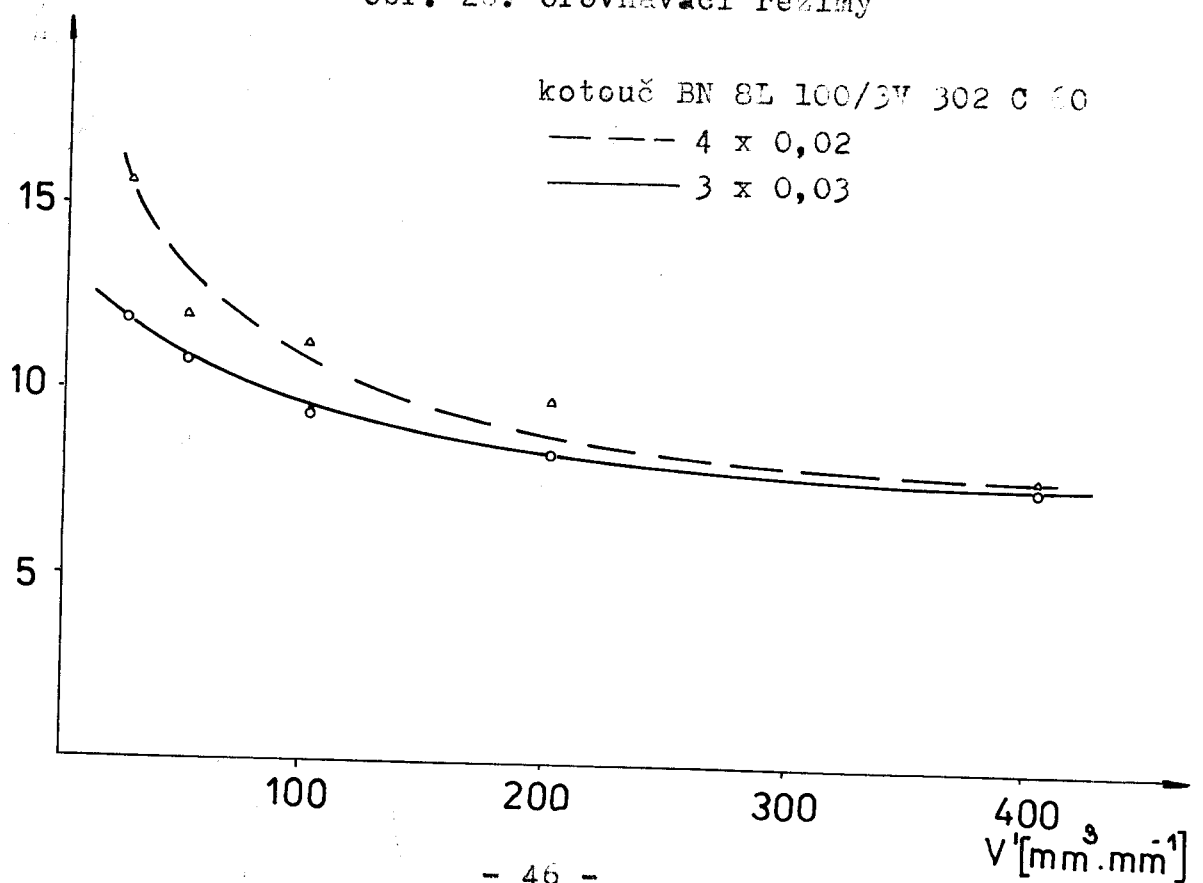
$R_a [\mu m]$

Obr. 25. Orovnávací režim



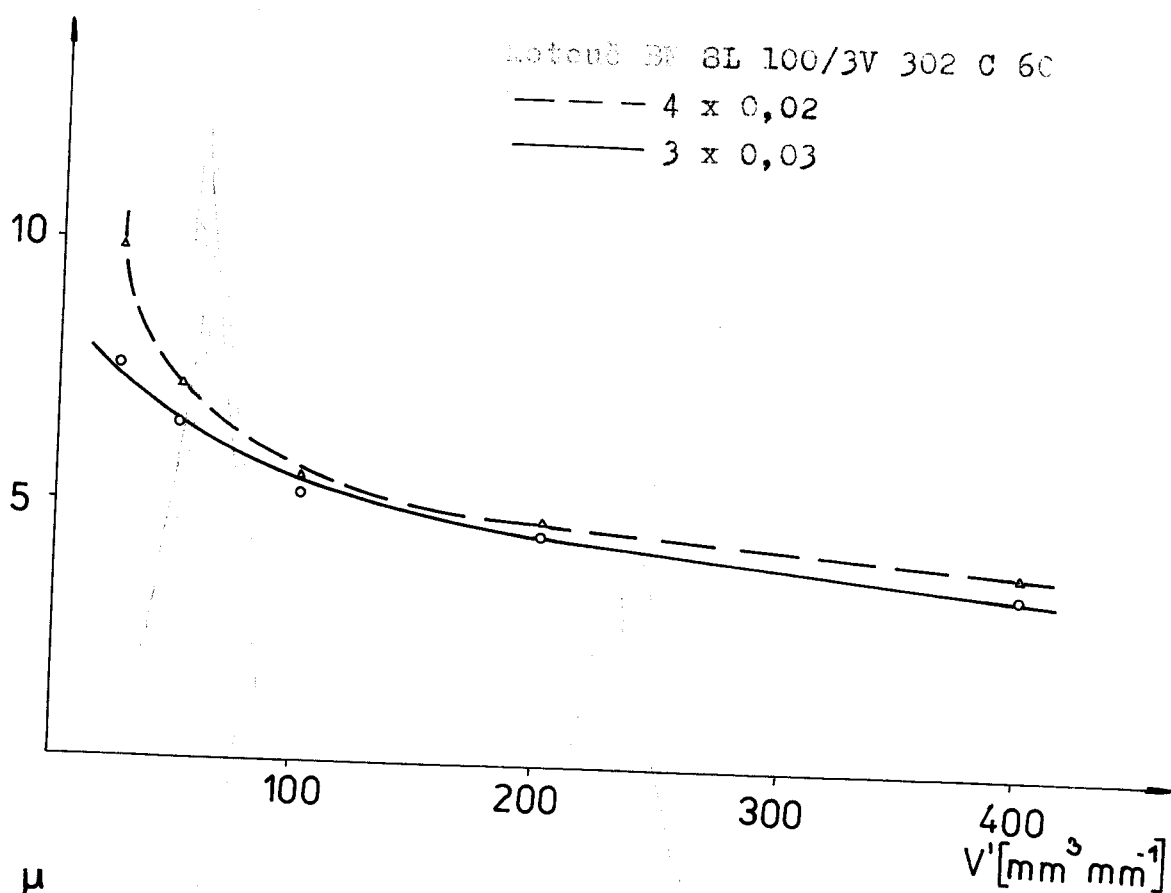
