

Vysoká škola: strojní a textilní

Fakulta: strojní

Katedra: obrábění a montáže

Školní rok: 1989/90

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DĚLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro Luboše D o s t á l a

obor 23-07-8 strojírenská technologie

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

Název tématu: Broušení a leštění povrchů nádob z antikoročních
ocelí v podmínkách ZVÚ Hradec Králové.

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Rozbor stávajících poznatků o broušení a leštění.
3. Zkoumání vlivu různých druhů brousících kotoučů na stav povrchové vrstvy po broušení a leštění antikoročních ocelí.
4. Návrh technologie broušení a leštění v ZVÚ Hradec Králové.
5. Zhodnocení výsledků a závěr.

V 58/90S

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

KOM/OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 50 - 60 stran textu

Seznam odborné literatury:

- 1/ GAŠPÁREK, J.: Dokončovací sposoby obrábania. 1.vyd. ALFA Bratislava - SNTL Praha 1979
- 2/ MERUŇKA - DREJNAR: Elektrochemické obrábění vnitřních povrchů UKT a CKT. /Výzkumná zpráva/. Hradec Králové, ZVÚ Hradec Králové, 1986

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultanti: Ing. J. Festa - ZVÚ Hradec Králové

s. Meruňka - "

Ing. Janoušek - "

Datum zadání diplomové práce: 10. 10. 1989

Termín odevzdání diplomové práce: ~~4. 6. 1990~~

17. srpna 1990



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

Prášil
Prof. Ing. Vladimír Prášil, DrSc.
Děkan

v Liberci dne 10.10. 1989

Vysoká škola strojní a textilní Liberec

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

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

BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ POVRCHU NÁDOB Z ANTIKOROZIVNÍCH
OCELÍ V PODMÍNKÁCH ZVÚ HRADEC KRÁLOVÉ

KOM - OM - 678

Luboš DOSTÁL

Vedoucí práce : ing. Jan Jersák CSC VŠST Liberec

Konzultanti : ing. J. Janoušek VŠST Liberec

ing. J. Festa ZVÚ Hradec Králové

Počet stran	..67
Počet příloh a tabulek	...6
Počet obrázků	..15
Počet výkresů	...0
Počet modelů nebo jiných příloh	...0

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



Datum : 12.8. 1990

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

V Liberci dne 20.7. 1990

Libor Dostál

Na závěr svého studia na Vysoké škole strojí a textilní v Liberci předkládám diplomovou práci.

Při této příležitosti bych touto cestou chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce ing. J.Jersákevi CSC, konzultantům ing. J.Janouškovi a ing. J.Festovi za cenné vědomosti, poskytnuté při zpracování zadání.

V. Liberci dne 12.8. 1990

OBSAH

1.	Úvod	7
2.	Rozbor stávajících poznatků o broušení a leštění	9
2.1.	Charakteristika procesu broušení	9
2.1.1.	Druhy broušení	...10
2.1.2.	Stroje na broušení	...11
2.1.3.	Řezný nástroj v procesu broušení	...12
2.1.4.	Hodnocení efektivnosti procesu broušení	...16
2.1.5.	Řezné podmínky při jemném broušení	...16
2.1.6.	Dožití řezných kapalin v procesu broušení	...17
2.2.	Charakteristika procesu leštění a jeho rozdělení	...19
2.2.1.	Mechanické leštění	...20
2.2.2.	Elektrochemické leštění	...22
2.2.3.	Chemické leštění	...24
2.3.	Řešení broušení a leštění v podmínkách ZVÚ Hradec Králové	...25
2.3.1.	Mechanické broušení výrobků z antikorozivních ocelí	...25
2.3.2.	Mechanické leštění výrobků z antikorozivních ocelí	...27
2.3.3.	Elektrochemické leštění nádob z antikorozivních ocelí	...28
3.	Vliv různých druhů brousících kotoučů na stav povrchové vrstvy po broušení a leštění antikorozivních ocelí	...31
3.1.	Obecný postup zpracování úkolu	...31
3.2.	Experimentální část - proces broušení	...33

3.2.1.	Materiál, rozměry a výroba vzorků z antikorozivních ocelí	...33
3.2.2.	Použitý pracovní stroj a volba řezných podmínek	...36
3.2.3.	Použité brousící kotouče	...37
3.2.4.	Vyvažování a erovávání brousících kotoučů	...38
3.2.5.	Použité řezné kapaliny	...39
3.2.6.	Zjišťování úbytku kotouče, použité zařízení	...39
3.2.7.	Zjišťování úbytku broušeného materiálu	...41
3.2.8.	Stanovení poměrného ohrusu	...41
3.2.9.	Měření drsnosti povrchu	...42
3.2.10.	Zjištění průměrné drsnosti povrchu z náhodného výběru v tolerančních mezích	...42
3.2.11.	Určení zbytkových pnutí v povrchové vrstvě materiálu vzorku	...44
3.2.12.	Naměřené a vypočtené hodnoty	...46
3.3.	Experimentální část - proces el.chem. leštění	...53
3.3.1.	Použité vzorky	...53
3.3.2.	Leštící zařízení a podmínky leštění	...53
3.3.3.	Příprava a provádění technologického procesu el.chem. obrábění	...55
3.3.4.	Měření drsnosti povrchu a naměřené hodnoty	...56
4.	Hodnocení procesu broušení a leštění	...58
4.1.	Vyhodnocení výsledků	...59
5.	Návrh technologie broušení a leštění v podmínkách ZVÚ Hradec Králové	...64
6.	Závěr	...66
OBSAH PŘÍLOH		
	Grafické záznamy měření drsnosti povrchu	...1
	Hodnoty povrchových napětí	...2

1. ÚVOD

Při stálém zvyšování požadavků, které se kladou na jakost výrobků, nabírá stále větší význam i povrchová úprava kovů. Požadavek zlepšení kvality výrobků je přitom nejen oprávněná, ale i nutná, protože je znakem technického pokroku, nutí výrobce vymýšlet nové modernější výrobky, zlepšovat organizaci práce a zvyšovat efektivnost výroby.

I v oblasti povrchových úprav v strojírenství je třeba zavádět moderní technologické postupy a tím zlevňovat a zkvalitňovat upravované výrobky. Protože ve většině strojírenských podnicích končí se výrobní proces povrchovou úpravou výrobků, reprezentuje i malé zdokonalení technologie povrchové úpravy velké úspory. Správně a kvalitně provedená povrchová úprava nejen prodlužuje životnost výrobků, ale dodává jim i estetický vzhled a tím zvyšuje jejich prodejnost. Dalším úkolem kvalitních povrchů je odstranění nerovností povrchu v takové míře aby se v něm nezachycovaly mikroskopické části cizí látky. Jinak by to mohlo mít neblahý vliv na kvalitu produktů přicházejících do styku s těmito povrchy.

Jednou z nejdůležitějších oblastí výrobního procesu je bezesporu obrábění. Mezi známé a používané způsoby obrábění patří broušení. Výzkum procesu broušení je velmi důležitý z hlediska technických a ekonomických potřeb současné výroby. Broušení plní několik základních úkolů. Již dávno není jen procesem dokončovacím, kde se klade požadavek především na přesnost a jakost obrobku. Může být i procesem hrubovacím, často je totiž broušení jediným vhodným způsobem obrábění těžkoobrobitelných materiálů.

Naopak leštění a zvláště elektrochemické leštění

je oblast obrábění kovů, která nenalezla v ČSFR plné uplatnění. V zahraničí si tato technologie už našla své místo při výrobě kvalitních povrchů vzhledem k svým příznivým ekonomickým důvodům a jakostí obrebené plochy.

Konkrétní úlohou v oblasti povrchových úprav je dnes zavedení a široké uplatnění automatizace, plynulých výrobních linek na všechny operace, vyřazení namáhavé ruční práce zavedením moderních technologií a pod.

K zavedení moderní technologie je nutné především popularizovat nové poznatky vědy a techniky a jejich realizaci v praxi.

K tomuto by také měla přispět má diplomová práce, která se zabývá technologií broušení a leštění. Konkrétním cílem této práce je posoudit řezivost souboru brousících ketoučů při broušení antikorozivních ocelí třídy 17 a vypracovat návrhy technologie pro použité materiály jak v procesu broušení tak v procesu leštění se zhodnocením výsledků měření.

2. ROZBOR STÁVAJÍCÍCH POZNATKŮ O BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ

2.1. CHARAKTERISTIKA PROCESU BROUŠENÍ /1/

Broušení je nejrozšířenější způsob dekončovacího procesu obrábění kovů.

Brusná zrna jsou z technologického hlediska malé řezné zuby rozložené nepravidelně s různým převýšením po obvodě a čele kotouče. Jejich velikost se při jemném broušení pohybuje od 60 do 300 μm .

Zásadní rozdíl mezi broušením a frézováním mimo jiné odlišnosti je ve velikosti průměru odebrané třísky a neurčité geometrii řezného klínu převážně se záporným úhlem čela.

Pro výpočet řezné rychlosti kotouče v_k platí podle Gašpárka [1] vztah:

$$v_k = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1}) \quad (1)$$

D- průměr brousícího kotouče (m)

n- otáčky brousícího kotouče (min^{-1})

Obvodová rychlost brousícího kotouče se v praxi pohybuje od 10 do 80 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Velká tvrdost brusných zrn a velké řezné rychlosti umožňují brousit všechny známé kovové i nekovové materiály. Broušením je možné dosáhnout poměrně lehce kvalitní povrch a vysekou geometrickou přesnost tvaru i rozměru.

Při vysokých řezných rychlostech a negativních úhlech čela se vyvíjí v místě řezu velké množství tepla. Přitom

teplota třísky je až 1200°C . Do obrobku odchází zhruba 70% tohoto tepla.

2.1.1. DRUHY BROUŠENÍ /2/

Podle typu brousícího nástroje se rozlišují tyto druhy broušení: 1. vázaným pevným brusivem- zrna brusiva jsou stmelena pojivem do tvaru nástroje.

2. volným brusivem- využití zrn ve formě prášku.

Nejčastěji se používá obrábění vázaným brusivem.

Podle kinematiky procesu můžeme broušení rotačních ploch tradičními brousícími kotouči rozdělit na broušení podélné, zapichovací, bezhroté, vnitřní podélné a vnitřní zapichovací.

Broušení rovinných ploch rozdělujeme na broušení obvodem a čelem kotouče.

Další speciální druhy broušení jsou oscilační broušení, rychlostní, elektrochemické, a diamantové.

Oscilační broušení je takové, při kterém do kinematiky procesu včleníme ještě další přídavný oscilační pohyb. Když při oddělování částic materiálu využijeme princip elektrochemického úběru materiálu spolu s mechanickým broušením můžeme hovořit o elektrochemickém broušení. O rychlostním broušením hovoříme je-li při broušení obvodová rychlost kotouče vyšší než $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Má-li brusivo diamantový charakter pak je nazýváme diamantovým broušením. Jemně brousit můžeme všemi uvedenými způsoby.

2.1.2. STROJE NA BROUŠENÍ /1/

Podle toho jaké plochy a součástky brousíme, můžeme brusky rozdělit na několik skupin:

- a) brusky na vnější rotační plochy a čela
- b) brusky na vnitřní rotační plochy a čela
- c) brusky na rovinné plochy
- d) nástrojové brusky
- e) závitové brusky
- f) brusky na ozubení
- g) jednoúčelové brusky

Brusky na vnější rotační plochy mohou být hřetové a nebo bezhřetové. Brusky na rovinné plochy se vyrábějí na broušení vederevných a nebo svislých rovinných ploch. Jestliže má bruska mimo základních pohybů ještě i přídavný oscilační pohyb ketouče nebo obrobku, mluvíme o oscilačních bruskách. Když se při broušení využívá princip elektrochemického úběru materiálu, označujeme takovéto stroje za brusky elektrochemické.

Brusky se označují typovou zkratkou např. BUA 16A x 250, která se skládá z písmenového označení, udávajícího koncepci stroje a z číselného označení, které určuje maximální velikost stroje. Numerické označení se skládá z hlavního parametru (oběžný průměr hřetových brusek v cm) a doplňkového parametru (maximální délka upnutého obrobku).

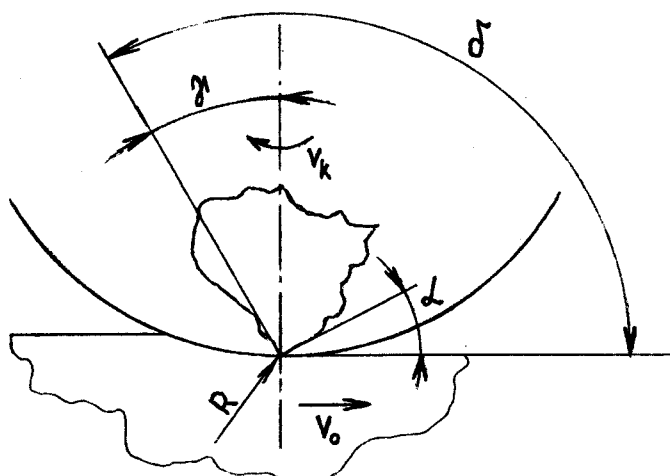
Např. BUA 16A x 250 je hřetová univerzální bruska se samočinným pracovním cyklem a se zvýšenou přesností, s maximálním oběžným průměrem součástky 160 mm a vzdáleností mezi hřety 250 mm.

2.1.3. ŘEZNÝ NÁSTROJ V PROCESU BROUŠENÍ /2/

Při broušení se v praxi nejčastěji používá brousící koteuč jako řezný nástroj. Brousící koteuč se skládá ze zrn brusiva, která jsou mezi sebou spojena pojivem v jeden pórovitý celek. Brousící nástroj se vyznačuje neuspořádaným rozložením zrn na jeho pracovní ploše. Na činné ploše brousícího nástroje jsou nepravidelně rozložená zrna stmelena pojivem. Tímto rozmístěním vytváří přerušovaný břit s různou výškou zrn. Všechna zrna brousícího nástroje nemohou být rovnoměrně zatížena. Kromě nestejných výšek zrna má obvykle koteuč nedeformačný geometrický tvar a určité házení. Může nastat i případ, kdy třísku odebírá současně několik dílčích břitů jednoho zrna. Nejvíce jsou zatížena zrna vystupující nad ideální válcový povrch. Ostatní zrna po určitou dobu nepracují. Tato zrna začínají působit až po opotřebování vyšších zrn nebo po orevnění.

Nejvýhodnější tvar zrn brusiva je mnohehnan s velkým množstvím povrchových nepravidelností, vytvářejících ostré břity. Nástroj má v podstatě nedefinovatelnou geometrii. Brousící koteuč totiž není stálý, během obrábění se jeho geometrie mění. Tvar břitu a řezné úhly závisí na uložení zrna v brousícím koteuči. Zrna brusiva mají úhel řezu δ vždy větší než 90° , poměrně velký úhel hřbetu λ , obvykle záporný úhel čela γ a zaoblené vrcholy. / obr.1 / Neurčitost vzájemné polohy zrn brusiva a různorodost geometrie zrn způsobují nepravidelný úběr třísky jednotlivými zrny brusiva. Odebírané třísky mají obvykle velmi malé průřezy ($0,0001 \text{ mm}^2$ až $0,002 \text{ mm}^2$), což je také příčinou velkého měrného řezného odporu (30 000 až 60 000 MPa).

Podle ČSN 22 45 01 je jakost brousícího kotouče určena druhem brousícího materiálu, zrnitostí, tvrdostí kotouče, slohem kotouče a druhem pojiva.



Obr. 1 Geometrie břitu brousícího zrna

Druh brousícího materiálu se volí podle druhu a vlastností broušeného materiálu. Na výrobu brousících ketoučů se používá přírodního nebo umělého brusiva.

Brusivo je krystalická látka, jejíž částice jsou tak tvrdé, houževnaté a ostrehrané, že jimi lze ebrušovat jiné, měkkší hmoty. Mezi přírodní brusiva patří tyto nerosty: leštící růže a okry, pemza, břidlice, pískevec, pazourek, křemen, granát, smirek, přírodní korund a diamant. Většinou ale má přírodní brusivo nestejnou jakost a stále častěji se nahrazuje brusivem umělým. Mezi obvyklá umělá brusiva se řadí: umělý korund - Elektrit / tavený kysličník hlinitý Al_2O_3 /, karbid křemíku - Karborundum / SiC /, karbid bóru / B_4C /, syntetický diamant a kubický nitrid bóru.

Zrnitost brusiva je určena měrným rozměrem zrna.

Zrnitost brousícího nástroje se volí podle požadované jakosti broušeného povrchu obrobku. Pro volbu brusiva platí tyto zásady: a) čím se ubírá více materiálu, tím se volí zrno hrubší

b) pro velké styčné plochy mezi obrobkem a kotoučem a pro velké řezné rychlosti se volí zrno hrubší

c) čím menší zahřátí lze u obrobku připustit, tím se volí jemnější zrnitost

Tvrdest kotouče je odolnost zrn brusiva proti vydrolování, které probíhá při broušení. Tato tvrdest nevyjadřuje skutečnou tvrdest brousícího materiálu, je mírou houževnatosti. Volí se podle druhu broušeného materiálu a způsobu broušení. Tvrdest brousícího kotouče není dána tvrdestí zrn brusiva, ale druhem pojiva. Správný kotouč má takové pojivo, které zadržuje brousící zrna jen po jejich otupení. Potom se vydroluje nebo odstraňuje odrovnáváním. Při nesprávně zvolené tvrdesti brousícího kotouče je zrno vyламováno ještě neotupené a kotouč se rychle opotřebovává (jde o mále tvrdý kotouč) nebo se velmi rychle zahřívá (příliš tvrdý kotouč). Brousící kotouč volíme tím měkkčí, čím tvrdší je broušený předmět a čím větší je styčná plocha brousícího kotouče s broušeným předmětem.

Pojiva rozdělujeme na anorganická a organická. Mezi anorganická pojiva patří pojiva keramická, silikátová, magnezitová. K organickým pojivům se řadí šelak, pryž a umělé pryskyřice. Nejčastěji používaná (70%) jsou keramická pojiva. Mají dostatek pevnosti, nepůsobí na ně voda, olej, řezné kapaliny a teplo. Jsou však křehká a malé pevnosti v ohybu.

Strukturou (slohem) brousících nástrojů se rozumí poměr objemů pórů k celkovému objemu brousícího tělesa. Tento po-

měr má být stejný v celém objemu brousícího kotouče. Strukturu kotouče je nutno volit podle druhu broušeného materiálu, způsobu broušení a podle předepsané jakosti broušeného povrchu. Na broušení hladkých předmětů z tvrdého a křehkého materiálu při malé styčné ploše broušení se doporučuje sloh hutný. Na broušení houževnatého materiálu při velké styčné ploše jsou vhodné kotouče pórovité. Nesmí-li se broušený materiál příliš ohřívat, je třeba volit kotouče zvlášť pórovité.

Správná volba kotouče je obtížná a záleží na mnoha činitelích. Např. na :

- a) vlastnostech broušeného materiálu jako je pevnost v tahu, tvrdost, houževnatost...
- b) druhou brousící operace (poleze brousícího kotouče k broušenému předmětu)
- c) podmínkách, při nichž se brousí
 1. stroj- druh a typ stroje, obvodová rychlost brousícího kotouče, rychlost posuvu....
 2. brusič- jde o jeho odbornost a zkušenost
 3. technický stav brousícího stroje
 4. broušený předmět- obrobek : jeho velikost, tvar, stav, požadovaná drsnost povrchu....
 5. orovnaní kotouče
 6. chlazení

Brousící kotouče se označují podle normy ČSN 22 40 10. Kotouče se označí soustavou čísel a písmen, která určují jeho tvar, druh a jakost.

Např. D x B x d A 99 25 K 9V

kde : D ... vnější průměr brousícího kotouče (mm)

 B ... šířka kotouče (mm)

- d ... průměr díry (mm)
- A 99... materiál brusiva
- 25 ... zrnitost
- K ... tvrdest brousícího kotouče
- 9 ... pérevitost
- V ... druh pojiva

2.1.4. HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI PROCESU BROUŠENÍ /2/

Pro hodnocení efektivity procesu broušení se používají různé ukazatele :

1. úběr určený objemem odebraného materiálu $\dot{U}_M$ (mm³) za min.
2. opotřebení nástroje, určené jeho spotřebou, $\dot{U}_K$ (mm³) za min.
3. poměrný obrus $PO = \frac{\dot{U}_M}{\dot{U}_K}$ (2)
4. trvanlivost nástroje T (min)
5. drsnost obrobené plechy R_a (μm)

2.1.5. ŘEZNÉ PODMÍNKY PŘI JEMNÉM BROUŠENÍ /1/, /7/

Orientačně je možné uvést, že při klasickém jemném broušení je přísuv kotouče do materiálu $t = 0,01$ mm, posuv kotouče $s = 3 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$, přídavek na obroušení bývá 0,01 až 0,02 mm. Při volbě řezných podmínek je třeba si uvědomit vliv těchto parametrů na drsnost povrchu a přesnost tvaru i rozměrů. Řezné podmínky se mění se způsobem broušení. Drsnost povrchu a přesnost broušení příznivě ovlivňuje obvedová rychlost kotouče $\underline{v}_k$. Nepříznivý vliv posuv $\underline{s}$ a přísuv kotouče $\underline{t}$.

V katalogu brousících nástrojů z roku 1989 jsou pro re-

vinné broušení obvedem brousícího kotouče doporučený tyto
řezné podmínky : obvedová rychlost kotouče $v_k = 25 \text{ až } 32 \text{ m.s}^{-1}$
posuvová rychlost $v_o = 10 \text{ až } 18 \text{ m.mi}^{-1}$
příčný posuv $1/2-4/5$ šířky kotouče

2.1.6. POUŽITÍ ŘEZNÝCH KAPALIN V PROCESU BROUŠENÍ /5/

Kapaliny, které při obrábění kovů zajišťují správné a ekonomické výrobní postupy, nazýváme řeznými kapalinami.

Hlavním úkolem řezných kapalin je umožnit obrábět při největší hospodárnosti. To znamená především zajistit trvanlivost nástrojů a jakost obráběného povrchu při malé spotřebě energie, na což má vliv chladicí, mazací a čistící účinek použité kapaliny. Tyto účinky jsou tedy základními, nezbytnými vlastnostmi řezných kapalin.

Z hlediska technologického a provozního můžeme sestavit požadavky na řezné kapaliny takto :

1. chladicí účinek
2. mazací účinek
3. čistící účinek
4. provozní stálost
5. ochranný účinek
6. zdravotní nezávadnost
7. nízké náklady

Základní funkce řezných kapalin při obrábění se projevuje v jejich chladicím a mazacím účinku.

Chladicí účinek řezných kapalin je nejvíce patrný při chlazení vhodnými roztoky nebo emulzemi. Řezná kapalina snižuje teplotu obrobku, nástroje i třísky tím, že odvádí teplo z řezné oblasti.

Schopnost řezné kapaliny odvést určité množství tepla z oblasti řezání je však dána nejen jejími termodynamickými vlastnostmi, ale i fyzikálně chemickým účinkem kapaliny na obráběný materiál, jakož i provozními podmínkami.

Zvětšení chladicího účinku lze dosáhnout také zvýšením tlaku kapaliny přiváděné do místa řezu. Mazací účinek přispívá především ke zmenšení tření na čele i na hřbetě nástroje.

Povrchově aktivní látky v řezné kapalině, které jsou přiváděny do místa řezu, vytvářejí na obrobku i nástroji mezní vrstvu; tato vrstva představuje přechodové pásmo mezi tělesem a atmosférou. Tato vrstva se svou pevností podstatně liší od okolního prostředí. Tloušťka vrstvy je určována tloušťkou několika vrstev molekul povrchově aktivních látek. Tato vlastnost se nazývá adsorpce a látky přitažené k povrchu tělesa se nazývají adsorbované, aktivní nebo povrchově aktivní.

Vlastní adsorpce pak probíhá takto : Molekuly aktivních látek, vyznačující se příbuzností ke kovu, přimykají se pevně k němu. Tato vrstva pak představuje základ, na kterém se uchytí i molekuly neaktivních látek. Neaktivní část nad adsorpční vrstvou vytváří pohyblivou vrstvičku, která zmenšuje tření.

Při broušení je teplota v místě styku nástroje s obrobkem velmi vysoká, proto musí mít řezná kapalina dobrý chladicí účinek. Z tohoto hlediska je možné rozdělit všechny operace broušení do dvou skupin, a to podle toho, zda jde o udržení vysoké jakosti povrchu nebo značné objemové rozptýlení tepla.

Typickou operací, patřící do první skupiny, je broušení

závitů, při níž se používá řezného oleje. Oleje působí mnohem lépe spolu s jemnou strukturou brousícího kotouče a zabraňují jeho poruše.

Operace patřící do druhé skupiny jsou válcové a bezhroté broušení a broušení ploch. Při těchto pracích jsou výhodné při chlazení emulze nebo vodné roztoky. dnes jsou pro broušení požadovány kapaliny průhledné - transparentní - aby pracovníkovi devalovaly pozorovat obrysy součásti i brousícího kotouče, což je důležité hlavně při najíždění kotouče k obrobku. Tomuto požadavku vyhovuje Akvol o 2% koncentraci.

Doporučenou řeznou kapalinou pro broušení antikorozičních ocelí je emulze o 2% koncentraci. Množství řezné kapaliny pro broušení se volí okolo $30 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$.

2.2. CHARAKTERISTIKA PROCESU LEŠTĚNÍ A JEHO ROZDĚLENÍ

/1/

Leštění je dokončovací operace opracování povrchu, kterou se odstraní drobné nerovnosti, docílí se zrcadlový lesk a vysoká jakost povrchu.

Podle způsobu práce rozdělujeme leštění na :

- a) mechanické leštění
- b) chemické leštění
- c) elektrochemické leštění
- d) leštění retujícími kartáči
- e) pásové leštění

2.2.1. MECHANICKÉ LEŠTĚNÍ

Způsob leštění, při kterém leštíme tvrdými brusnými materiály upevněnými na nějakém nositeli nebo opracováváme povrch volnými materiály vrhanými určitým směrem. Při tomto leštění se dosahuje až zrcadlový lesk.

Leštění kotouči je nejrozšířenější způsob tohoto druhu obrábění, které se provádí buď ručně nebo strojně. Při leštění součástí tlakem přitlačujeme na obvod rychle se otáčejícího kotouče, na kterém je nanesen leštící materiál. (brusný prášek nebo pasta)

Rozdělení leštících kotoučů :

- lisované bavlněné kotouče
- skládané sešíváné látkové kotouče
- široké, z elementů složené látkové kotouče
- lístkové látkové kotouče
- plstěné kotouče
- kotouče na bázi celulózy anebo dřeviny
- kevé kotouče s nanesenou leštící vrstvou
- ohybné kotouče na bázi kaučuku

Při leštění musíme nasítit povrch kotouče leštícím materiálem a to se provádí :

- a) nanesením brusných zrn na vhodný podklad
- b) namazáním brusnou glejovou vrstvou (směsí)
- c) přimísením brusných zrn do základní masy (kaučuku, celulózy, dřeviny)
- d) namazáním tučnými leštícími pastami
- e) poléváním počas leštění brusnými suspenzemi

Nejvhodnější je nanesení brusných zrn do glejové vrstvy nebo namazání brusnou glejovou směsí. Kotouče se při tomto

způsobu nejprve několikrát namaží glejovým roztekem. Po každém namazání se kotouče vysuší. Pak se nanáší glejová vrstva jako směs s brusným zrnem. Zahřáté na teplotu 40 až 50 °C. Kotouče namazané brusnou glejovou směsí se připravují lehce, musí pracovat při nižších řezných rychlostech. Dávají kvalitní povrch, mají nižší životnost. V nanesené brusné pastě se používá obvykle prášek umělého korundu a karbidu křemíku se zrnitostí 8, 6, 5, a 3. Tyto materiály se používají i v leštících pastách. Mimo jiné se používají v pastách i přírodní materiály minerálního původu (tripelit, anglická červě, křída) jako i chemické látky (oxid chromitý, vídeňské vápno, atd.). Pasty na leštění antikorozivních ocelí obsahují elektrokorund, oxid chromitý, kaolin, stearín, parafín, vazelína, kyselina olejní apod.

Optimální pracovní rychlosti kotoučů závisí od leštěných materiálů a typu kotouče. Kotouče s vrstvou kožního gleje by měly pracovat rychlostí 25 až 40 m.s⁻¹. Při leštění součástí složitě tvaru musíme volit rychlost přiměřeně nižší. Nižší obvodové rychlosti volíme i při leštění měkkých materiálů (Al, Cu, ...) Při nižších obvodových rychlostech než je optimální se snižuje produktivita práce a prudce klesá trvanlivost kotouče.

K mechanickému leštění patří i leštění pásem a retujícími kartáči.

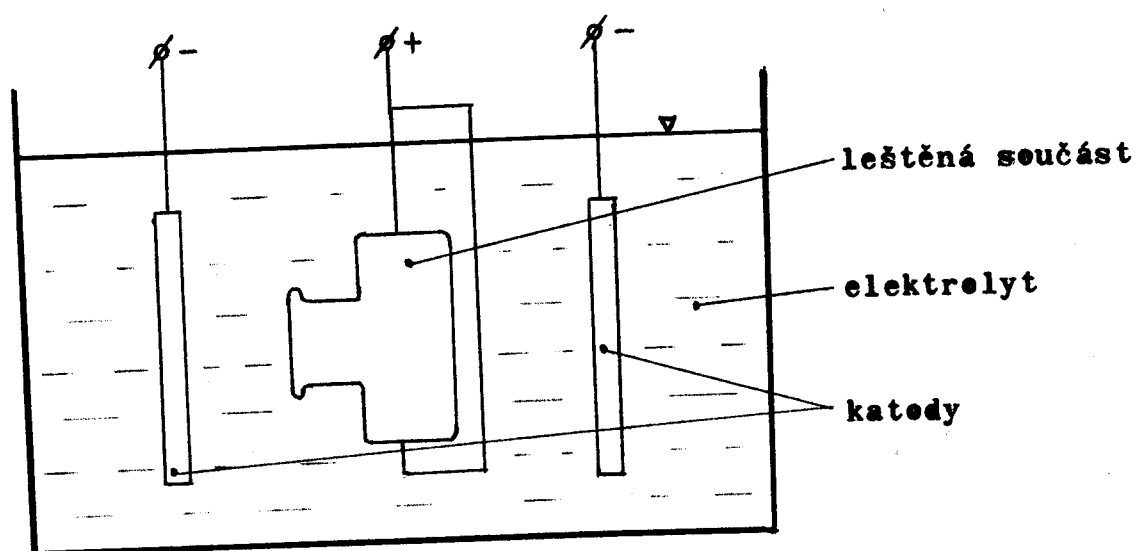
Při leštění retujícími kartáči jsou nástroje hodně podobné leštícím kotoučům. Složené jsou z jednotlivých jemných vláken, hustě zachycených v pevném jádře. Vyrábějí se z oceř. drátu, přírodních vlasů, bavlněné příze, rostlinného vlákna apod.

Jednotlivá vlákna vnikají do jamek mikreprofilu povrchu

a přitom vyrovňávají mikronerovnosti a čistí i dna jamek. Snižuje se napětí a vznik trhlin na povrchu součásti. Zvyšuje se únavová pevnost materiálu. Zpravidla se používá kotoučů leštících obvedem.

V porovnání s leštěním kotouči je pásevé leštění dokonalejší, výhodnější a produktivnější. Nekonečný leštící pás bývá z kupronu, bavlněné nebo jiné tkaniny. Na vnější straně pásu je vrstva brusných prášků. Na upevnění brusných zrn na páse se používá živočišného gleje, vodní sklo, formaldehydové lepidlo a jiné.

2.2.2. ELEKTROCHEMICKÉ LEŠTĚNÍ



Obr. 2 Princip elektrochemického leštění

Při tomto druhu leštění se dosahuje vysoká jakost povrchu.

Leštěná součást tvoří anodu ponořenou do elektrolytu. Záporný zdroj proudu je zapojen na katedu. Přechoodem jednosměrného proudu se elektrochemicky rozpouští povrchové vrstvy

materiálu. Rozpouštění je nejintenzivnější na výstupcích mikronevlnitostech. Povrch součástí se stává hladký a lesklý. Na proces má vliv vrstva anodických oxidů, která klade odpor průchodu proudu. Proto se provádí promíchávání elektrolytu.

Elektrolyty je možné rozdělit :

- elektrolyty s neohraničeným časem použití
- elektrolyty s ohraničeným časem použití

U první skupiny se soli rozpouštěné anody usazují v odkalovacím zařízení. Celý proces je téměř obnovený jako v galvanizovnách. Dosahuje drsnosti $Ra = 0,4$ až $0,2 \mu m$. Především se vhodně používá pro řezné nástroje. Leštění vrtáků, fréz, výstružníků, závitníků, apod.

Technologický proces tohoto způsobu leštění se skládá :

1. odmastění organickým rozpouštědlem (benzín, aceton)
2. připevnění nástroje na závěs
3. elektreodmastění
4. propláchnutí v teplé a chladné vodě
5. elektroleštění
6. propláchnutí v chladné tekoucí vodě
7. neutralizace v alkalickém roztoku
8. propláchnutí v chladné a teplé vodě
9. sušení
10. kontrola jakosti
11. konzervace

Použití pro složité součásti armatur (lopatky turbín).

2.2.3. CHEMICKÉ LEŠTĚNÍ

Kvalitní, hladké a lesklé povrchy dosahujeme působením aktivních látek (chemických). Součást namáčíme do aktivního roztoku.

Typový technologický postup chemického leštění se skládá :

1. odmastění povrchu
2. oplachování v tekoucí chladné vodě
3. chemické leštění v příslušném roztoku
4. oplachování v tekoucí chladné vodě
5. oplachování v teplé (60 až 90°C) vodě
6. sušení

Pečas leštění se složení roztoku mění, protože se nasycují solemi rozpuštěného kovu a tím se snižuje jeho aktivita. Složení roztoku se musí kontrolovat a korigovat. Přidávají se aktivní látky v určité době a při určité koncentraci se musí roztok vyměnit, protože se zhoršuje schopnost leštění.

Leštící roztok připravujeme tak, že do daného množství vody nalejeme tenkým proudem za stálého míchání vypočítané množství kyseliny sířové, po ochlazení na 30 až 40°C doplníme potřebné množství kyseliny chlorovodíkové a dusičné i s ostatními přísadami. Chemické leštění se používá hlavně jako vhodná a účinná povrchová úprava obrobků z ocelí, neželezných kovů a slitin. Náklady jsou ovšem vysoké. Použití pouze v hromadné výrobě. Výhodou je rychlost a jednoduchost.

2.3. ŘEŠENÍ BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ V PODMÍNKÁCH ZVÚ HRADEC KRÁLOVÉ

2.3.1. MECHANICKÉ BROUŠENÍ VÝROBKŮ Z ANTIKOROZIVNÍCH OCELÍ

Provádí se buď a) strojně

b) ručně

ad a) Donesávna cca do roku 1985 se v převážné míře broušilo pásevními bruskami s evidentním nasazením brusných kotoučů, a to hlavně keramických. Broušení se provádí s cílem odstranit hrubší vady povrchu, které lze rozdělit do několika skupin :

1. Vady vzniklé už ve výrobě plechu i jiných polotovárů (v hutích). Jsou to například trhliny, závaly apod.
2. Vady vzniklé při manipulaci s plechy - depraava od výroby nebo spotřebitele. Jsou to různé rýhy, vtlačené cizorodé látky (rez, písek) a dále v menší míře poškození povětrností a chemikáliemi. Drtivá většina těchto vad vzniká v důsledku nekázně, špatném stavu dopravních prostředků, organizace dopravy apod. Lze ovšem předpokládat, že v novém hospodářském mechanismu by mohlo v tomto směru dojít k zlepšení, neboť tato sféra zlepšení, kromě technického vybavení, není investičně náročná.
3. Vady vzniklé ve výrobě t. j. zpracování plechů. Jde opět o rýhy, vrypy, vtlačení cizorodých látek, otisky hran nástrojů, deformace po svaření, nekvalitní povrch vlastních svařů i jejich okolí aj. Zde je též značné procento vad vzniklých technologickou nekázní, špatným skladováním, mezioperační manipulací apod. Velké množství vad však vzniká zde

v důsledku zastaralé, nevhodné technologie tváření, svařování a mezioperační manipulace.