$F_n' [N \cdot mm^{-1}]$

Obr. 26. Orovnávací režimy



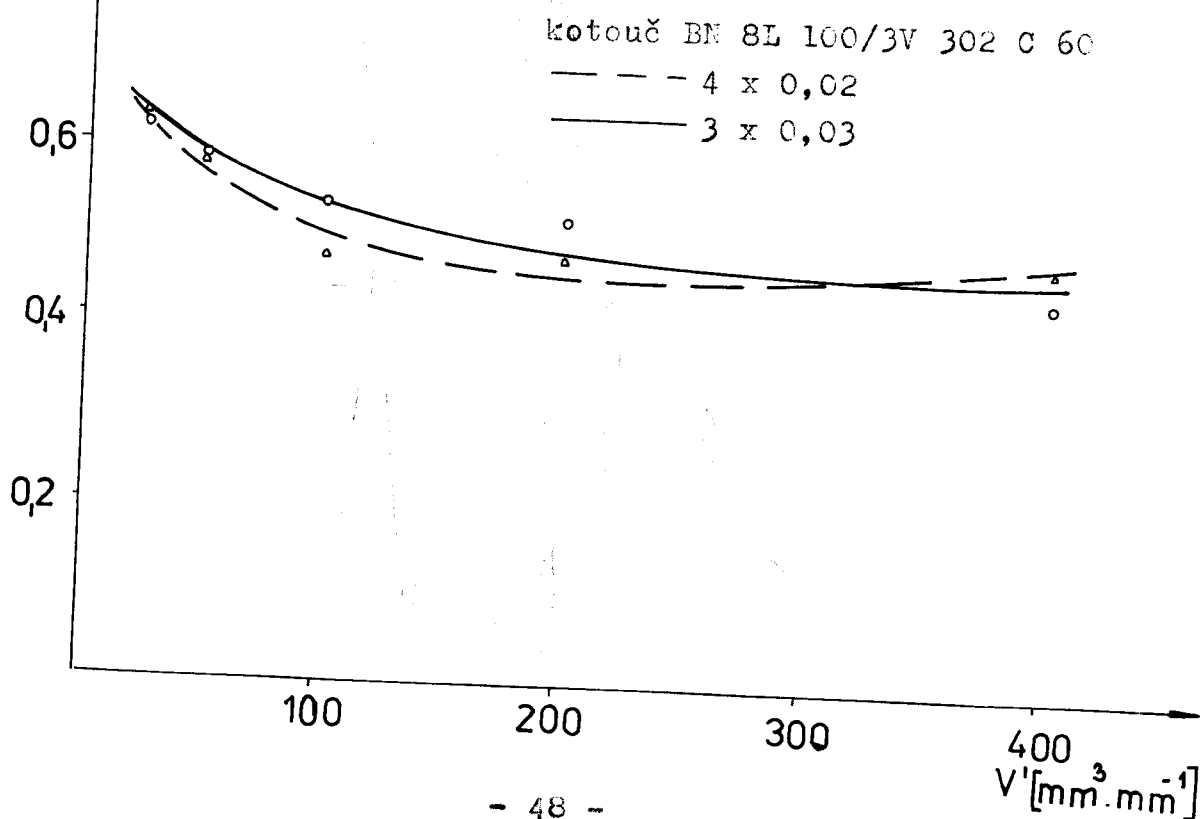
$F_t' [N \cdot mm^{-1}]$

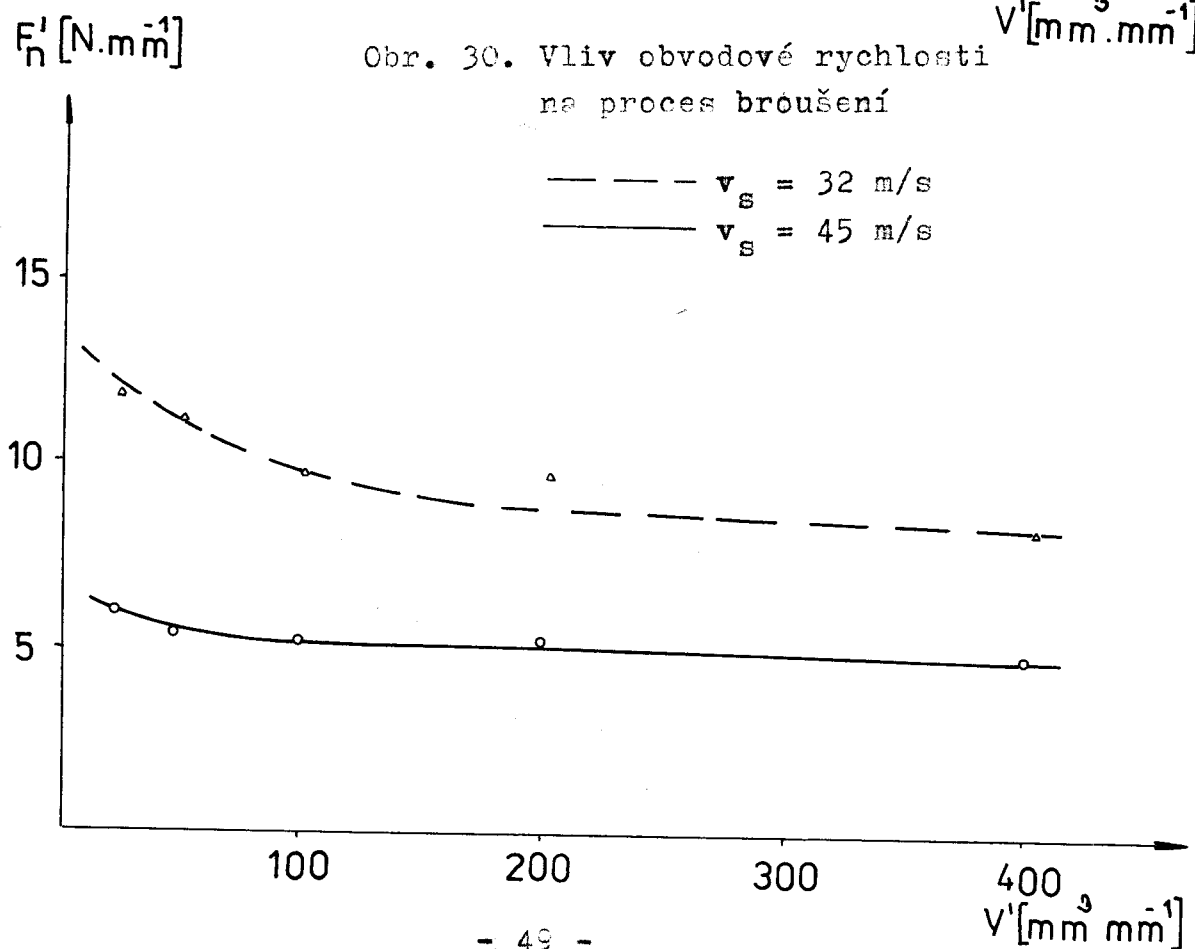
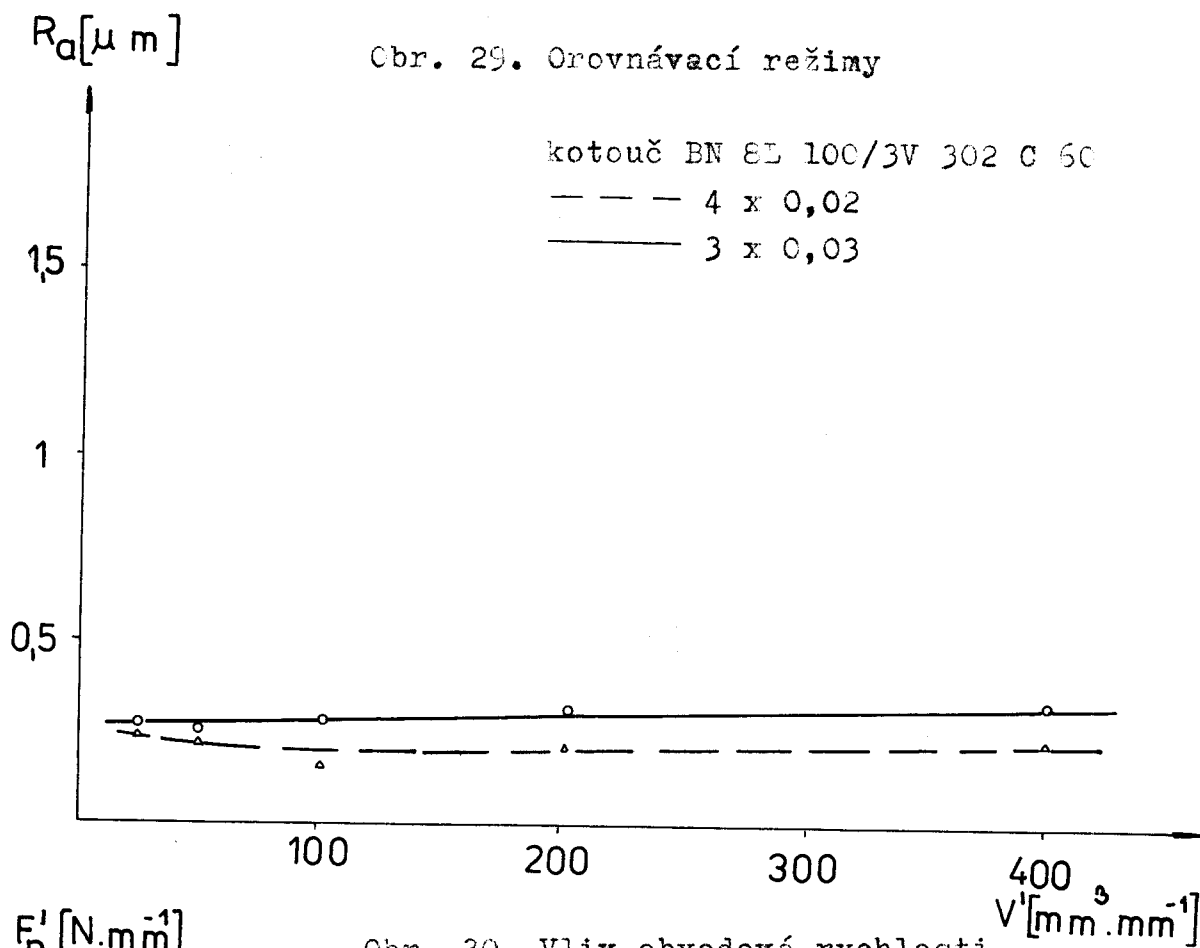
Obr. 27. Orovnávací režimy