K strojnímu broušení se používají téměř výhradně JUS vlastní konstrukce a výroby. Jde o brusky řady BP. Pro broušení válcových částí nádob brusky BPP-17, BPP-27, BPP-35. Pro broušení den klenuté brusky BPD-14. V 70. letech byla snaha vytvořit pracoviště pro broušení plechů za rovna s vratným pohybem, ale toto zařízení se neosvědčilo a bylo zrušeno. Šlo o velmi produktivní zařízení, které mělo brousit plech v celé jeho šířce najednou rotujícím širokým válcem. V provozu bylo zařízení pro broušení plechů za rovna s několikanásobným vratným pohybem podobně jako např. portálové frézky. Zařízení bylo stavebnicevého typu. Od broušení celých plechů za rovna se postupně v podstatě upustilo z důvodů :

- lepší dodávaná kvalita povrchu z hutí
- energetická náročnost
- poškození povrchu plechů při např. zkružování a nutnost znovu brousit po zkružování nebo svaření

S úspěchem se používala zařízení pro broušení za rovna menších tvarových plechů - bruska B. Na broušení vnitřku kónických den se s úspěchem používá stavebnicevé zařízení s pásevou bruskou PK-3. Využívá se zde brusky BPP-27. Stále se postrádá zařízení na odbroušení převýšení svarů nádob do roviny. Byly různé snahy, ale žádné ze zkoušených zařízení se příliš neosvědčilo. Problémy jsou zejména s broušením nástrojem - přeřezávání pásů i ketoučů, rychlé opotřebení, podbrušování apod. Zařízení podobné jako mají některé zahraniční firmy - např. Hau Rakousko, Niederberger Švýcarsko, Fanos - Blatter Švýcarsko a mnohé jiné se postrádá. Jde vždy o zařízení s kmitavým pohybem brousícího nástroje,

využívající však též kvalitních nástrojů (zejména pásů)).

V ZVÚ se vyvíjí nová bruska a leštička řada B-84 pro úpravy povrchů zejména malorezměrných nádob složitého tvaru. Jde o bezobslužné automatické kopírovací zařízení chráněné v současné době dvěma patenty. Uvažuje se s nasazením na výrobky do průměru cca 2m. Vyvíjí se elektrické přídavné zařízení na zabrušování svarů do roviny.

ad b)) Ruční broušení se provádí stále ve velkém rozsahu. Používá se ruční nářadí pneumatického nebo elektrického s vyšší frekvencí a bezpečným napětím. Jako nástroje se používají koteuče FLEX, keramické, plstěné s polepem a lamelové. Ruční broušení se v převážné míře používá pro úpravu povrchů svarů a jejich okolí. Dále k odstranění různých místních vad například před elektrochemickým leštěním. Tehoto druhu broušení se také využívá k obrábění složitých povrchů a drobných součástí.

2.3.2. MECHANICKÉ LEŠTĚNÍ VÝROBKŮ Z ANTIKOROZIVNÍCH OCELÍ

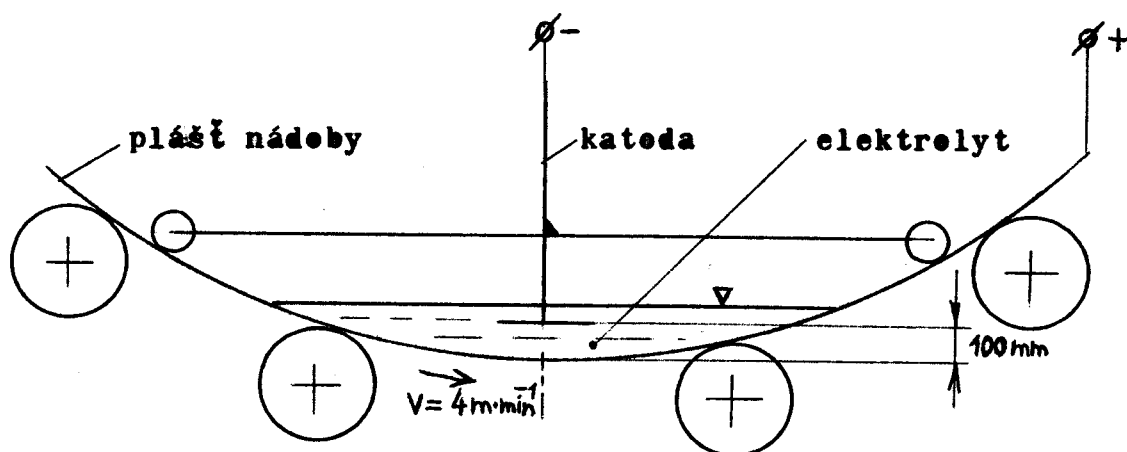
Provádí se v malé míře a to většinou ručně pomocí ručního nářadí, stejně jako u ručního broušení. Nástroje jsou textilní a plstěné koteuče a pasty. Leštění drobných výrobků na stacionárních bruskách a leštičkách v ruce. Do strojního leštění lze počítat do jisté míry broušení na BPP, kde se používá otupených nástrojů jemných lamelových koteučů nebo se nástroje přimazávají olejem (brusnými pastami). Bezobslužní leštění se začíná převážně zkušebně na výše popsaném brousícím a leštícím zařízení B-84. Zde se dosahuje kvality povrchu srovnatelným se zahraničím. Dosahuje se

zrcadlového povrchu bez stop nástrojů. Lze leštit i těžko přístupné dutiny například o průměru 250 mm do hloubky až 1250 mm. Vyvíjí se zařízení na vnitřky kolen potrubí apod. V posledních letech se přešlo na elektrochemické leštění.

2.3.3. ELEKTROCHEMICKÉ LEŠTĚNÍ NÁDOB Z ANTIKOROZIVNÍCH OCELÍ

Tímto druhem leštění se zde opracovávají převážně největší nádoby o leštící ploše 62 m^2 . Pravdou je, že se touto metodou v ZVÚ Hradec Králové obrábí obrobky prakticky nejrozměrnější na celém světě. Většina poznatků a postupů jsou převzaté od západoněmecké firmy Poligrat, která se elektrochemickým leštěním zabývá snad jako jediná v Evropě na vědecké bázi.

Nejprve se nádoby předbrousí a pak se dle obr. 3 smáčí v elektrolytu, který se skládá především z kyseliny fosforečné, kyseliny sírové, vedlicích složek, jenž mají organický charakter.



Obr. 3 Schema elektrochemického leštění nádob

Elektrolyt má několikanásobné použití. Po ukončení operace se provádí sedimentace kalu tzn. nechává se ustát až rozpuštěné soli obráběného materiálu klesnou ke dnu a čistý elektrolyt se odčerpá do sběrné nádoby. Elektrolyt se předehřívá na teplotu 45 °C. Při nižší teplotě by leštění probíhalo velice pomalu a při vyšší teplotě by docházelo k odpařování vody a tím by se zvyšovala hustota, která musí mít optimální hodnotu. Nedoporučuje se překračovat teplotu 60 °C. Ve sběrné nádobě se starý už použitý elektrolyt mísí s elektrolytem novým tak, aby dosáhl správnou hustotu. Pak se ohřívá na stanovenou hodnotu teploty a tímto je připraven k upotřebení.

K tomuto způsobu leštění se používá stejnosměrný proud 8 až 10 A.dm⁻². Odebraná hloubka je přímo úměrná odebraným Amin (ampérminutám) vztažených na dm². 350 Amin.dm⁻² odpovídá asi odebrané hloubce 35 μ m což je zhruba průměrný používaný úběr.

Elektrochemické leštění se v místních podmínkách používá pouze ve strojní podobě a je zde i částečně automatizováno. Obsluha pouze nastaví teplotu elektrolytu, proud v A.dm⁻² a rychlost smáčení leštěné plochy. Po ukončení lešticího cyklu se vyprázdní elektrolyt a kontroluje se jakost povrchu podle drsnosti Ra nýbrž dle oceňovaných etalonů porovnávací metodou. Srovnává se tu stupeň lesklosti. Povrch vyrobený touto metodou je velice kvalitní a je snadno omyvatelný. Z toho také vyplívá použitelnost na výrobky pro farmaceutický a potravinářský průmysl. Na závěr procesu se nádoba oplachuje dekapovací kapalinou 5 až 10% kyselinou síreou, která odstraní zbytky solí a organických látek ulpěných na obrobku. Dále se omývá vodou a konzervuje a tím je leště-

ní ukončeno.

Při leštění se vyvíjí vodík, který je nutno odsávat. Je to velice produktivní metoda výroby povrchů u takto rozměrných obrobků. Největší nádobu, která má průměr 3190 mm se vyleští asi cca za 8 hodin. Elektrochemické leštění je velice progresivní způsob výroby kvalitních povrchů a teprve čeká na své maximální využití.

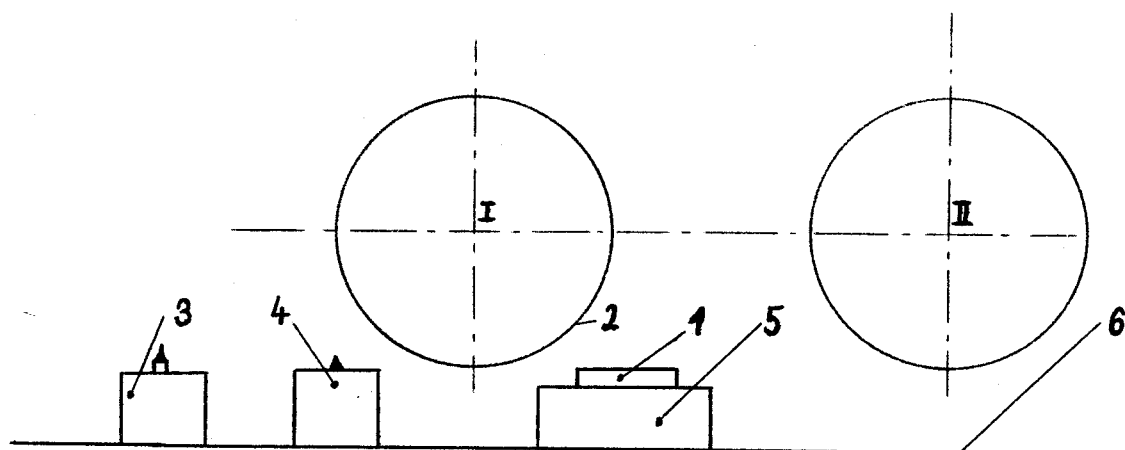
3. Vliv různých druhů brousících kotoučů na stav povrchové vrstvy po broušení a leštění antikorozivních ocelí

3.1. Obecný postup zpracování úkolů

Cílem vlastního měření je posoudit seuber brousících kotoučů a stanovené řezné podmínky při broušení antikorozi-
vních ocelí. A to z hlediska jejich kvality obrobeného povr-
chu, stavu povrchové vrstvy a poměrném úběru materiálu
k úbytku brousících kotoučů. Dalším cílem je zhodnotit měře-
ní povrchových hodnot po elektrochemickém leštění, které násle-
dovalo po mechanickém broušení. Výsledkem této práce je návrh
technologie obou uvedených druhů obrábění ocelí třídy 17
pro podmínky ZVÚ Hradec králové.

Nejdříve byly vyrobeny vzorky z dále uvedených antike-
rezivních materiálů. Tyto vzorky byly na rovinné brusce
v místech, které se použily na vlastní měření, přebroušeny
a tím připraveny pro zahájení broušení vybranými kotouči
a následné měření. Ještě než došlo k experimentálnímu obrá-
bění byly vybrané brousící kotouče vyváženy a orevnány.
Kotouč se upnul na vřeteno rovinné brusky. Zkoušený materiál
se upevnil pomocí strojího svěráku, který byl položen
na magnetickém stole brousícího stroje. Z důvodů zarevnání
ploch a vyrovnaní vůlí se vzorek přebrousí s větším počtem vy-
jiskření. Brousící kotouč byl opět orevnán. Dále se proměřily
pomocí vhodných měřidel průměr brousícího kotouče a rozměry
použitého vzorku (mikrometrem). Na brusce se nastavily zve-
lené řezné podmínky a použil se vybraný druh chlazení. Pak by-
lo provedeno vlastní broušení povrchu vzorků s celkovým úběrem

0,8 mm (vždy 4 povrchy po 0,2 mm), než se pomocí planžety ve formě žiletky otiskl profil brousícího ketouče. Opět se proměřily rozměry vzorku. Z rozdílu rozměrů byl určen objem odebraného materiálu broušením. Z otisknutého ketouče jeho obrus také v objemových jednotkách. Z těchto hodnot byl později vypočten pro každý ketouč, materiál a druh chlazení poměrný obrus.



- 1 - zkušební vzorek
- 2 - brousící ketouč
- 3 - planžeta
- 4 - jednokamenný diamantový orevnávač
- 5 - strojní svérák
- 6 - magnetický stůl brusky
- I, II - krajní pracovní polohy

Obr. 4 Pohled na uspořádání pracovního stolu brusky

Takto popsany průběh jednoho měření pokračoval v určování drsnosti povrchu R_a a R_m všech 4 broušených povrchů. Tyto hodnoty byly dalším kritériem hodnocení procesu broušení. Na stejném zařízení pro určování drsnosti povrchu se

též proměřovaly jednotlivé planžety pro každé měření a z naměřených hodnot se vypočítával obrus brousícího kotouče. Dalším kritériem hodnocení bylo měření zbytkového pnutí v povrchové vrstvě po broušení. Vždy u jednoho vzorku z každého měření byl zjišťován gradient zbytkových pnutí v povrchové vrstvě. Zařízení, popis měření a výpočet z naměřených hodnot je uvedeno v následujících kapitolách. Z těchto všech naměřených a vypočtených hodnot se určila nejvhodnější technologie broušení takovýchto materiálů tzn. brousící kotouč, druh chlazení pro každou ocel.

Po broušení následovalo elektrochemické leštění provedované na zařízení stávajícím v ZVÚ Hradec Králové. Proměřovala se drsnost povrchu. Ekonomicky se toto leštění porovnávalo s leštěním mechanickým. Řezné podmínky se volily shodné s běžně používanými v tomto závodě tzn. volba leštícího elektrického proudu, použitého elektrolytu, teploty elektrolytu, rychlosti smáčení leštěné plochy.

3.2. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST - PROCES BROUŠENÍ

3.2.1. MATERIÁL, ROZMĚRY A VÝROBA VZORKŮ Z ANTIKOROZIVNÍCH OCELÍ

Byly použity tři materiály z antikorozivních ocelí třídy 17 běžně užívané v ZVÚ Hradec Králové pro výrobu zařízení potravinářského a farmaceutického průmyslu.

Jsou to tyto materiály :

- 17 246.4 austenitická korozi-vzdorná ocel jejíž odolnost se zvyšuje dokonalou úpravou povrchu. Byla ve stavu po rozpouštěcím žihání.

Tvárnost : za tepla dobrá, za studena zpevnění

Svařitelnost : zaručená

Obrobitelnost : ztížená (nelze dosáhnout zrcadlový lesk)

$R_e = 206 \text{ MPa}$, $R_m = 539 \text{ MPa}$, $KCU 2 = 157 \text{ J.cm}^{-2}$

($KCU 2$ - vrubová houževnatost při 20°C ve starém značení)

Použití : na výrobky chemického a potravinářského průmyslu a jiné, tam kde po svaření není možné žíhat. V ZVÚ na nízkotlaké nádoby pro střední teploty, výměníky tepla (pláště, trubky,...)

17 248.4 austenitická korozi-vzdorná elektroocel odolná především mezikrystalické korozi. Byla ve stavu po rozpouštěcím žíhání.

Tvárnost : za studena lepší než u 17 246

Svařitelnost : zaručená

Obrobitelnost : ztížená (lepší než u 17 246)

$\sigma_{02} = 205 \text{ MPa}$, $\sigma_{pt} = 500 \text{ až } 750 \text{ MPa}$

$R_{3\text{podél.}} = 120 \text{ J.cm}^{-2}$, $R_{3\text{příč.}} = 80 \text{ J.cm}^{-2}$

(R_3 - vrubová houževnatost v novém značení při podélném směru vláken tvářené oceli a při příčném)

Použití : na výrobky chemického zařízení včetně tlakových nádob. Ocel zvláště vhodná pro farmaceutický a potravinářský průmysl. (čistota produktu). V ZVÚ na fermentery.

17 348.4 austenitická korozi-vzdorná elektroocel odolná především mezikrystalické korozi. Byla ve stavu po rozpouštěcím žíhání.

Tvárnost : pouze za tepla dobrá

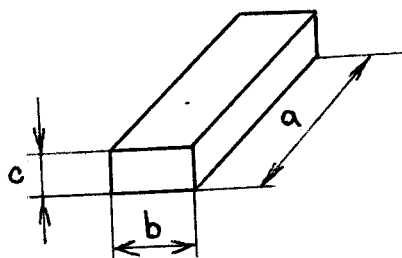
Svařitelnost : zaručená

$\sigma_{02} = 225 \text{ MPa}$, $\sigma_{pt} = 500 \text{ až } 750 \text{ MPa}$

$R_{3pedél.} = 120 \text{ J.cm}^{-2}$, $R_{3příč.} = 80 \text{ J.cm}^{-2}$

Použití : na výrobky chemického zařízení včetně tlakových nádob. Vhodná všude, kde je prostředí se silnými organickými kyselinami do středních teplot. V ZVÚ na výměníky (vinuté trubky).

Všechny vzorky vyrobené z těchto materiálů byly ve stavu jak je výše předepsán. Jednotlivé vzorky byly nařezány z pleťtevaru, válcovaného plechu a te 17 348.4 o tloušťce 10 mm a 17 246.4, 17 248.4 o tloušťce 6 mm. Proto se také liší rozměry vzorků u jednotlivých materiálů. Viz obr.5 a tab.1.



mat.	17 248.4	17 348.4	17 246.4
ozn.	1	2	3
a(mm)	38	56	48
b(mm)	6,4	8,5	6,0
c(mm)	9,8	10	10

Obr. 5 Vzorek a jeho rozměry

Tab. 1 Rozměry vzorků jednotlivých materiálů a jejich označení

Vzorky se oddělovaly od pleťtevaru řezáním na strojní pile. Dále se jejich povrch určený k měření přebroušoval. Všechny vzorky se označily číslováním dle tab.1. Bylo jich vyrobeno pro každý materiál celkem 30. Z toho 24 jich bylo použito k měření drsnosti povrchu a zbylých 6 k vyhodnocování stavu povrchové napjatosti.

3.2.2. POUŽITÝ PRACOVNÍ STROJ A VOLBA ŘEZNÝCH PODMÍNEK

Měření bylo provedeno na vederevné rovinné brusce BPH 20, určené pro broušení obvedem koteuče. Viz obr.6.

Technická data : (opsáno z katalogu stroje)

výrobce Pevážské strojarne N. P. Pevážská Bystrica

rok výroby : 1971

maximální průměr brousícího koteuče $D = 250 \text{ mm}$

stroj vybaven magnetickou upínací deskou

příčný posuv stolu v rozsahu 0,5 až 6 mm

rychlost podélného pohybu stolu 0 až $16 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

otáčky vřetena 3600 a 2500 min^{-1}

přísuv koteuče ruční

celkový příkon stroje 4,6 kW

pohon pracovního stolu - hydraulický

rozměry upínací plochy stolu 200 x 630 mm

rozměry brousícího koteuče průměr 250 mm, šířka 20 mm,

vrtání 76 mm

V době měření nebylo na stroji shledáno žádných vážnějších závad, stroj byl v dobrém technickém stavu.

Z katalogu brousících nástrojů 1989/7/ byly vybrány tyto doporučené řezné podmínky pro vysoce legované oceli :

- obvedová rychlost koteuče $v_k = 25 \text{ až } 32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- posuvová rychlost $v_o = 10 \text{ až } 18 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- hloubka řezu (záběru) $h = 0,01 \text{ mm}$

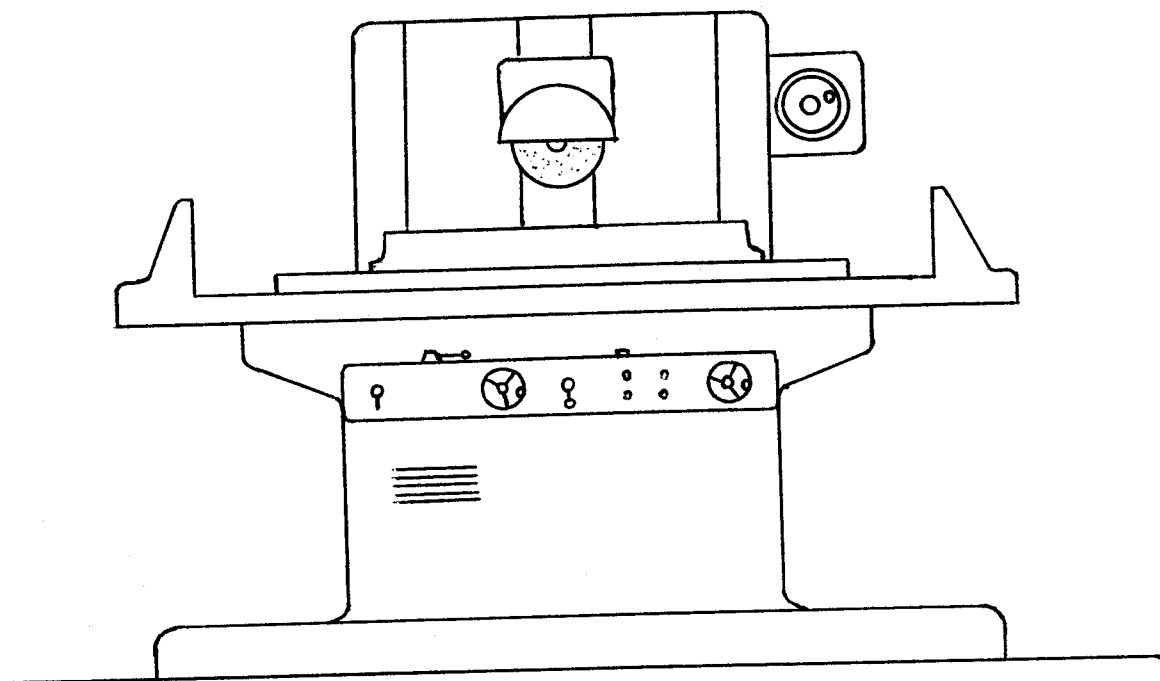
Z nichž se pro samotné měření a podle možností stroje nastavily tyto řezné podmínky :

$v_k = 31,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (závisí na průměru koteuče)

$v_o = 13,92 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

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

Příčný posuv nebyl používán, protože šířka kotouče byla větší než šířka vzorku. Obvodová rychlost odpovídá otáčkám včetně 2500 min^{-1} .



Obr. 6 Vodorovná rovinná bruska BPH 20

3.2.3. POUŽITÉ BROUSÍCÍ KOTOUČE /7/

Pro měření byly vybrány čtyři brousící kotouče o rozměrech 250 x 25 x 76 mm. Tři kotouče byly vyrobeny z umělého korundu a jeden z karborunda.

Všechny čtyři kotouče byly vybrány z katalogem brousících nástrojů pro vysece legované materiály.

Byly zkoušeny tyto brousící kotouče :

A 98T 25K 9W (šedý) označení - 1

A 99 25L 9V (bílý) ozn. - 2

C 49 25J 10V (zelene-šedý) ozn. - 3

A 98 25K 9V (růžový) ozn. - 4

3.2.4. VYVAŽOVÁNÍ A OROVNÁVÁNÍ BROUSÍCÍCH KOTOUČU /2/

Vyvažování brousícího kotouče spočívá v uspořádání hmoty kotouče tak, aby se jeho těžiště shodovalo s jeho geometrickým středem. Nevyvážené síly se eliminují vyvážením kotouče a kotouč pracuje klidně i při vysokých obvodových rychlostech, což je nezbytné k dosažení vysoké přesnosti rozměrů a kvalitního povrchu a ke snížení opotřebení ložisek brousícího vřetena.

Při malé šířce brousícího kotouče, kdy retující hmoty jsou téměř v jedné rovině, což je náš případ, stačilo jeho statické vyvážení. K tomuto účelu se použilo vederevného stojánku, kotoučové příruby a vyvažovacího trnu. Kotouč se upevnil pomocí šroubů do příruby, která se prostřednictvím kuželu a závitu spojila s vyvažovacím trnem. Trn i s kotoučem se vložil do vederevného stojánku a pomocí tří vyvažovacích závaží po obvodě příruby se staticky vyvážil. Tak aby v každé úhlové poloze nastavené se kotouč nezačal otáčet.

Zrna brousícího kotouče mohou dobře ubírat materiál jen tehdy, jsou-li ostrá a mají-li nezbytnou mezeru pro třísky. Během broušení se zrna otupí, mezery se zanesou, kotouč se uhladí. Někdy se též deformuje jeho povrch. Brousící kotouč pak pálí, nemá možnost řezat. Orovnáváním se zanesený, zalepený a otupený povrch brousícího kotouče opět zdrsňuje. V našem případě bylo pro orevnání použito jednekamenového diamantového orevnávače. Brousící kotouč byl orevnáván o 0,3 mm.

3.2.5. POUŽITÉ ŘEZNÉ KAPALINY /5,6/

Z kapitoly 2.1.6. vyplívá, že doporučenou řeznou kapalinou pro broušení antikorozivních ocelí je emulze o 2% koncentraci. Z hlediska dostupnosti (i cenové) a s doporučením /6/ byly zvoleny dvě řezné kapaliny :

1. emulgační olej Emulzin H o 2% koncentraci
2. emulgační olej Rebel o 5% koncentraci

Emulzin H vytváří s vodou vysoce stabilní emulzi typu olej ve vodě. Má dobrou smáčivost, nenarušuje vrchní nátěry strojů ani pejiva brusných kotoučů. Je to výrobek porovnatelný s obdobnými výrobky předních světových firem.

Rebel obsahuje VI přísady na bázi chlorkovaného parafínu a sířené mastné látky v kombinaci zaměřené především na náročnější operace broušení. Provozní poznatky s Rebelem jsou až na výjimky příznivé, ale na závadu je obsah chlórů.

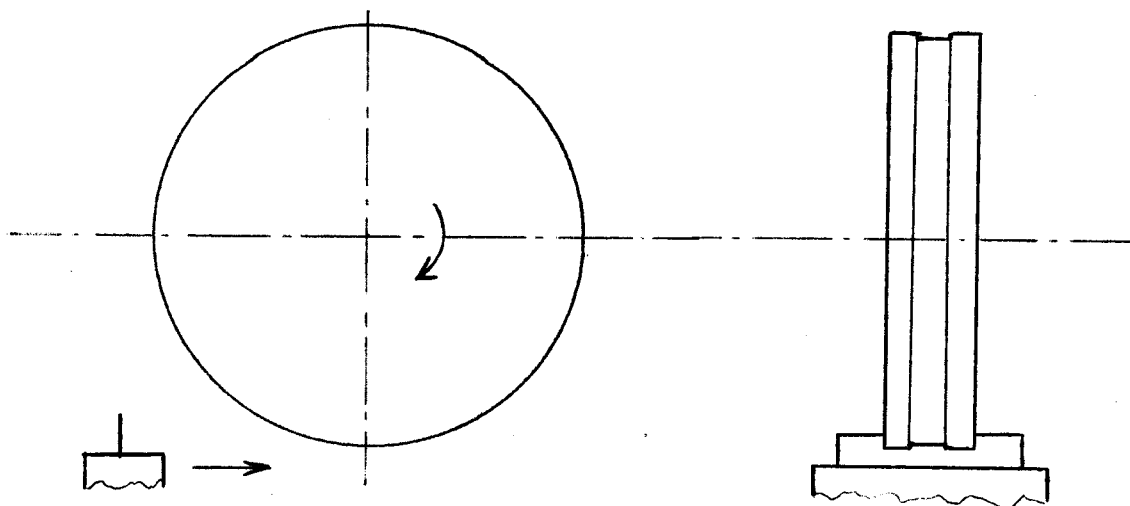
3.2.6. ZJIŠŤOVÁNÍ ÚBYTKU KOTOUČE, POUŽITÉ ZAŘÍZENÍ

Úbytek kotouče byl zjišťován pomocí planžety (žiletky), do které se otiskl jeho profil po skončení broušení vzorků pro jedno měření. Prakticky se tento profil do planžety vybrousil. Viz. obr. 7.

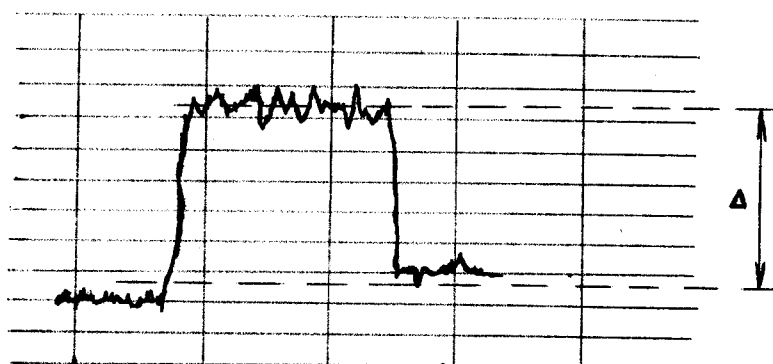
Tento způsob zjišťování úběru brousícího kotouče byl použit pro všechna měření, kterých bylo celkem 36. To znamená 12 pro každý materiál. Měnily se použité brousící kotouče a řezné prostředí (za sucha, jedna kapalina, druhá kapalina). Dále se planžety proměřovaly a zjišťovala se hloubka opotřebení brousícího kotouče. Jelikož šířka broušených vzorků b pro jedno měření byla vždy stejná, celkový úbytek kotouče se

vypočítal dle vzorce :

$$\sigma_K = \frac{\pi \cdot b}{4} \cdot (D^2 - (D - 2\Delta)^2) = \pi \cdot b \cdot (\Delta D - \Delta^2) \quad (3)$$



Obr. 7 Schema stisknutí brousícího kroužku do planžety



Obr. 8 Diagram povrchu obroušené planžety

Hodnota Δ se zjišťovala z diagramu viz. obr. 8, kde rozdíl středních čar drsností opotřebované části ketouče a nepotřebované dal právě hodnotu Δ .

Diagramy byly zhotoveny na přístroji pro měření drsnosti povrchu Hemmel Tester T3 s použitým nožovým snímačem TFS 300/4 a měřené dráze 20 mm.

3.2.7. ZJIŠŤOVÁNÍ ÚBYTKU BROUŠENÉHO MATERIÁLU

Teoretická hloubka úběru materiálu vzorku byla nastavena na stroji a měla hodnotu $h_{ct} = 0,2$ mm a byla dosažena dílčími odebranými hloubkami $h = 0,01$ mm. Skutečná hloubka úběru byla proměřována před a po skončení broušení pomocí mikrometru a označována $h_{cs} = c_0 - c_1$ (c_0 je výška vzorku před broušením a c_1 je výška vzorku po broušení).

Celkový úbytek broušeného materiálu byl potom :

$$\dot{U}M = 4 \cdot h_{cs} \cdot b \cdot a \quad (\text{mm}^3) \quad (4)$$

Je to vlastně úbytek stanovený až po obroušení čtyřech povrchů - 2 vzorků, tzn. po provedení jednoho měření. Stejně jako u stanovení $\dot{U}K$ i $\dot{U}M$ byl určován pro všech 36 měření.

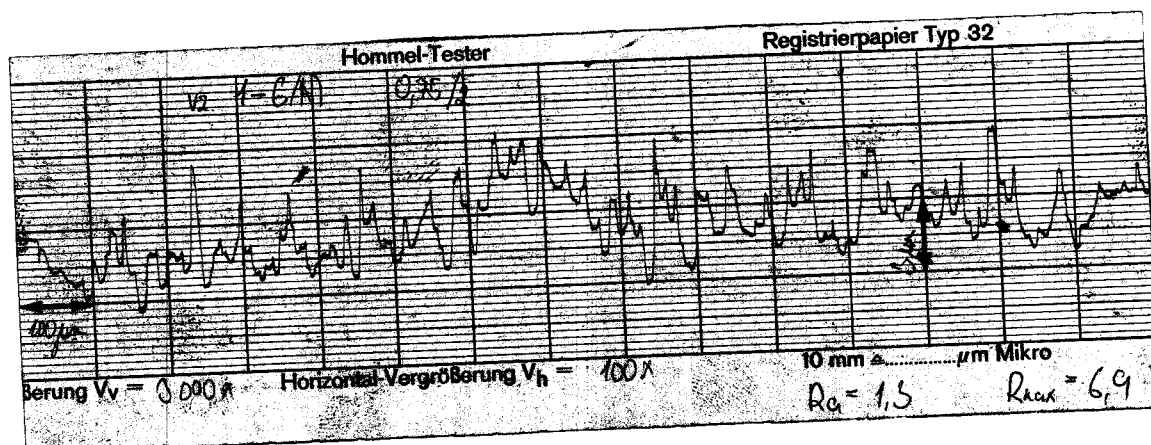
3.2.8. STANOVENÍ POMĚRNÉHO OBRUSU

Jedním z hodnotících kritérií brousícího procesu je poměrný obrus. Ze vztahu (2) vidíme, že poměrný obrus je závislý na tom, kolik materiálu brousící ketouč odebere a s jakým úbytkem. S rostoucí hodnotou poměrného obrusu roste i efek-

tivnost brousícího procesu.

3.2.9. MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

Také drsnost povrchu je jedním z kritérií, hodnotící brousící proces. Záleží však na tom, zda broušení bude procesem hrubovacím nebo dekenčevacím. Měřila se příčná drsnost povrchu R_a a R_{max} pomocí drsnoměru Hommel Tester T3 metodou cutt off 0,75, snímačem TFE 100 po dráze 2 mm. R_a i R_{max} byla měřena na všech broušených plochách a vždy na jedné z nich u daného měření byl proveden grafický záznam, viz. obr. 9. a přílohy.



Obr. 9. Grafický záznam drsnosti povrchu broušeného materiálu

3.2.10. ZJIŠTĚNÍ PRUMĚRNÉ DRSNOSTI POVRCHU Z NÁHODNÉHO VÝBĚRU V TOLERANČNÍCH MEZÍCH /9/

Jsou-li známy výběrové charakteristiky $\bar{x}$ a s^2 z náhodného výběru rozsahu n je možné stanovit meze, které podíl P základního souboru zahrne se zvolenou vysekou pravděpodobností. Oboustranné toleranční meze založené na výběrových

charakteristikách mají tvar $\bar{x} \pm k.s$, kde $\bar{x}$ je výběrový průměr a s je směrodatná odchylka z náhodného výběru rozsahu n ; k je konstanta tabeľovaná v příloze v tab. 8 (ČSN 01 02 50) v závislosti na n , P .

$$\text{výběrový průměr } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

výběrový rozptyl statistického souboru

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6)$$

směrodatná odchylka statistického souboru

$$s = +\sqrt{s^2} \quad (7)$$

Příklad měření č. 1

Zjišťování drsnosti povrchu z náhodného výběru rozsahu $n = 4$ hodnot R_a . Byl vypočten výběrový průměr $\bar{x} = 1,11$ a směrodatná odchylka $s = 0,335$. V jakém pásu se bude pohybovat 75% hodnot R_a , a to se 75% pravděpodobností.

$$k(n=4; \gamma=0,75; P=0,75) = 2,035 \quad \text{viz. tab. ČSN 010250}$$

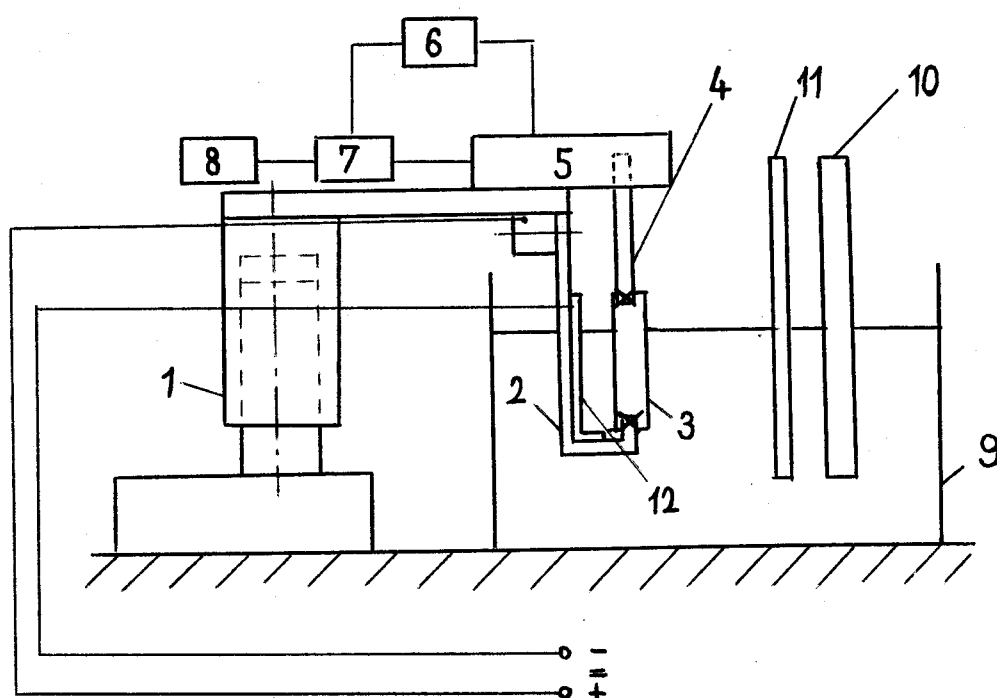
Obeustranné toleranční meze jsou :

$$\bar{x} \pm k.s = 1,11 \pm 2,035 \cdot 0,335 = 1,11 \pm 0,68$$

Lze tedy předpokládat, že s pravděpodobností 0,75% bude 75% hodnot drsnosti povrchu ležet v mezích $\langle 0,43; 1,79 \rangle$.