μ

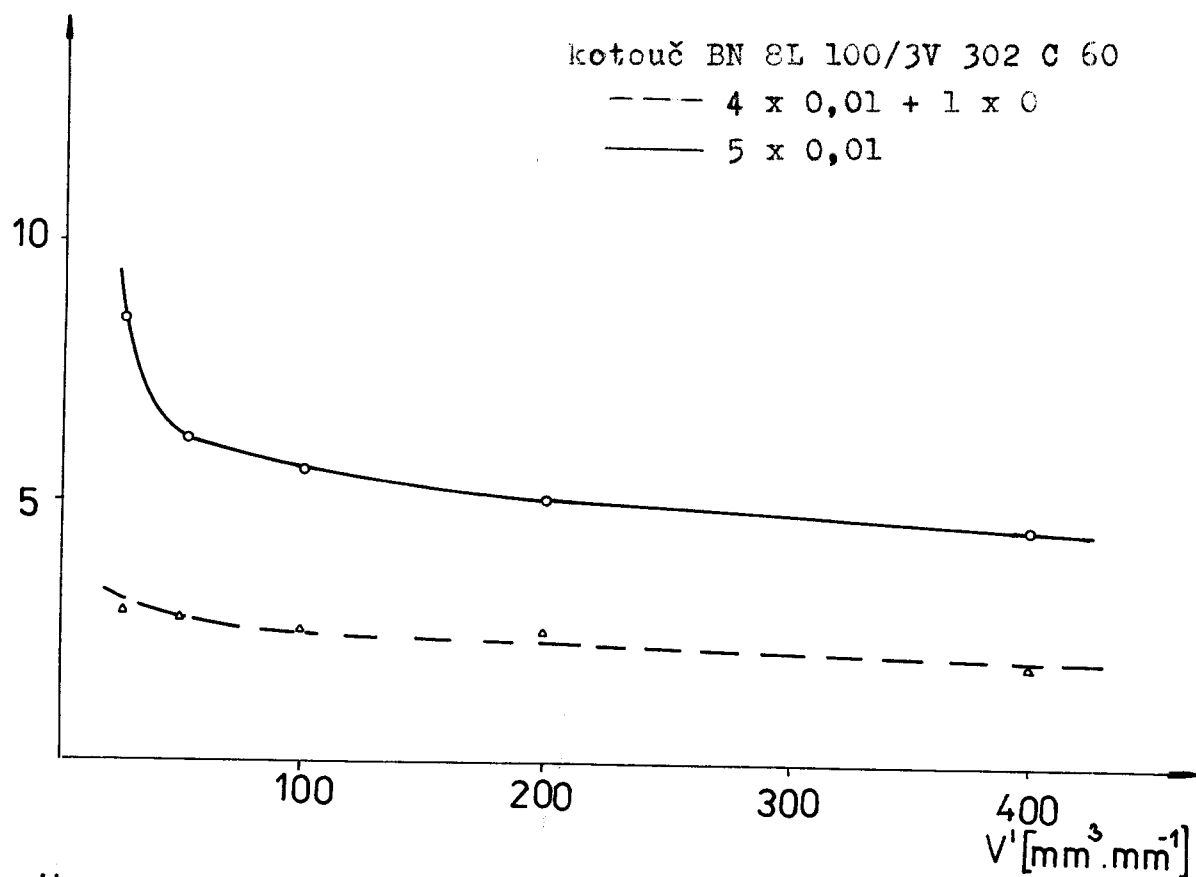
Obr. 28. Orovnávací režimy





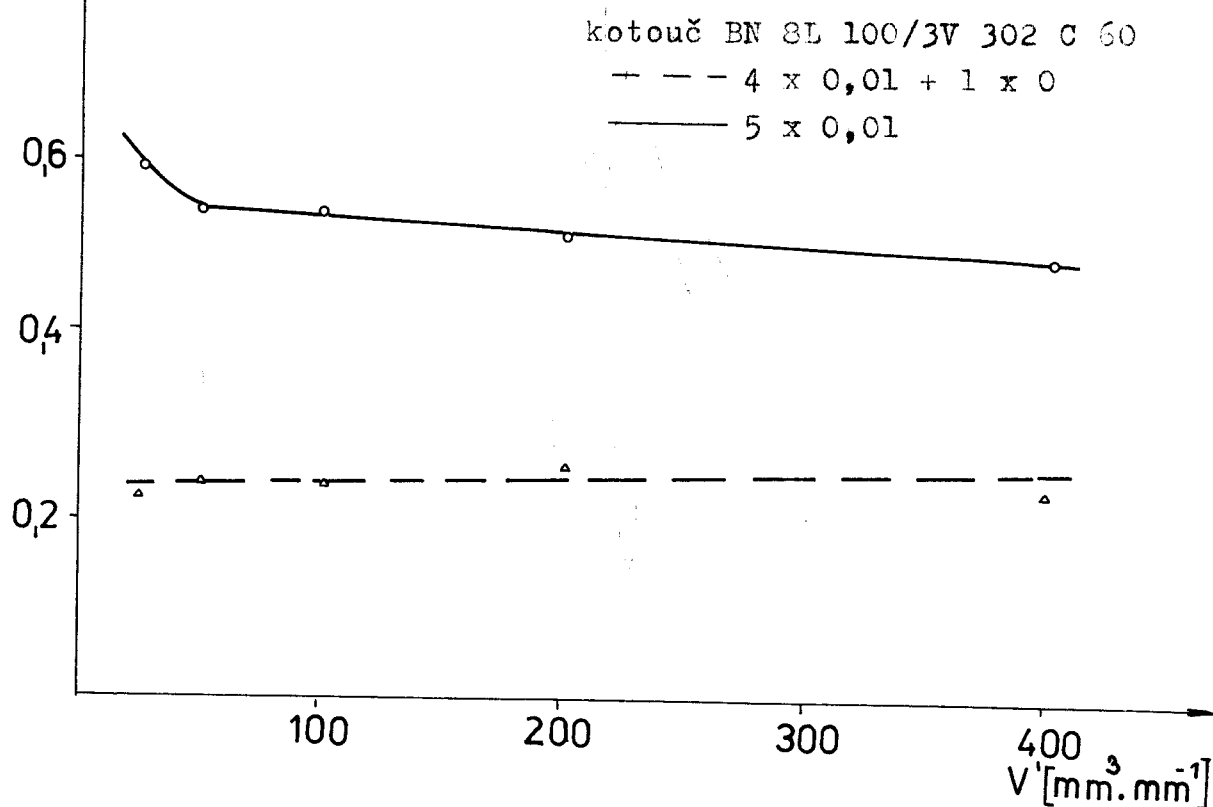
$F_t' [N \cdot mm^{-1}]$

Obr. 23. Orovnávací režimy

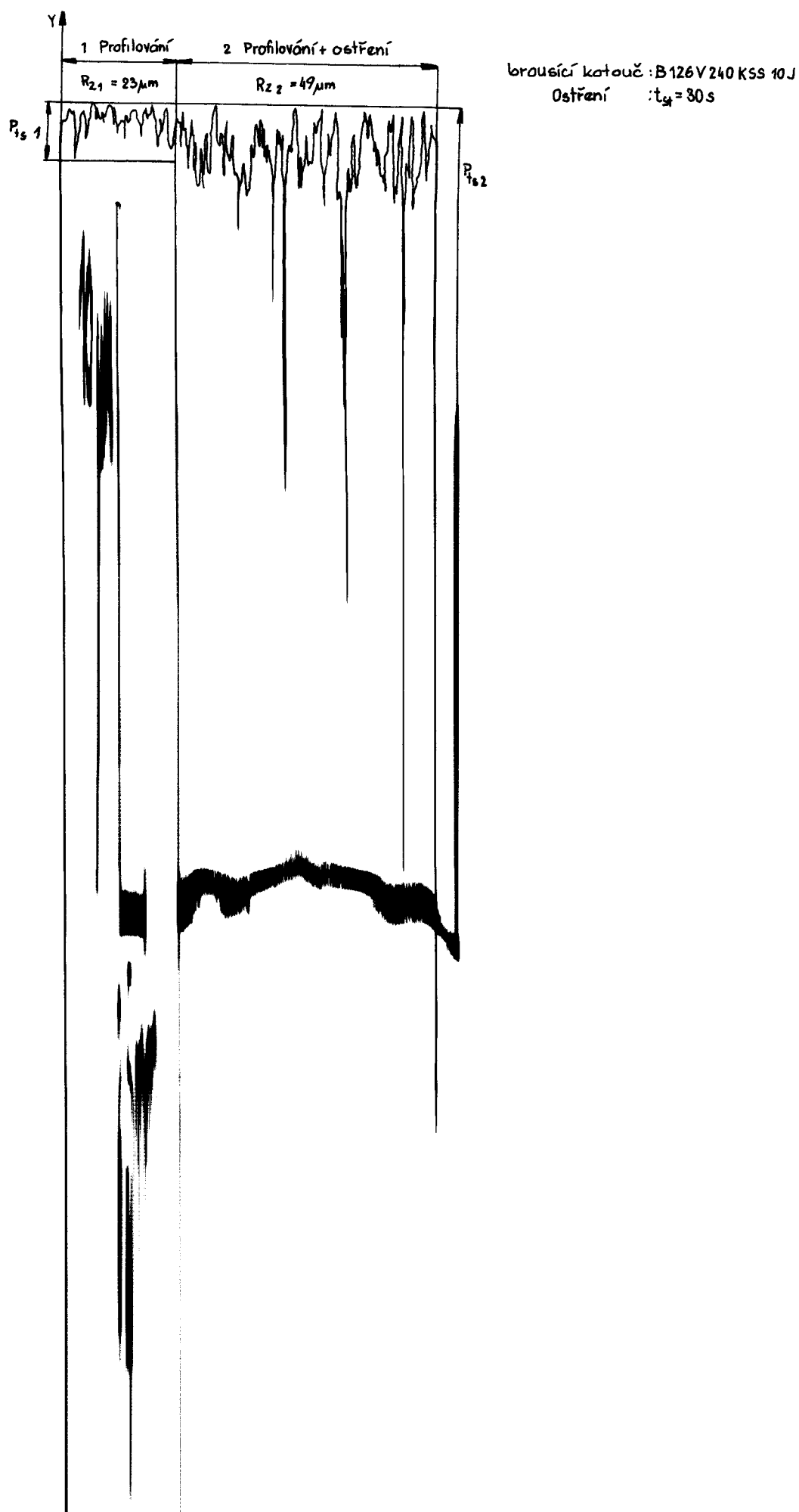