3.2.11. URČENÍ ZBYTKOVÝCH PNUTÍ V POVRCHOVÉ VRSTVĚ MATERIÁLU VZORKU /4/

Pro určení zbytkových pnutí v povrchové vrstvě broušených vzorků byla použita metoda elektrolytického rozpouštění. Uvedená metoda spočívá v průběžném sledování deformací vzorku, jež vzniknou odleptáním určité vrstvy a tím uvolnění pnutí v této vrstvě obsažené. Proces leptání byl urychlován a zároveň stabilizován stejnosměrným proudem.



Obr. 10. Schema měřícího zařízení

- 1 stojan
- 2 upínací třmen
- 3 zkušební vzorek
- 4 měřicí třmen

- 5 indukční snímače
- 6 napájecí obvody
- 7 obvod pro elektrické nastavení polohy snímače
- 8 registrační přístroj
- 9 nádrž s elektrolytem
- 10 tepné těleso s termostatem
- 11 tlakový vzduch k promíchávání elektrolytu
- 12 kateda

Výpočet zbytkových pnutí :

Základem výpočtu byl předpoklad, že ve vrstvičce tloušťky H je zbytkové pnutí = konstantní. Pnutí se vypočítávalo z naměřených hodnot deformace v postupných vrstvách od povrchu vzorku, pro které platí obecný vztah :

$$\sigma_n = \frac{\Delta y_n}{\Delta H_n} \cdot K \cdot h_n^2 - \sum_{k=1}^{n-1} \sigma_k \cdot \frac{4 \cdot \Delta H_k}{h_k} \quad (8)$$

σ_n - je zbytkové pnutí ve vrstvě n

h_n - je tloušťka vzorku po odstranění vrstvy n

$$h_n = h - \sum_{i=1}^n \Delta H_i$$

h - je výchozí tloušťka vzorku

Δy_n - je deformace vzniklá odleptáním vrstvy n

ΔH_n - je tloušťka n -té odebrané vrstvy (obvykle konstantní)

$$K = \frac{E}{3L \cdot (1+2a)} \quad (9)$$

E - je modul pružnosti

L - je délka leptané plochy

a - je vzdálenost konce leptané plochy od roviny snímání deformace

Podle vztahu (8) byly vypočítány jednotlivé napětí pro každé měření zvlášť a v různých vrstvách o tloušťce nejčastěji 0,01 mm. Většinou byla maximální hloubka měření napětí 0,1 mm. Výpočty těchto pnutí byly zhotoveny na počítači PMD-85 i s vykreslením průběhu napětí viz. přílohy.

3.2.12. NAMĚŘENÉ A VYPOČTENÉ HODNOTY

Naměřené a vypočítané hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách (2 až 4). Drsnost R_a a R_m se měřila na čtyřech površích a v tabulkách jsou vypočítané hodnoty (aritmetický průměr) s tolerančními mezemi. Poměrný ohrus byl vypočítán ze vztahu (2). Napětí v povrchové vrstvě je uvedeno pouze maximální tahové $\max t$ a maximální tlakové $\max d$.

Pro větší názornost a snadnější vyhodnocování výsledků byly hodnoty drsnosti povrchu, poměrného ohrusu a napětí v povrchové vrstvě vyneseny do grafů v závislosti na druhu brousícího kotouče a způsobu chlazení pro každý materiál zvlášť. (viz. obr. 11 až 13)

Tab. 2 Naměřené a vypočítané hodnoty po broušení pro materiál 17 248.4 označení - 1

Č. měř.	Způsob chlazení	Označení BK	$R_a (\mu m)$	$R_m (\mu m)$	P0	Nap. v pov. vrstvě (MPa)	
						$\bar{\sigma}_{max t}$	$\bar{\sigma}_{max d}$
1	za sucha ozn. A	A98T 25K 9V označ. - 1	1,11±0,68	7,175±2,99	5,12	168,51	-422,17
2	Emulzin H oz. B	1	0,875±0,316	5,225±2,328	6,32	—	-608,02
3	Rebel označ. C	1	0,77±0,17	4,675±1,875	4,34	86,77	-233,51
4	A	A99 25L 9V označ. - 2	1,147±0,392	7,175±2,676	3,45	145,66	-648,61
5	B	2	1,163±0,304	6,85±1,82	6,59	163,18	-143,97
6	C	2	0,65±0,248	3,475±1,588	3,70	483,71	-53,11
7	A	C49 25J 10V označ. - 3	0,727±0,266	3,975±1,746	2,78	111,63	-751,38
8	B	3	0,973±0,51	5,675±3,092	4,22	94,64	-478,46
9	C	3	0,54±0,119	3,175±3,043	3,15	97,88	-366,94
10	A	A98 25K 9V označ. - 4	1,795±0,647	9,8±4,2	1,46	190,7	-1018,54
11	B	4	1,773±0,276	10,375±3,46	2,33	1114,36	—
12	C	4	0,79±0,222	5,325±2,645	1,86	1771,44	-541,99

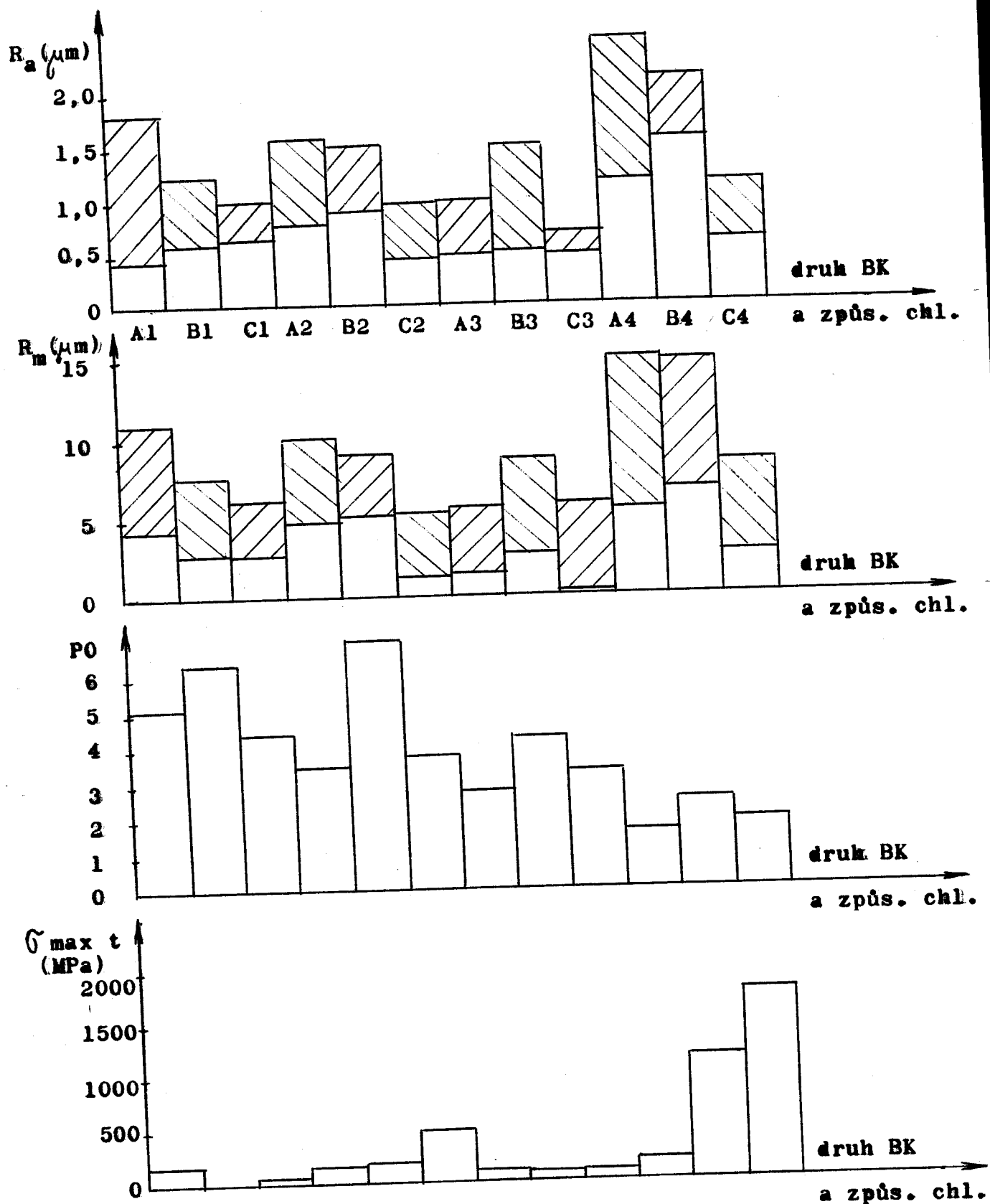
Tab. 3 Naměřené a vypočítané hodnoty po broušení pro materiál 17 348.4 označení - 2

Č. měř.	Způsob chlazení	Označení BK	$R_a (\mu m)$	$R_m (\mu m)$	P0	Nap. v pov. vrstvě (MPa)	
						$\sigma_{max t}$	$\sigma_{max d}$
13	A	1	1,285±0,406	8,25±2,12	9,43	794,34	-3913,6
14	B	1	0,923±0,294	5,725±1,423	7,04	324,79	-6626,9
15	C	1	0,73±0,093	3,85±0,887	4,63	476,52	-5832,3
16	A	2	1,378±0,414	8,7±2,344	9,32	222,8	-4117,69
17	B	2	1,135±0,29	6,8±2,147	8,53	2716,54	-575,09
18	C	2	0,748±0,149	4,2±2,379	7,36	412,12	-5990,04
19	A	3	0,97±0,557	4,95±3,048	3,16	374,82	-4396,25
20	B	3	0,93±0,277	4,875±1,697	5,37	1139,81	-4376,59
21	C	3	0,628±0,112	3,7±3,252	7,63	724,19	-2539,26
22	A	4	2,03±0,774	12,375±4,87	4,52	—	-2037,55
23	B	4	1,505±0,829	9,075±4,811	2,88	973,58	-3766,32
24	C	4	0,965±0,19	5,775±1,714	8,13	2122,96	-9607,31

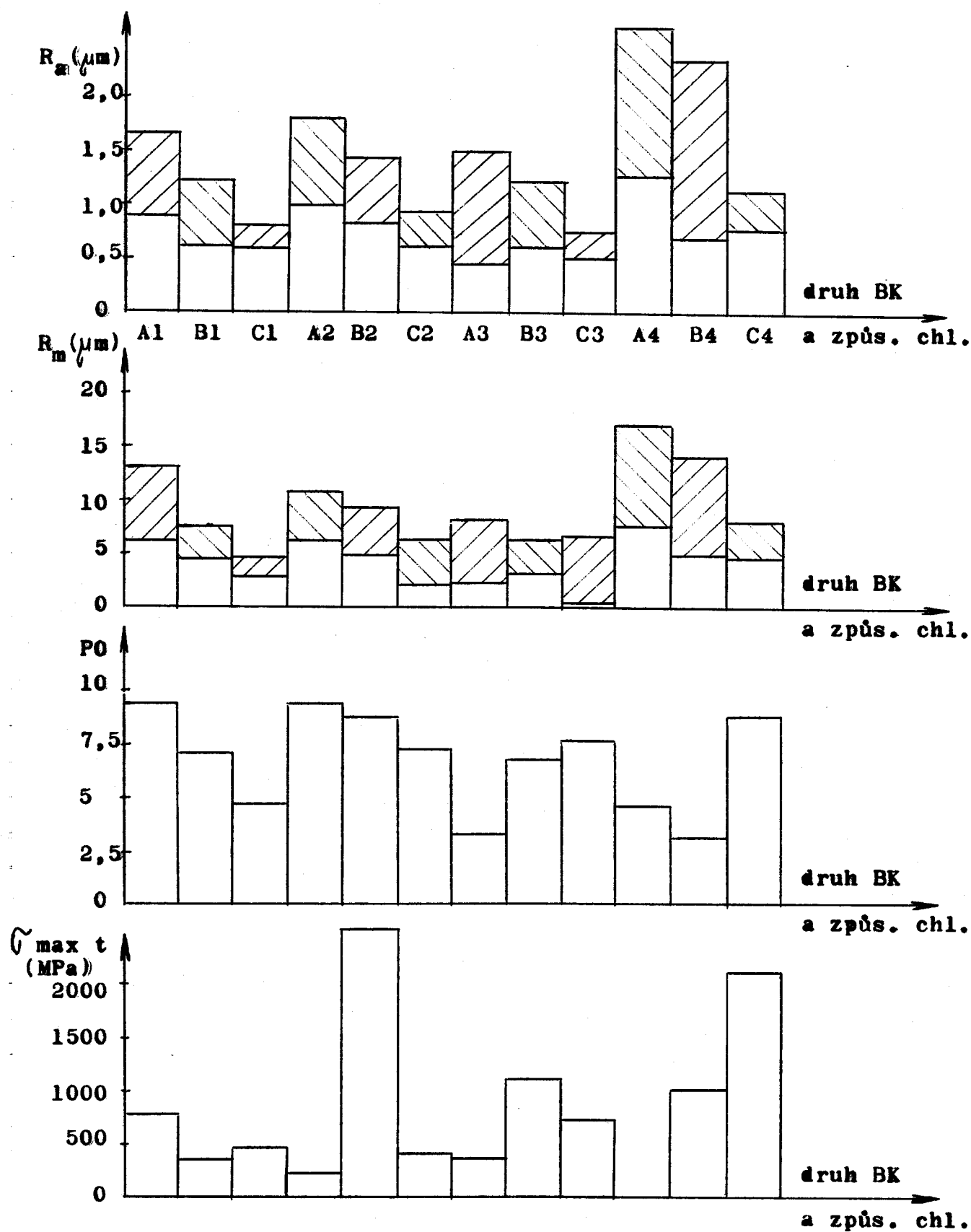
Tab. 4 Naměřené a vypočítané hodnoty po broušení pro materiál 17 246.4 označení - 3

Č. měř.	Způsob chlazení	Označení BK	$R_a (\mu m)$	$R_m (\mu m)$	P0	Nap. v pov. vrstvě (MPa)	
						$\sigma_{max t}$	$\sigma_{max d}$
25	A	1	1,095±0,51	6,875±2,865	8,52	934,45	-3167,88
26	B	1	1,115±0,061	7,0±2,055	6,37	865,28	-732,66
27	C	1	0,995±0,66	5,475±2,399	5,82	906,28	-995,16
28	A	2	1,203±0,739	7,588±5,502	6,07	323,74	-785,87
29	B	2	1,033±0,058	6,425±1,002	6,87	308,69	-2841,43
30	C	2	0,758±0,225	4,45±2,587	4,28	362,89	-8040,55
31	A	3	0,753±0,283	4,125±2,686	3,13	263,28	-1069,9
32	B	3	0,89±0,283	4,525±0,712	4,02	649,02	-990,03
33	C	3	0,618±0,093	3,125±1,107	8,82	257,81	-1322,32
34	A	4	1,87±0,867	12,15±5,653	2,81	1058,41	-3224,79
35	B	4	1,338±0,153	8,225±2,702	2,22	202,78	-4931,12
36	C	4	0,718±0,194	3,775±1,443	3,79	51,47	-3698,27

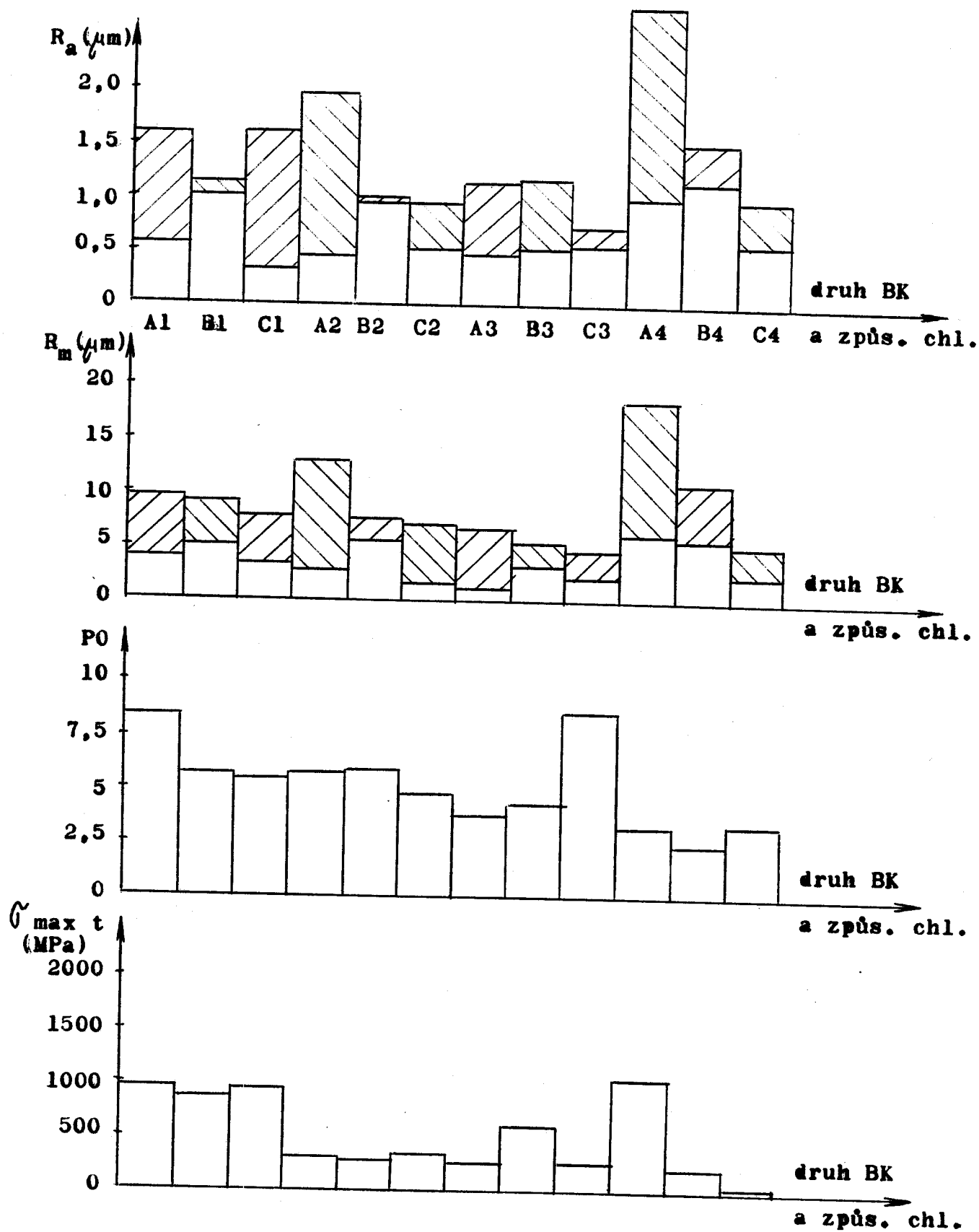
Obr. 11 Grafy závislosti R_a , R_m , P_0 a $\sigma_{\max t}$ na druhu
brousícího koteuče a způsobu chlazení pro mate-
riál 17 248.4 - 1



Obr. 12 Grafy závislosti R_a , R_m , P_0 a $\sigma_{\max t}$ na druhu breusícího ketouče a způsobu chlazení pro materiál 17 348.4 - 2



Obr. 13 Grafy závislosti R_a , R_m , P_0 a $\sigma_{\max t}$ na druhu
breusícího kotouče a způsobu chlazení pro mate-
riál 17 246.4 - 3



3.3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST - PROCES ELEKTROCHEMICKÉHO LEŠTĚNÍ

3.3.1. POUŽITÉ VZORKY

Jako vzorků pro elektrochemické leštění bylo použito několik drobných součástí o maximální leštící ploše 50 dm^2 a maximální hmotnosti 15 kg. Byly to nádoby o maximálním průměru 300 mm, šrouby, trubky a podobné drobné součásti. Při tomto způsobu úpravy povrchů byly opracovávány jak vnější tak vnitřní plochy součástí. Na jednotlivé vzorky se použily materiály 17 248, 17 348, 17 246, jejichž vlastnosti a charakteristika byly popsány v kapitole 3.2.1. .

3.3.2. LEŠTÍCÍ ZAŘÍZENÍ A PODMÍNKY LEŠTĚNÍ

Zařízení pro elektrochemické leštění bylo zhotoveno v ZVÚ Hradec Králové (realizace ZN 208/88). Elektrolyt byl používán původní (ZN 715/86).

Základní vybavení leštícího zařízení :

- nádoba z polypropylenu o obsahu 400 dm^3 s předehřevem elektrolytu (šířka 600 mm, délka 800 mm, výška 1000 mm)
- dva elektrické stejnosměrné usměrňovače (150 A)
- kompletní kateda včetně katodového a anodového připojení

Volba základních parametrů pro elektrochemické obrábění : (optimální byly vybrány z návodky pro el.ch. obrábění)

- a) Napětí $U = 5 \text{ až } 10 \text{ V}$ - optimální
- b) Proudová hustota $i = 8 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$ - optimální
rozsah $i = 5 \text{ až } 15 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$

- c) Proudová hodnota I (A) - je vypočítána dle velikosti okamžité leštěné plochy (nebo součtu ploch) součástí nebo aparátů.

$$I = P \cdot i \quad (10)$$

i -je proudová hustota ($A \cdot dm^{-2}$)

P -je leštěná plocha součástí (dm^2)

- d) Plošná hustota elektrického náboje K ($Amin \cdot dm^{-2}$)

- je rozhodující hodnota, která určuje úběr materiálu a tím výslednou kvalitu leštěného povrchu.

$K = 350 Amin \cdot dm^{-2}$ - optimální upotřebitelná hodnota

Plošná hustota el. náboje $K = 350 Amin \cdot dm^{-2}$ odpovídá odebrané hloubce cca 0,035 mm.

- e) Doba leštění T (min).

Celková doba leštění se stanoví ze vzorce :

$$T = \frac{P \cdot K}{I} \quad (11)$$

P -je celková plocha součástí - aparátu (vnitřní, vnější nebo jejich součet) (dm^2)

K -je plošná hustota el. náboje ($Amin \cdot dm^{-2}$)

I -je proudová hustota (A)

- f) Vzdálenost elektrody od vnějšího povrchu $h = 100$ mm,
od vnitřního povrchu také $h = 100$ mm. (max. 160 mm)

- g) Maximální teplota elektrolytu : leštění vnějších ploch
60 °C, vnitřní plochy 50 °C.

V našem případě byly použity všechny uvedené optimální základní parametry.

3.3.3. PŘÍPRAVA A PROVÁDĚNÍ TECHNOLOGICKÉHO PROCESU ELEKTROCHEMICKÉHO OBRÁBĚNÍ

Příprava před el.chem. obráběním :

- Úprava svarů a okelí svarů broušením, měřením nebo tryskáním.
- Úprava funkčních plech broušením s ohledem na požadavek vyšší kvality leštěného povrchu.
- Proces el.chem. leštění probíhal ponořením součásti do elektrolytu a působením elektrického proudu. Všechny plochy musely být zbaveny nečistot a důkladně odmaštěny. Zbytky mastnot zvyšují pění elektrolytu a koncentraci plynů.

Po této přípravě k el.chem. obrábění se součásti (vždy pouze jedna) zavěšovaly pomocí závěsů na anodu s následným připečením k anodě. Dále byl spuštěn usměrňovač, nastavila se proudová hodnota I a zkontrolovalo se napětí U.

Ukončení el.chem. obrábění probíhalo :

- vypnutí zdroje stejnosměrného proudu
- vyjmutí leštěné součásti z elektrolytu, odkapání ulpělého elektrolytu před odložením součásti do nádoby s čistou vodou
- vyjmutí součásti z nádoby s čistou vodou a ponoření do další vany s dekapovací kapalinou (5% až 10% kyselina sírová) na 5 až 10 minut
- konečné opláchnutí čistou vodou

3.3.4. MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU A NAMĚŘENÉ HODNOTY

Konečná výsledná kvalita el.chem. obrobených povrchů je dána :

- kvalitou povrchu výchozího materiálu
- dodržením technologické kázně při předzpracování
- důsledným dodržováním parametrů el.chem. obrábění

V tabulce 5 jsou uvedeny drsnosti povrchu R_a pro válcovaný měřený plech tloušťky 4 mm z nerezavějící oceli. Povrch plechu nebyl žádným způsobem upraven.

V tabulce 6 jsou drsnosti povrchu R_a uvedeny pro stejný válcovaný plechovár jako v tab. 5, ale povrch materiálu byl upraven broušením.

Jednotlivé drsnosti byly naměřeny na drsnoměru Diavit. Hodnoty uvedené v tab. 5 a 6 jsou drsnosti pro materiál 17 246, které se prakticky neliší od naměřených hodnot R_a mat. 17 248 a 17 348.

Tab. 5 Drsnosti povrchu měřeného válcovaného plechu tl. 4 mm
surového a el.chem. obrobeného

R_a před el.chem. leštěním (μm)		R_a po el.chem. leštění (μm)	
průměrná	v rozmezí	průměrná	v rozmezí
2,48	2,19 až 3,02	1,12	1,05 až 1,36
3,16	2,59 až 3,56	1,69	1,28 až 2,22

**Tab. 6 Drsnosti povrchu mořeného válcovaného plechu tl. 4 mm
upraveného broušením a el.chem. obrebeného**

R_a před el.chem. leštěním (μm)	R_a po el.chem. leštění (μm)	
průměrná	průměrná	v rozmezí
3,2	1,98	1,22 až 2,7
1,6	1,21	0,8 až 1,3
0,8	0,47	0,4 až 0,55

4. HODNOCENÍ PROCESU BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ

Cílem v procesu broušení bylo vytypovat nejvhodnější brousící kotouč a způsob chlazení, vybrané z katalogu, pro daný typ broušení a obráběný materiál (nerezavějící ocel).

Při hodnocení tohoto procesu obrábění byly posuzovány tyto ukazatele :

- dosažená drsnost povrchu
- velikost poměrného ohrusu
- velikost a gradient napětí v povrchové vrstvě

Jednotlivá kritéria však nemusí určit zcela jednoznačně nejvhodnější brousící kotouč a způsob chlazení pro daný materiál. Nedá se také s naprostou určitostí konstatovat, které z uvedených kritérií je při hodnocení důležitější. V našem případě bylo ovšem dáváno přednosti kritériu velikosti a gradientu napětí v povrchové vrstvě neboť to má největší vliv na možnost tvoření prasklin v povrchové zóně materiálu.

Pro zadané použití materiálů na potravinářské a chemické účely jsou praskliny na povrchu absolutně nežádoucí. V prasklinách je možnost zachycování bakterií, kvasinek apod. Drsnost povrchu je kritérium především důležité z hlediska dalšího obrábění - elektrochemického leštění. Poměrný ohrus je zase ukazatelem účinnosti broušení, ale nevystihuje plně pracovní podmínky obrábění.

Cílem v procesu elektrochemického leštění bylo určit drsnosti povrchu daných materiálů po tomto druhu obrábění v závislosti na dosažené předchozí kvalitě povrchu po mechanickém broušení. Drsnost povrchu není v tomto případě zcela určujícím kritériem pro technologické procesy petrovinářského a chemického průmyslu jak tomu je u plech upravených broušením. Velice důležitá je zde zaoblenost výsledného mikroprofilu a tudíž omyvatelnost získaného povrchu. Tyto vlastnosti povrchu se výrazně ukazují právě při elektrochemickém leštění, kde profil povrchu s rostoucím časem nebo intenzitou leštění se stává zaoblenějším a tím kvalitnějším. Navíc po tomto způsobu leštění nevzniká v povrchové vrstvě napětí, ale spíše ho odstraňuje.

4.1. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení výsledků broušení bylo provedeno z grafů na obrázcích 11 až 13, z důvodu lepšího přehledu naměřených a vypočítaných hodnot.

Výběr nejvhodnějšího brousícího kotouče a způsobu chlazení pro materiál 17 248.4.

Z uvedených grafů vyplívá, že použité brousící kotouče a způsoby chlazení 2C (A99 25L 9V a Rebel), 4B a 4C jsou z hlediska povrchové napjatosti materiálu nevhodné. Je zde možnost tvorby trhlin, protože mez pevnosti v tahu tohoto materiálu $\sigma_{pt} = 500 \text{ MPa}$ je nižší než dosažené výsledky. Podle kritéria drsnosti povrchu R_a a R_m nejlepší výsledky dosáhla kombinace (kotouč - způsob chl.) 3C. Dokonce má i vysoký poměrný obrus. Ale při použití kotouče č. 3 (C49 25J 10V) vznikala v místě obrábění vysoká teplota

vlivem ucpávání pórů na povrchu kotouče obráběným materiálem. Vysoká teplota se projevovala zabarvením povrchu vzorku. Kotouč č. 3 se velice rychle otupeval. Proto tento typ kotouče by mohl mít své použití při broušení s velmi malými hloubkami úběru. Například při dokončovacím broušení. Jinak nejlepších výsledků dosáhl, podle zadaných kritérií, kotouč č. 1 (A98T 25K 9V) se způsobem chlazení C (Rebol). Kombinace 1C má dobré drsnosti povrchu R_a i R_m , vcelku vysoký poměrný o brus a minimální povrchové napětí v tahu. Mimo toho stejné výsledky ukazují ještě brousící kotouč a způsob chlazení 1B, 3A, 2B (A je broušení za sucha).

Výběr nejvhodnějšího brousícího kotouče a způsobu chlazení pro materiál 17 348.4.

Pro tento materiál na grafu pro povrchové napětí $\sigma_{\max t}$ můžeme určit brousící kotouče a způsoby chlazení 1A, 2B, 3B, 3C, 4B a 4C jako nevhodné a použitelné jen s jistým rizikem vzniku trhlin na broušeném povrchu. Pro nerezavějící ocel 17 348.4 je mez pevnosti v tahu $\sigma_{pt} = 500\text{MPa}$. Ze zbývajících kombinací dosáhly nejvhodnějších výsledků brousící kotouč č. 1 (A98T 25K 9V) s chladicí kapalinou typu Rebol a kotouč č. 2 (A99 25L 9V) také s Rebolem. Oba dva vytypované kotouče s řeznou kapalinou dávají kvalitní povrch s nízkou drsností R_a i R_m a ukazují ucházející poměrný o brus. Kombinace 2C dokonce ještě o trochu lepší. Použitelné, ale jenom v určité míře, by mohly být kotouče a chlazení 1B a 3A.

Výběr nejvhodnějšího brousícího kotouče a způsobu chlazení pro materiál 17 246.4.

Podobně jako u předešlých dvou materiálů vzhledem k vysokému povrchovému napětí v tahu $\sigma_{\max t}$, braného z grafu pro toto pnutí, se nedoporučují, z důvodů už popsaných,

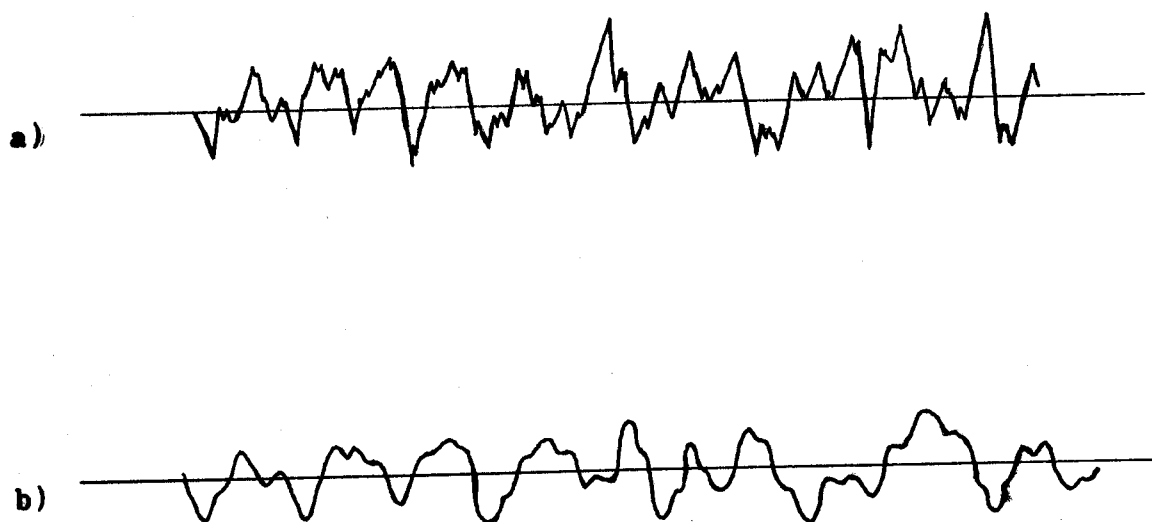
brousící kotouče a způsoby chlazení 1A, 1B, 1C, 3B a 4A.

Ze všech zbývajících nejlépe se osvědčil kotouč č. 3 (C49 25L 10V) s použitím emulgačního oleje typu Rebel, vhodný především pro dekenčovací operace broušení. (stejně jako u materiálu 17 248.4) Mimo toho ještě velmi dobrých výsledků dosáhly brousící kotouče č. 2 (A99 25L 9V) a č. 4 (A98 25K 9V) s použitím stejné řezné kapaliny typu Rebel. Kotouč č. 2 vzhledem k poměrnému obrušování je na tom o trochu lépe a proto také můžeme konstatovat, že právě pro tento materiál v klasickém procesu broušení, je vzhledem k uvažovaným kritériím nejvhodnější.

Celkově bychom potom mohli charakterizovat dosažené výsledky tak, že uplatnění pro tyto tři nerezavějící oceli nenalezl prakticky kotouč č. 4 (A98 25K 9V) a broušení těchto ocelí za sucha také není výhodné. K dosažení kvalitního povrchu v procesu broušení je nejlepší použít ke chlazení a mazání místa řezu emulgační olej Rebel o 5-ti % koncentraci. Řezná kapalina Emulzin H dosahuje horších výsledků, ale opět výrazně lepších, než při suchém broušení.

Hodnocení výsledků elektrochemického leštění je velice jednoduché, protože z tabulek 5 a 6 vyplívá zcela jednoznačně následující závislost. Čím je povrch před elektrochemickým leštěním kvalitnější z hlediska drsnosti, tím je výsledná hodnota R_a po el.chem. leštění nižší. To znamená bude-li hodnota po broušení $R_a = 0,8 \mu\text{m}$, což je asi průměrná hodnota drsnosti dosažovaná už vytypovanými brousícími kotouči a způsoby chlazení při stanovených řezných podmínkách pro dané nerezavějící oceli, potom hodnota drsnosti povrchu po el.chem. leštění se bude pohybovat v malém rozmezí okolo výsledné $R_a = 0,5 \mu\text{m}$.

Jak už bylo napsáno v předcházející kapitole není drsnost povrchu při el.chem. obrábění určujícím kriteriem pro výroby potravinářského a chemického (popř. farmaceutického) charakteru. Velice důležitá je zde zaoblenost mikroprofilu a tím omyvatelnost povrchu, která právě vzniká při tomto způsobu leštění. Na obr. 14 je znázorněn rozdíl ve tvaru mikroprofilu po jemném mechanickém broušení a po el.chem. obrábění při stejné drsnosti povrchu R_a .