μ

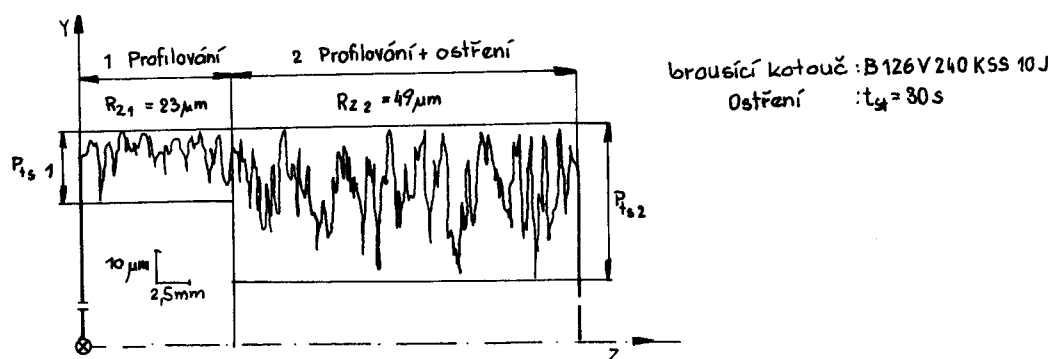
Obr. 24. Orovnávací režimy



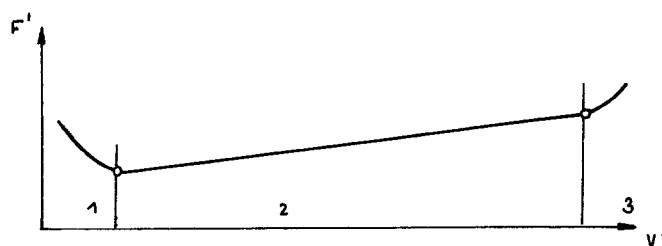
Obr. 20. Diagram brousícího kotouče ostřené tryskáním



Obr. 20. Diagram brousícího kotouče ostřerého tryskáním

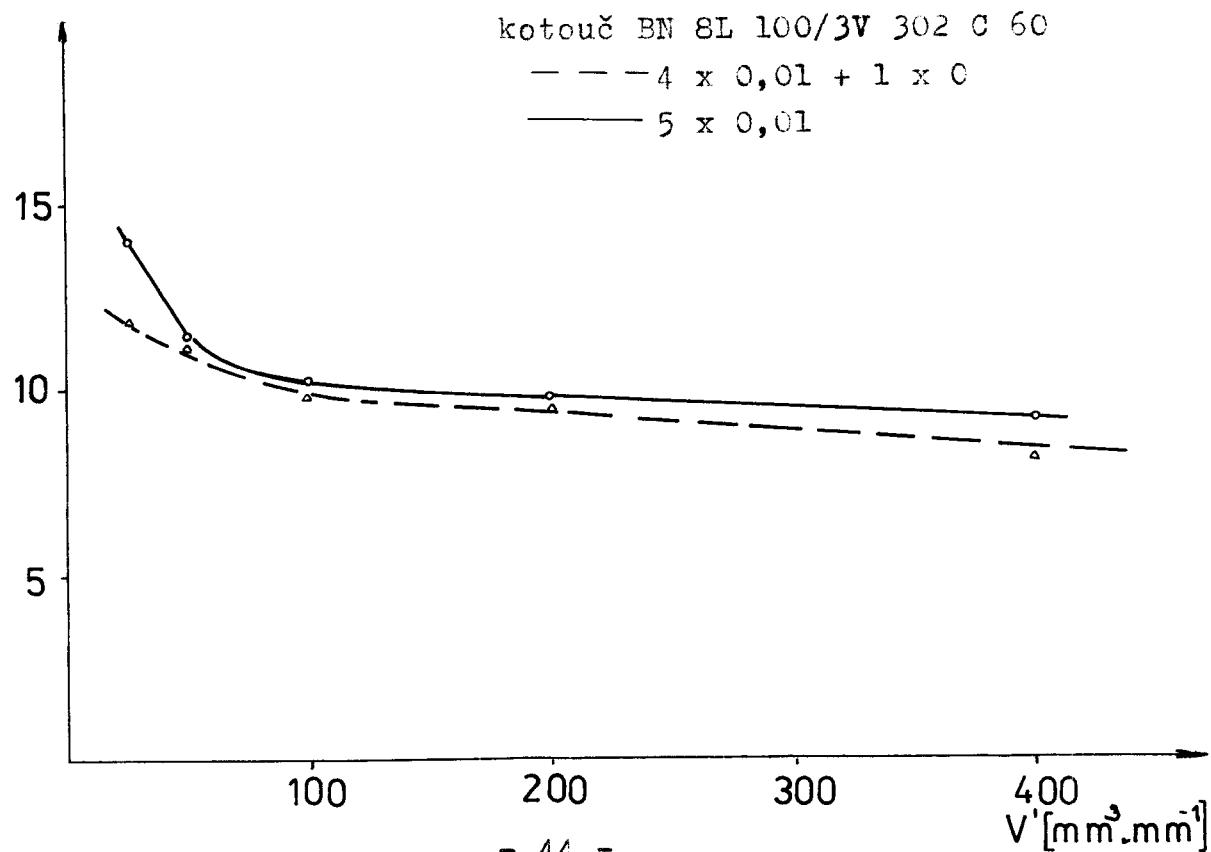


Obr. 21. Změny řezné síly v procesu broušení

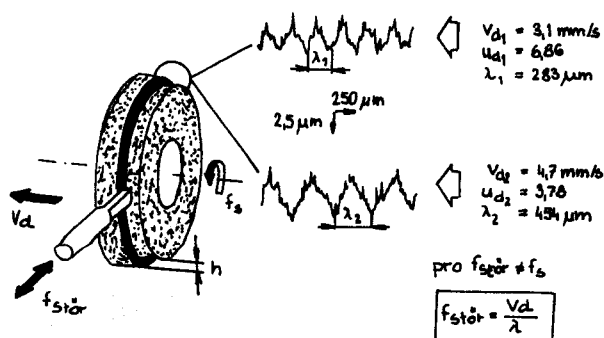


$F'_n [\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}]$

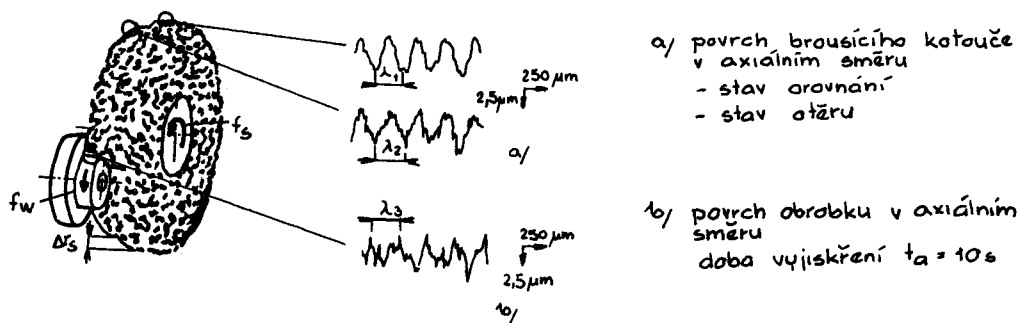
Obr. 22. Orovnávací režimy



Obr. 16. Axiální vlnitost brousícího kotouče vzniklá kmitáním při orovnáání

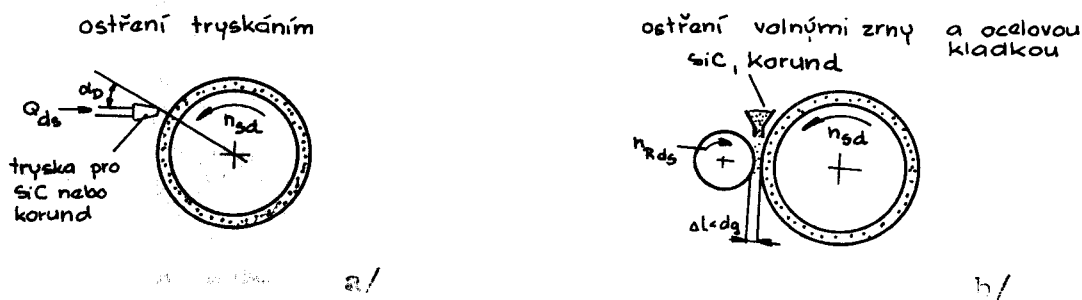


Obr. 17. Vliv kmitů při orovnáání na topografii kotouče a drsnost

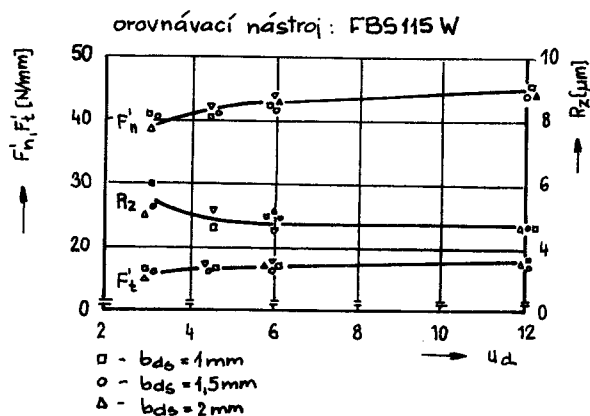


úběr za čas : $Z = 1 \text{ mm}^3/\text{mm.s}$
 objem úběru : $V_w = 400 \text{ mm}^3/\text{min}$
 stupeň překrytí : $u_d = 4,67$
 přísuv při orovnáání : $h = 30 \text{ μm}$
 rychlost posuvu při orovnáání : $v_d = 3,72 \text{ mm/s}$

Obr. 18. Způsoby ostření KNB a diamantových kotoučů



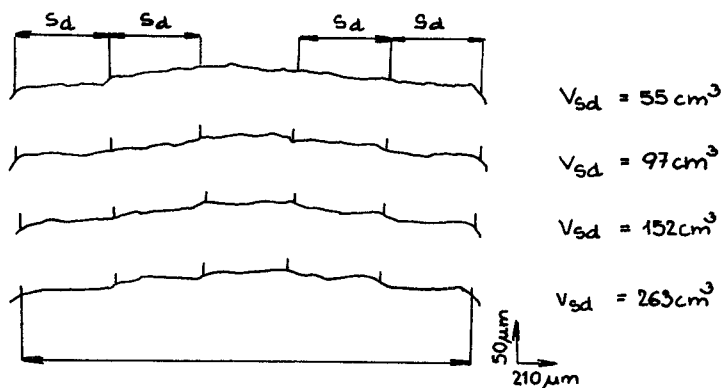
Obr. 13. Závislost řezných sil na podmínkách orovnění



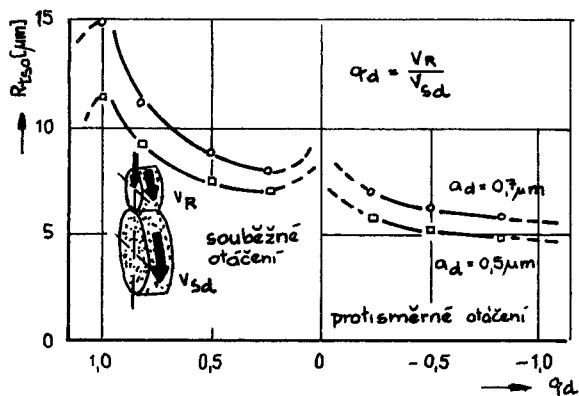
úběr za čas : $Z = 2\text{ mm}^3/\text{mm.s}$
objem úběru : $V_w = 50\text{ mm}^3/\text{mm}$
materiál :
S 6-5-2 /60 HRC/
chladicí kapalina :
emulze 3 %
brousící kotouč :
EKw 90/2 H 7 Ke 5111

řezná rychlost : $v_s = 30\pi/\text{s}$
rychlost obrobku : $v_t = 100\text{ mm/s}$

Obr. 14. Změny činného profilu vícezrnného diamantu



Obr. 15. Vliv rychlostních poměrů a přísuvu při orovňování na výslednou drsnost

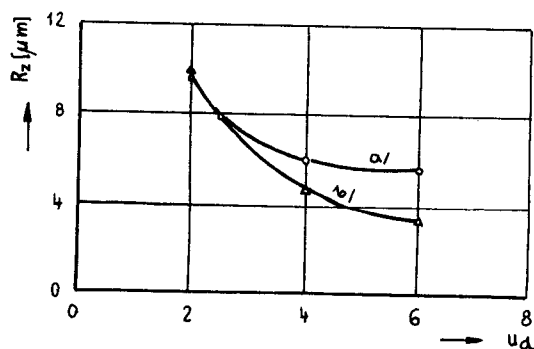


brousící kotouč
orovňovací nástroj

: EK 60 K 8 ke
: diamantová kladka
/D 700/7,5 /

řezná rychlost při orovňování: $v_{sd} = 30\text{ m/s}$

Obr. 11. Dřsnost obrobku v závislosti na zrněří kotouče a orovnávacích podmínkách



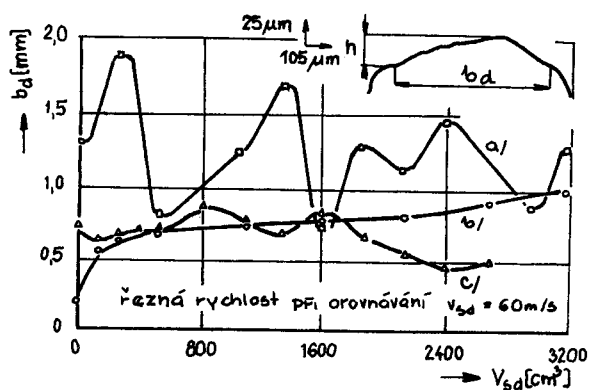
brousící kotouče :

a/ EK 60K 8 ke

b/ EK 120K 8 ke

u_d : 0k 45 N
 chladicí kapalina : emulze 3 %
 řezná rychlost : $v_s = 45 \text{ m / s}$
 rychlost obrobku : $v_w = 0,75 \text{ m / s}$
 úběr za čas : $Z = 3 \text{ mm}^3 / \text{mm.s}$
 objem úběru : $V_w = 200 \text{ mm}^3 / \text{mm}$
 orovnávací nástroj : orovnávací deska FB 180
 přísuv při orovnání : $h = 30 \text{ μm}$

Obr. 12. Změna činných šířek pro různé nástroje



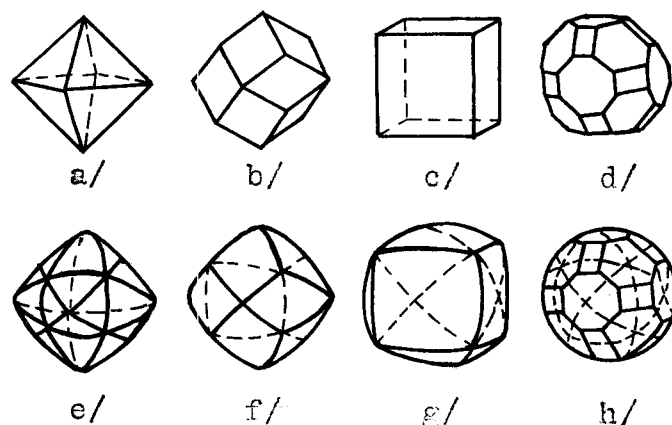
orovnávací nástroje :

a/ vícezrný orovnávač

b/ jednozrný diamant

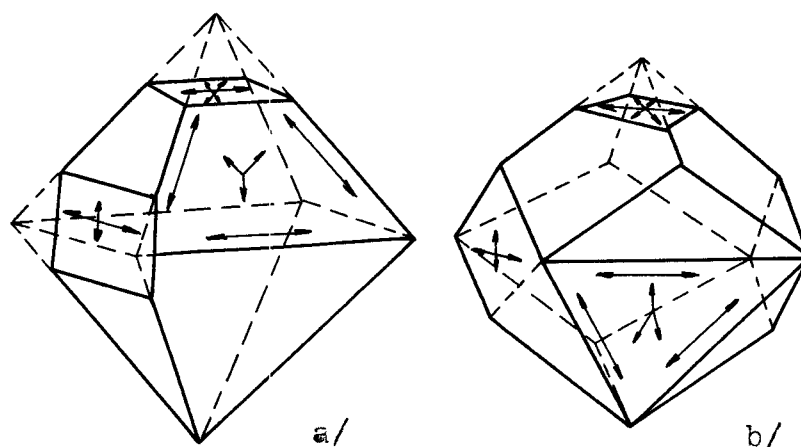
c/ orovnávací deska

Obr. 1. Tvar krystalů přírodního diamantu



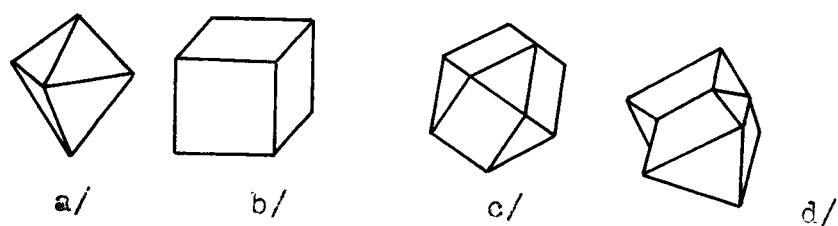
- a - rovnoběžnostěnný osmistěn
- b - kosočtvercový dvanáctistěn
- c - krychlový
- d - kombinovaný s rovinnými stěnami
- e - křivostěnný osmistěn
- f - křivostěnný dvanáctistěn
- g - křivostěnný šestistěn
- h - kombinovaný z tvarů e, f, g

Obr. 2. Rozložení tvrdosti diamantů tvaru osmistěnu a/
a kosočtvercového dvanáctistěnu b/



Dlouhé šipky označují směry největší tvrdosti, krátké směry menší tvrdosti.

Obr. 3. Základní tvary syntetických diamantů



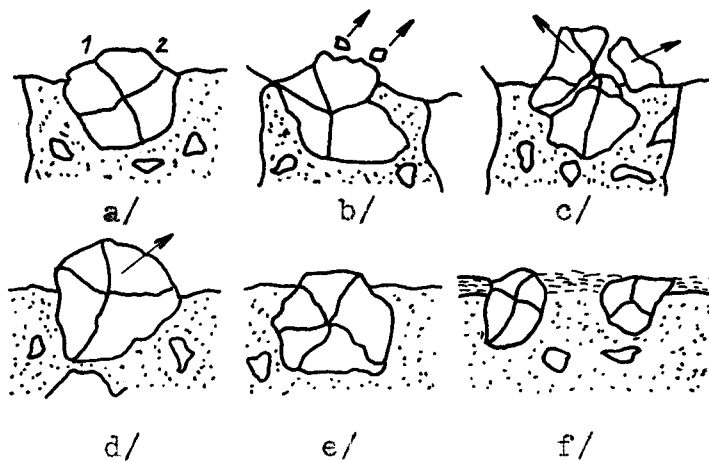
a - oktaédr

c - kubooktaédr

b - kostka

d - srůst dvou oktaédru

Obr. 4. Základní způsoby opotřebení brousícího kotouče



a - otěr řezných částí

b - mikroskopické štěpení zrn

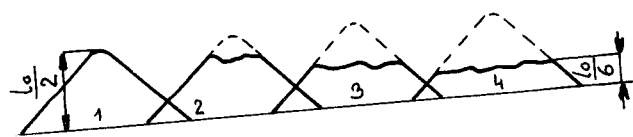
c - porušování celých zrn

d - úplné vylamování zrn z pojiva

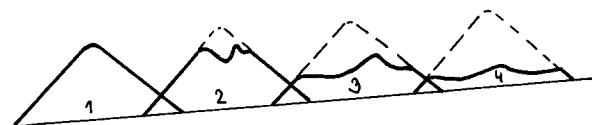
e - porušení působením chemických vlivů

f - zanášení prostorů mezi zrny brusným odpadem

Obr. 5. Schéma opotřebení při broušení / zrno elektrokorundu /



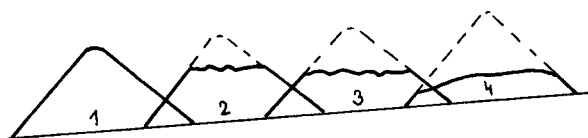
a - běžné řezné podmínky



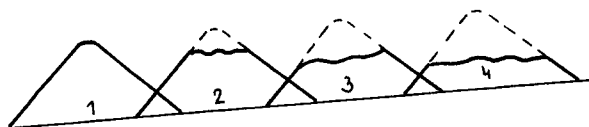
b - zvýšený posuv a přísuv



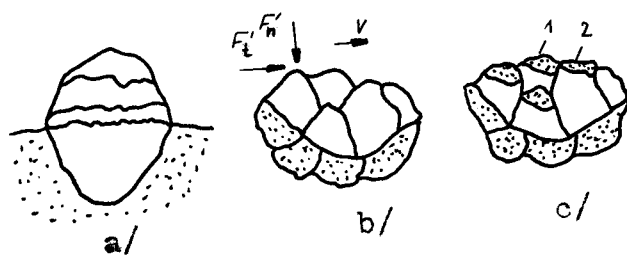
c - malé posuvy a přísuvy



d - zvýšená rychlost brousícího kotouče



e - karborundové zrno při průměrných řezných podmínkách



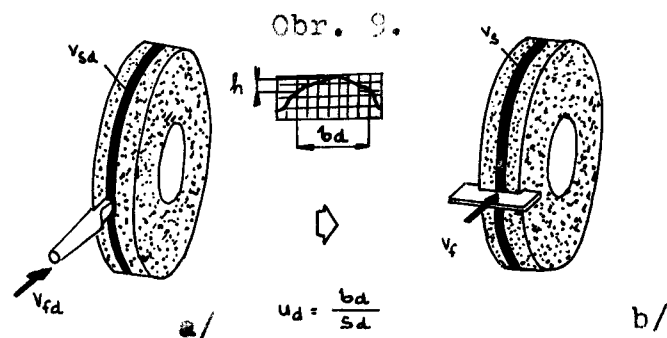
Obr. 6. Porušování zrn brusiva

- a - postupné porušení v průběhu broušení
- b - štěpení zrna pod vlivem elementárních sil
- c - opozřeбенé zrno brusiva

Obr. 7. Rozdělení orovnávacích nástrojů

		STYK KOTOUČ - OROV. NÁSTROJ			
OROVNÁVACÍ NÁSTROJ STACION.	ČINNÝ POHYB	bodový	přímkový	plošný	S BOČNÍM POSUVEM
		1.1.a 	1.2.a 	1.3 	
OROVNÁVACÍ NÁSTROJ POHYBLIVÝ SE		1.1.b 	1.2.b 		
			1.1.c 		
		2.1. 	2.2.a 		S STŘANOVÝM POSUVEM
			2.2.b 		
			2.2.c 		

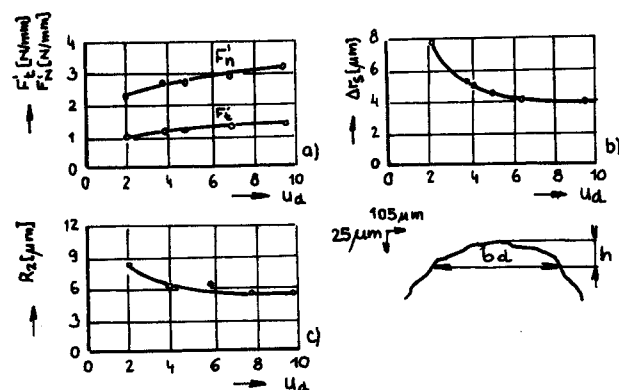
- 1.1.a - jednozrnný orovnávač
- 1.1.b - stojící orovnávací kolečko
- 1.1.c - orovnávací kotouč
- 1.2.a - orovnávací deska
- 1.2.b - stojící orovnávací kotouč
- 1.3. - vícezrnný orovnávač
- 2.1. - pohyblivé orovnávací kolečko
- 2.2.a - pohyblivý orovnávací kotouč
- 2.2.b - orovnávací blok
- 2.2.c - orovnávací kladka



Obr. 8. Činný profil kotouče

- a - vytvoření stopy orovnávacím nástrojem
b - sejmutí stopy z brousícího kotouče

Obr. 10. Vliv stupně překrytí na proces řezání



brousící kotouč	: EK 60 K8k6
materiál	: Ck 45 N
úběr za čas	: $Z = 1 \text{ mm}^3 / \text{mm} \cdot \text{s}$
objem úběru	: $V_w = 400 \text{ mm}^3 / \text{mm}$
řezná rychlost	: $v_s = 45 \text{ m/s}$
rychlostní poměr	: $q = 60$
doba vyjiskření	: $t_A = 10 \text{ s}$
orovnávací nástroj	: orovnávací deska
přisuv při orovnávání	: $h = 30 \mu\text{m}$