Obr. 14 Diagramy profilu povrchu materiálu stejné drsnosti R_a

a) povrch upraven mechanickým broušením

b) povrch upraven elektrochemickým leštěním

Dále velice významným a oproti mechanickému leštění obráceným činitelem je vlastnost el.chem. leštění odstraňovat

povrchové napjatosti po předchozím obrábění nebo tváření materiálu. Ovšem hluboké rýhy nebo praskliny na povrchu materiálu odstranit nedokáže, ty se musí nejlépe odbrousit.

5. NÁVRH TECHNOLOGIE BROUŠENÍ A LEŠTĚNÍ V PODMÍNKÁCH ZVÚ HRADEC KRÁLOVÉ

Všechny hodnoty týkající se procesu broušení byly dosaženy při obrábění na rovinné brusce. Přitom v ZVÚ Hradec Králové se většinou brousí vnitřní povrchy válcových nádob ručně. Až nyní se bude postupně zavádět do provozu nová planetová bruska na broušení popsaných povrchů. Proto je nutné chápat tyto návrhy technologií vyloženě informativně a dosažené výsledky na této nové brusce mohou být zcela odlišné. Pro určení konkrétních a přesných hodnot je nutné provádět měření přímo na uvedené brusce. Zatím tato možnost nebyla, jelikož planetová bruska je ve stadiu vývoje a je chráněna několika patenty.

Návrh technologie broušení pro materiál 17 248.4 spočívá ve stanovení řezných podmínek, vhodného brousícího nástroje a nejvýhodnějšího způsobu chlazení. Řezné podmínky pro tyto vysoce legované materiály jsou stanoveny z katalogu brousících nástrojů 1989 /7/. U všech třech nerezových materiálů jsou stejné.

- obvodová rychlost kotouče	$v_k = 31,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
posuvová rychlost	$v_o = 13,92 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
hloubka záběru	$h = 0,01 \text{ mm}$
příčný posuv	$v_p = 2/3 \text{ šířky kotouče}$

Vhodný brousící kotouč pro tuto ocel a z výsledků nejdepořučovanější je kotouč č. 1 A98T 25K 9V. Nejvýhodnější je chlazení označované C a to znamená Robelem o 5-ti % koncentraci.

Pro nerezavějící ocel 17 348.4 jsou řezné podmínky v_k , v_o , h a v_p shodné s materiálem č. 1. Z vyhodnocování výsled-

ků vyplívá brousící kotouč, který dává nejprůzračnější vlastnosti povrchu materiálu, s č. 2 A99 25L 9V v kombinaci s chladicí kapalinou Rebelem o 5-ti % koncentraci.

Konečně pro materiál 17 246.4 jsou řezné podmínky opět shodné a nejvhodnější ze sady brousících nástrojů je kotouč s č. 2 A99 25L 9V a také s řeznou kapalinou typu emulgační olej s názvem Rebel o 5-ti % koncentraci.

Telik by asi bylo k návrhu technologie broušení daných materiálů. Nemá totiž cenu rozepisovat další údaje technologického postupu, protože by se musely stanovit pro předem známý výrobek a brousící stroj.

Návrh technologie leštění není vlastně návrhem, ale doporučením popsaného způsobu leštění elektrochemickým rozpouštěním. Základní lešticí parametry budou shodné s optimálními, které jsou již předepsány v kapitole 3.3.2. Je třeba si především uvědomit výhodnost použití leštění právě elektrochemického. Nejen, že dává v porovnání s mechanickým leštěním daleko kvalitnější povrch, ale vychází ve svůj prospěch i mnohem lépe ekonomicky. V přepočtu na normohodiny, jak u kterého výrobku, to vypadá tak asi 3-krát méně Nhod, než u mechanického leštění a broušení. Zajisté to neplatí obecně, ale pouze v podmínkách ZVÚ Hradec Králové.

Z ekonomických výpočtů vyplívá, že čím je leštěná součást (v našem případě válcová nádoba) větší, tím je pro el.chem. obrábění ekonomicky výhodnější.

6. ZÁVĚR

Pro efektivní broušení je jedním ze základních předpokladů dobrý, kvalitní a především správně zvolený brousící nástroj. Jak je možné vidět z předcházejících stránek je pro broušení velice důležité chlazení místa řezu vhodnou řeznou kapalinou. Změnou řezné kapaliny se mění kvalita výsledného povrchu materiálu více než změnou doporučeného brousícího kotouče. Jen správně zvolený brousící nástroj a řezné podmínky tzn. i chlazení umožňují obrábět za minimálních nákladů, při co největší efektivnosti procesu.

Pohled do tabulek 2 až 4 a grafů na obr. 11 až 13 s konkrétními výsledky měření a výpočtů nám dává jasnou představu, který nebo které brousící kotouče a způsoby chlazení jsou pro uvedený materiál nejvhodnější podle daných kritérií.

Elektrochemické leštění je jedním z perspektivních druhů výroby kvalitních povrchů v podstatě neporovnatelný s jinými druhy leštění. V jeho prospěch hovoří jak dosažené výsledky měření tak ekonomické aspekty. Z tabulek 5 a 6 je možné vyčíst závislost drsnosti povrchu materiálu před el.chem. leštěním na výsledné drsnosti po vlastním leštění.

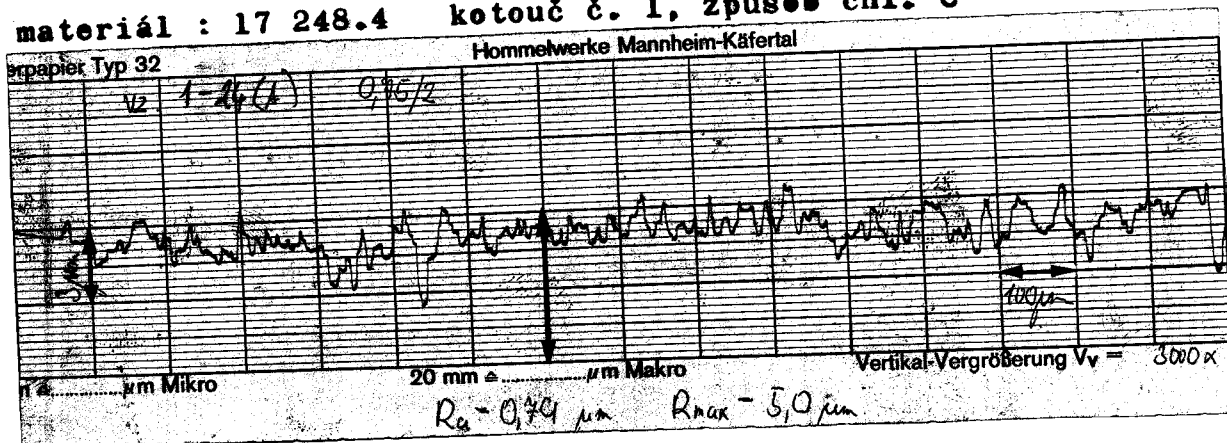
U leštěných obrobků touto metodou se ovšem nekontrolují hodnoty drsnosti, ale jejich lesklost, která se porovnává s cejchovanými etalony.

Celá diplomová práce povětšinou neobsahuje vyloženě objevené momenty, ale spíše jsou v ní uvedené teorie notoricky známé. Měla za úkol vytypovat pro tradiční nerezavějící oceli vhodný brousící nástroj a řezné podmínky tak, aby získaný broušený povrch byl vhodným východiskem pro el.chem. leštění.

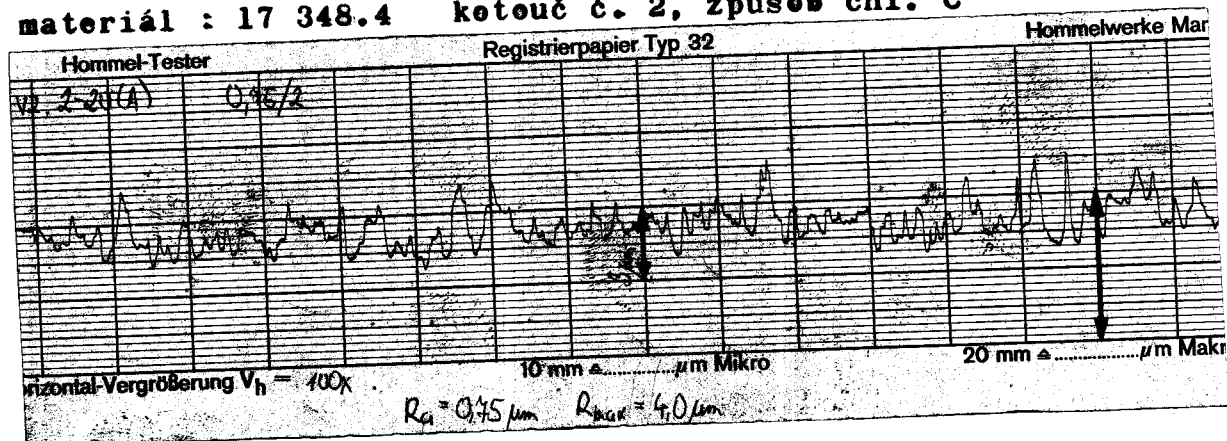
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- /1/ GAŠPÁREK, J.: Dokončovacie spôsoby obrábania. 1. vyd.
SNTL Alfa, Praha 1979.
- /2/ MASLOV, J.N.: Teorie broušení kovů. 1. vyd. SNTL, Praha
1979.
- /3/ SLAVÍKOVÁ, J.: Vytýpování nejvhodnější technologie při brou-
šení materiálů obtížně brusitelných. /diplo-
mová práce/ Liberec 1988. - VŠST Liberec.
Fakulta strojní.
- /4/ KOMENDA, D.: Vybudování laboratoře pro měření zbytkových
pnutí metodou elektrolytického rozpouštění.
/diplomová práce/ Liberec 1986. - VŠST Liberec.
- /5/ BUMBÁLEK, B.: Řezné kapaliny. 1. vyd. SNTL, Praha 1963.
- /6/ KOLEKTIV.: Efektívne použitie rezných kvapalín pri obrá-
baní. 1. vyd. Dom techniky ČSVTS, Bratislava
1988.
- /7/ KOLEKTIV.: Katalog brousících nástrojů 1989. 1. vyd.
TST k.p. Benátky n.J., Praha 1989.
- /8/ MERUŇKA, DREJNAR.: Elektrochemické obrábění vnitřních
povrchů UKT a CKT./výzkumná zpráva/
Hradec Králové 1986.
- /9/ ČSN 01 02 50

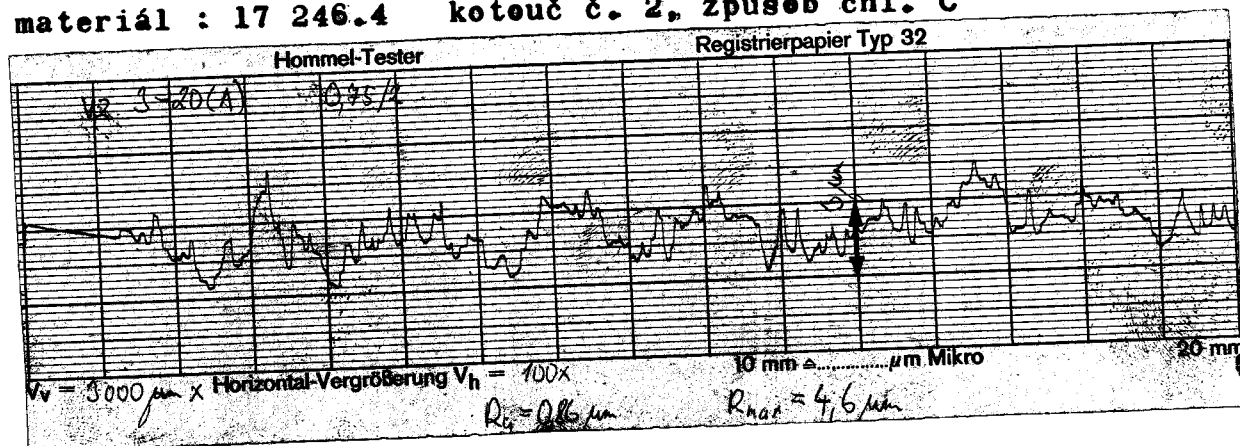
materiál : 17 248.4 kotouč č. 1, způsob chl. C



materiál : 17 348.4 kotouč č. 2, způsob chl. C



materiál : 17 246.4 kotouč č. 2, způsob chl. C



Obr. 15 Grafické záznamy nejlepších dosáhnutých drsností
povrchu pro všechny tři materiály

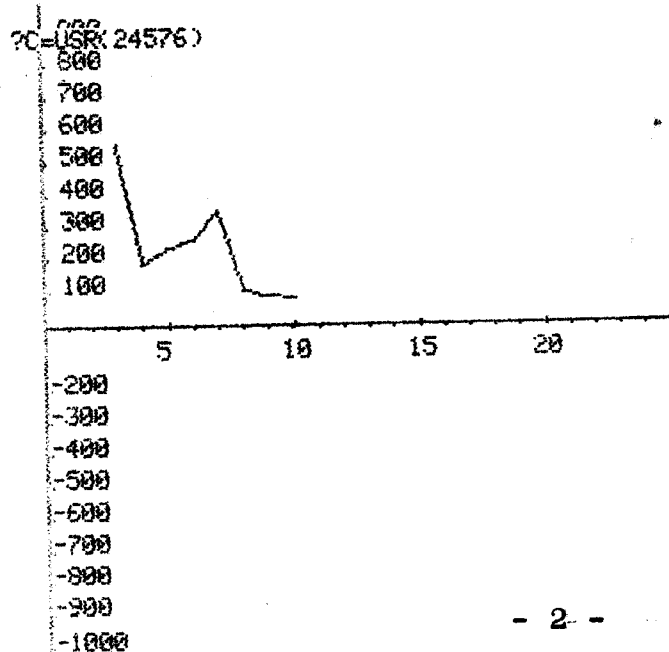
MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 DNESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU. CISLO: 1.16.
 HKI) JE HLoubKA POD POVRCHEM. V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KONENBA)

I= 1 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)= 1.11436E+09
 I= 2 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)= 1.03991E+09
 I= 3 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)= 5.55178E+08
 I= 4 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)= 1.87098E+08
 I= 5 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)= 2.32321E+08
 I= 6 HKI)= 6E-05
 SIGMA(I)= 2.61272E+08
 I= 7 HKI)= 7E-05
 SIGMA(I)= 3.52253E+08
 I= 8 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)= 9.97868E+07
 ?C=USR(24576)

CONT

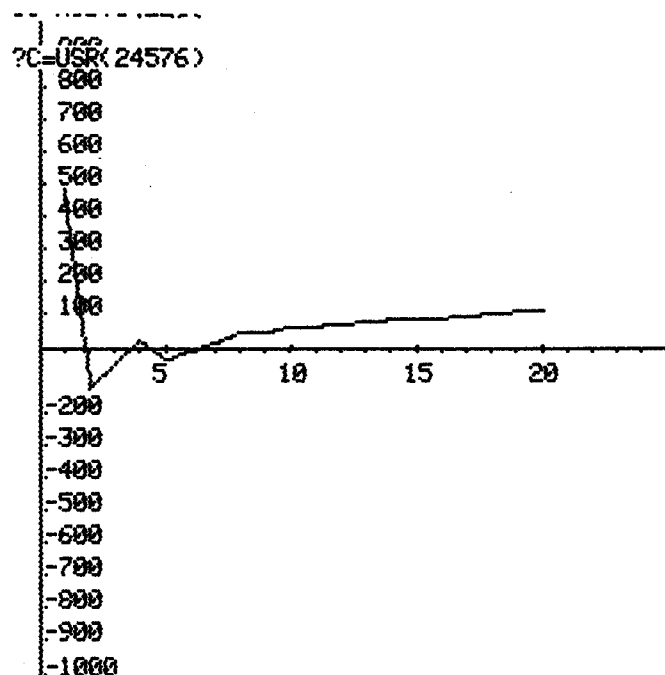
I= 9 HKI)= 9E-05
 SIGMA(I)= 8.32068E+07
 I= 10 HKI)= 1E-04
 SIGMA(I)= 8.22922E+07

?C=USR(24576)



MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 DNESRPEN98
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, CÍSLO: 1.28.
 HKI) JE HLoubKA POD POVRCHEM, V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)
 I= 1 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)= 4.83711E+08
 I= 2 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)=-1.38353E+08
 I= 3 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)=-5.31195E+07
 I= 4 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)= 2.29966E+07
 I= 5 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)=-3.99861E+07
 I= 6 HKI)= 6E-05
 SIGMA(I)=-1.45578E+07
 I= 7 HKI)= 7E-05
 SIGMA(I)= 1.05002E+07
 I= 8 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)= 4.26344E+07
 ?C=USR(24576)

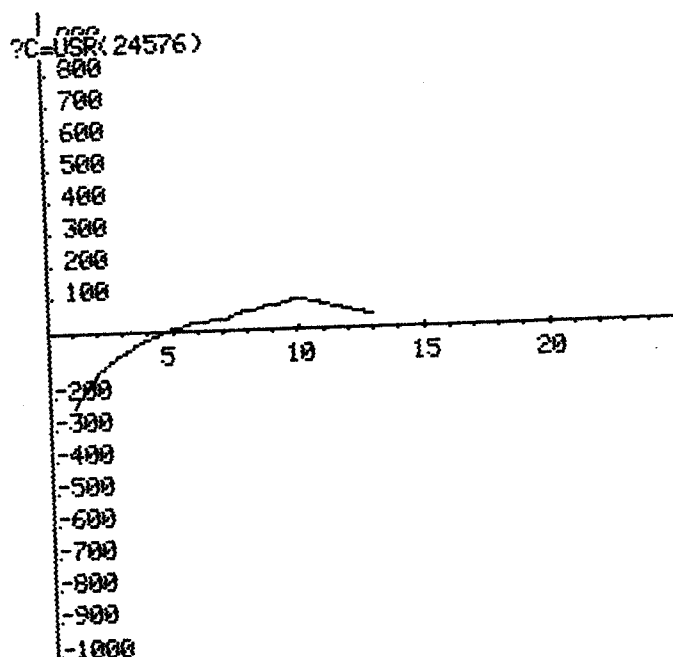
I= 9 HKI)= 9E-05
 SIGMA(I)= 4.70995E+07
 I= 10 HKI)= 1E-04
 SIGMA(I)= 5.8884E+07
 I= 11 HKI)= 1.5E-04
 SIGMA(I)= 8.3907E+07
 I= 12 HKI)= 2E-04
 SIGMA(I)= 1.12369E+08



MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO OILEPTAVANI
 INESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, CÍSLO: 1.24.
 HKI) JE HLUBKA POD POVRCHEM, V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)

I= 1 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)=-2.33515E+08
 I= 2 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)=-1.29173E+08
 I= 3 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)=-6.97986E+07
 I= 4 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)=-2.57166E+07
 I= 5 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)= 3.34387E+06
 I= 6 HKI)= 6E-05
 SIGMA(I)= 1.76486E+07
 I= 7 HKI)= 7E-05
 SIGMA(I)= 2.60327E+07
 I= 8 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)= 5.42067E+07
 ?C=USR(24576)

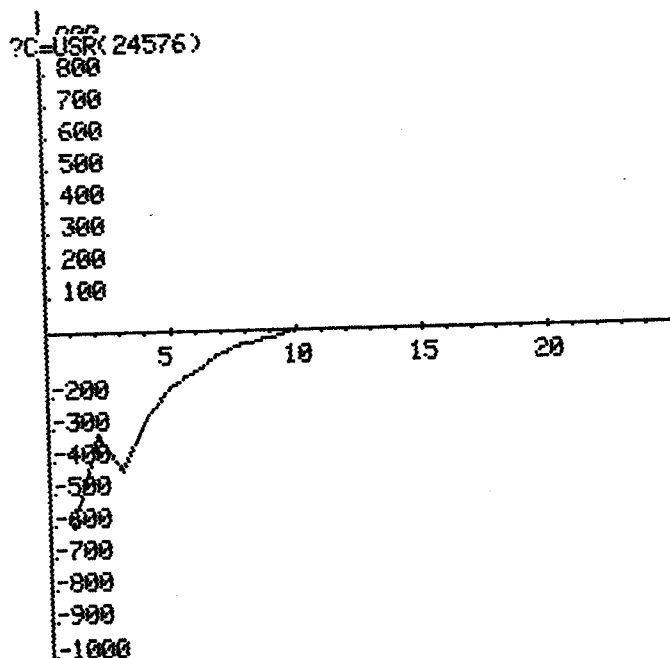
I= 9 HKI)= 9E-05
 SIGMA(I)= 7.34593E+07
 I= 10 HKI)= 1E-04
 SIGMA(I)= 8.67746E+07
 I= 11 HKI)= 1.3E-04
 SIGMA(I)= 3.86475E+07



MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 DNESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, CÍSLO: 1.26.
 HKI) JE HLoubKA POD POVRCHEM, V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)

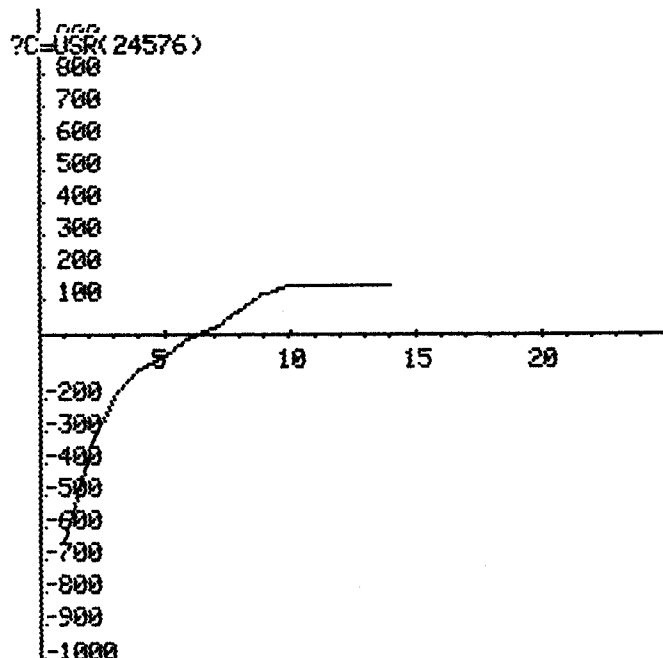
I= 1 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)=-6.08879E+08
 I= 2 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)=-3.19166E+08
 I= 3 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)=-4.36756E+08
 I= 4 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)=-2.71813E+08
 I= 5 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)=-1.69049E+08
 I= 6 HKI)= 6E-05
 SIGMA(I)=-1.27444E+08
 I= 7 HKI)= 7E-05
 SIGMA(I)=-6.65203E+07
 I= 8 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)=-4.60055E+07
 ?C=USR(24576)

I= 9 HKI)= 9E-05
 SIGMA(I)=-2.57627E+07
 I= 10 HKI)= 1E-04
 SIGMA(I)=-5.79008E+06
 I= 11 HKI)= 1.4E-04
 SIGMA(I)=-3.54518E+06



MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 INESRPENSO
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU. CISLO: 1.27.
 HKI) JE HLoubKA POD POVRCHEN. V NIZ
 BYLO NAPETI ZUJSTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)
 I= 1 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)= -6.48617E+08
 I= 2 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)= -3.59299E+08
 I= 3 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)= -1.94607E+08
 I= 4 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)= -1.12362E+08
 I= 5 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)= -7.12053E+07
 I= 6 HKI)= 6E-05
 SIGMA(I)= -1.0661E+07
 I= 7 HKI)= 7E-05
 SIGMA(I)= 9.34316E+06
 I= 8 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)= 6.86751E+07
 ?C=USR(24576)

I= 9 HKI)= 9E-05
 SIGMA(I)= 1.19312E+08
 I= 10 HKI)= 1E-04
 SIGMA(I)= 1.45662E+08
 I= 11 HKI)= 1.4E-04
 SIGMA(I)= 1.42814E+08

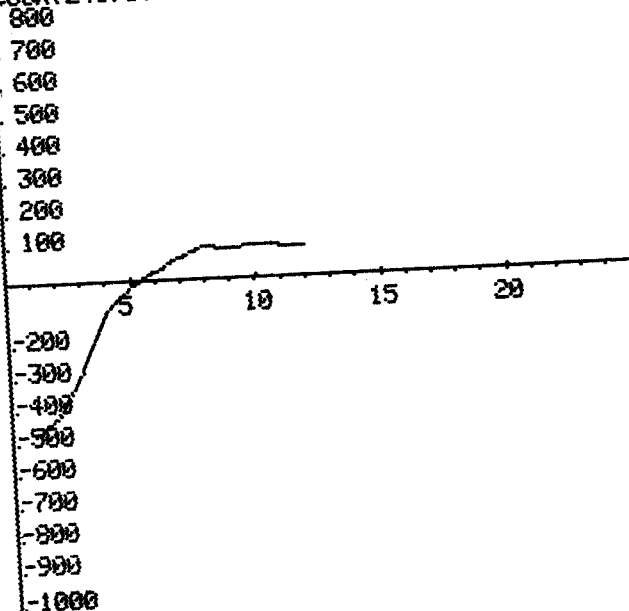


MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 DNESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, CISLO: 1.30
 HKI) JE HLOUBKA POD POVRCEM, V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)

I= 1 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)=-4.78468E+08
 I= 2 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)=-4.17155E+08
 I= 3 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)=-2.72874E+08
 I= 4 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)=-1.02827E+08
 I= 5 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)=-2.40041E+07
 I= 6 HKI)= 6E-05
 SIGMA(I)= 2.32734E+07
 I= 7 HKI)= 7E-05
 SIGMA(I)= 5.88443E+07
 I= 8 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)= 9.11474E+07
 ?C=USR(24576)

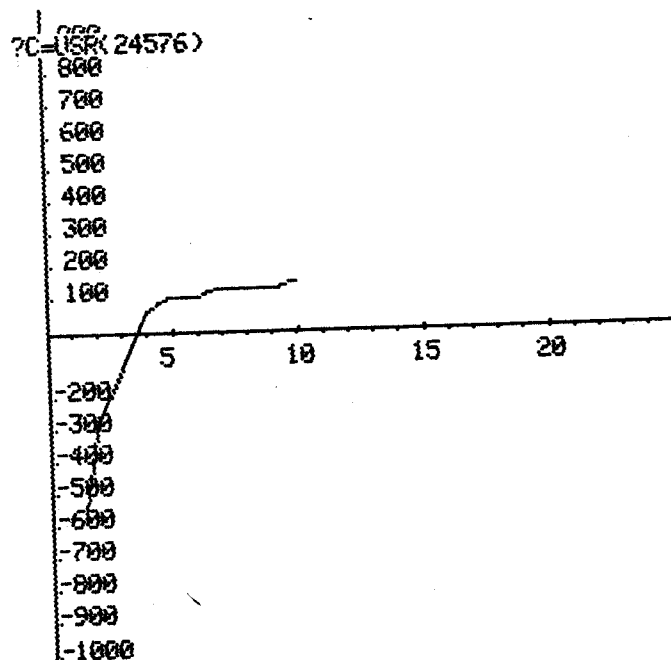
I= 9 HKI)= 9E-05
 SIGMA(I)= 9.01713E+07
 I= 10 HKI)= 1E-04
 SIGMA(I)= 9.46478E+07
 I= 11 HKI)= 1.2E-04
 SIGMA(I)= 8.78967E+07

?C=USR(24576)



MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 INESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, CÍSLO 2.8.
 HKI) JE HLUBKA POD POVRCHEM, V NIZ
 BYLO NAPETI ZUŠTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KONENIDA)
 I= 1 HKI)= 5E-06
 SIGMA(I)= 2.71654E+09
 I= 2 HKI)= 9.5E-06
 SIGMA(I)= 2.50737E+09
 I= 3 HKI)= 1.45E-05
 SIGMA(I)= -5.75090E+08
 I= 4 HKI)= 1.95E-05
 SIGMA(I)= -2.91201E+08
 I= 5 HKI)= 2.95E-05
 SIGMA(I)= -1.09828E+08
 I= 6 HKI)= 3.95E-05
 SIGMA(I)= 5.9413E+07
 I= 7 HKI)= 4.95E-05
 SIGMA(I)= 1.03888E+08
 I= 8 HKI)= 5.95E-05
 SIGMA(I)= 1.03225E+08
 7C=USK 24576)

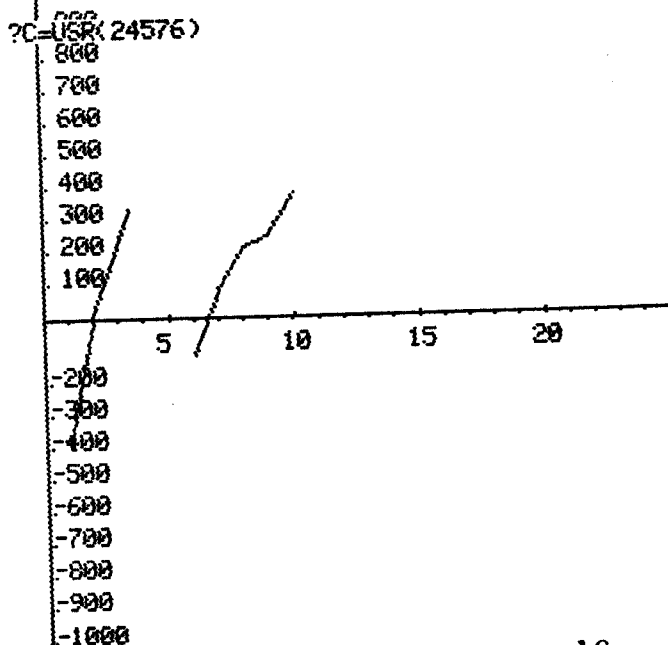
I= 9 HKI)= 6.95E-05
 SIGMA(I)= 1.30487E+08
 I= 10 HKI)= 7.95E-05
 SIGMA(I)= 1.29655E+08
 I= 11 HKI)= 8.95E-05
 SIGMA(I)= 1.28827E+08
 I= 12 HKI)= 9.95E-05
 SIGMA(I)= 1.4465E+08



MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 DNESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOSCHEHO VZORKU.CISLO:2.9.
 H(I) JE HLOUBKA POD POVRCHEN,V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL:KOMENDA)

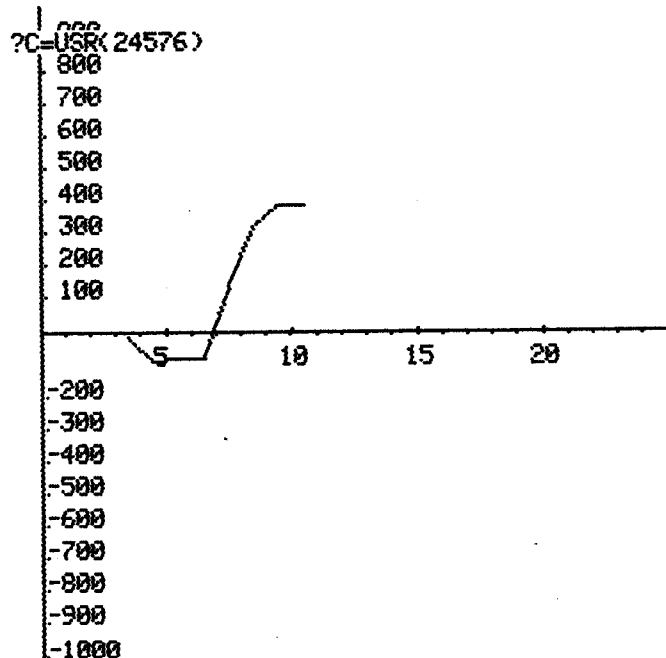
I= 1 H(I)= 1E-05
 SIGMA(I)=-4.02752E+08
 I= 2 H(I)= 2E-05
 SIGMA(I)= 1.64556E+06
 I= 3 H(I)= 3E-05
 SIGMA(I)= 2.15563E+08
 I= 4 H(I)= 3.5E-05
 SIGMA(I)= 3.34671E+08
 I= 5 H(I)= 4E-05
 SIGMA(I)=-1.13408E+09
 I= 6 H(I)= 4.5E-05
 SIGMA(I)=-4.39625E+09
 I= 7 H(I)= 5E-05
 SIGMA(I)=-1.32015E+09
 I= 8 H(I)= 6E-05
 SIGMA(I)=-1.18767E+08
 ?C=USR(24576)

I= 9 H(I)= 7E-05
 SIGMA(I)= 8.09088E+07
 I= 10 H(I)= 8E-05
 SIGMA(I)= 2.12778E+08
 I= 11 H(I)= 9E-05
 SIGMA(I)= 2.4451E+08
 I= 12 H(I)= 1E-04
 SIGMA(I)= 3.7482E+08



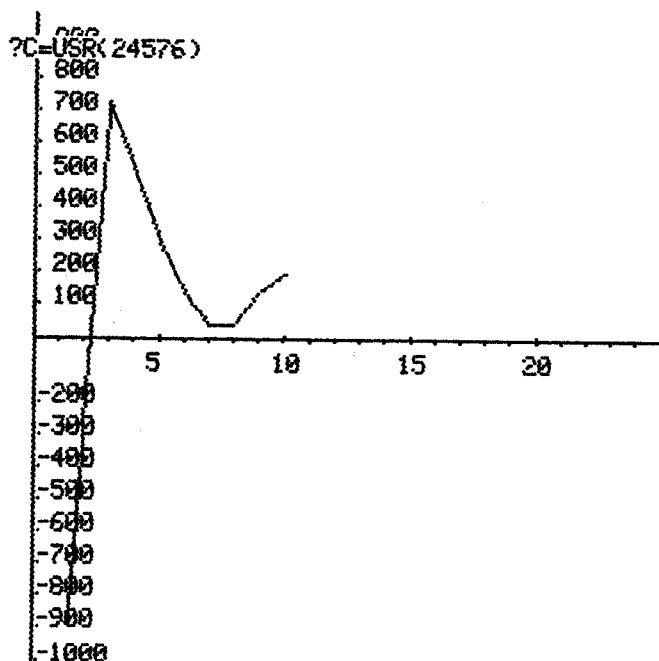
MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO GODEPTAVANI
 INESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, CISO 2.17.
 KI) JE HLOUBKA POD POVRCEM, V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL KOMENIA)
 I= 1 KI)= 5E-06
 SIGMA(I)=-9.60731E+09
 I= 2 KI)= 1E-05
 SIGMA(I)=-5.22902E+09
 I= 3 KI)= 1.5E-05
 SIGMA(I)= 1.22876E+09
 I= 4 KI)= 2E-05
 SIGMA(I)= 2.12296E+09
 I= 5 KI)= 2.5E-05
 SIGMA(I)= 1.36896E+09
 I= 6 KI)= 3.5E-05
 SIGMA(I)=-1.66538E+07
 I= 7 KI)= 4.5E-05
 SIGMA(I)=-9.09546E+07
 I= 8 KI)= 5.5E-05
 SIGMA(I)=-9.03528E+07
 ?C=USR(24576)

I= 9 KI)= 6.5E-05
 SIGMA(I)=-8.97533E+07
 I= 10 KI)= 7.5E-05
 SIGMA(I)= 1.32808E+08
 I= 11 KI)= 8.5E-05
 SIGMA(I)= 3.16624E+08
 I= 12 KI)= 9.5E-05
 SIGMA(I)= 3.88397E+08
 I= 13 KI)= 1.05E-04
 SIGMA(I)= 3.86037E+08



VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 INESRPEN98
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, CÍSLO: 2.22.
 HKI) JE HLoubKA POD POVRCHEN, V NIZ
 BYLO NAPETI ZUJSTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)
 I= 1 HKI)= 5E-06
 SIGMA(I)=-2.53926E+09
 I= 2 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)=-1.9461E+09
 I= 3 HKI)= 1.5E-05
 SIGMA(I)=-9.00507E+08
 I= 4 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)=-3.13548E+08
 I= 5 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)= 7.24191E+08
 I= 6 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)= 5.25835E+08
 I= 7 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)= 2.96827E+08
 I= 8 HKI)= 6E-05
 SIGMA(I)= 1.34064E+08
 I= 9 HKI)= 7E-05
 ?C=USRX24576)

SIGMA(I)= 3.68779E+07
 I= 10 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)= 3.66603E+07
 I= 11 HKI)= 9E-05
 SIGMA(I)= 1.32419E+08
 I= 12 HKI)= 1E-04
 SIGMA(I)= 1.95463E+08

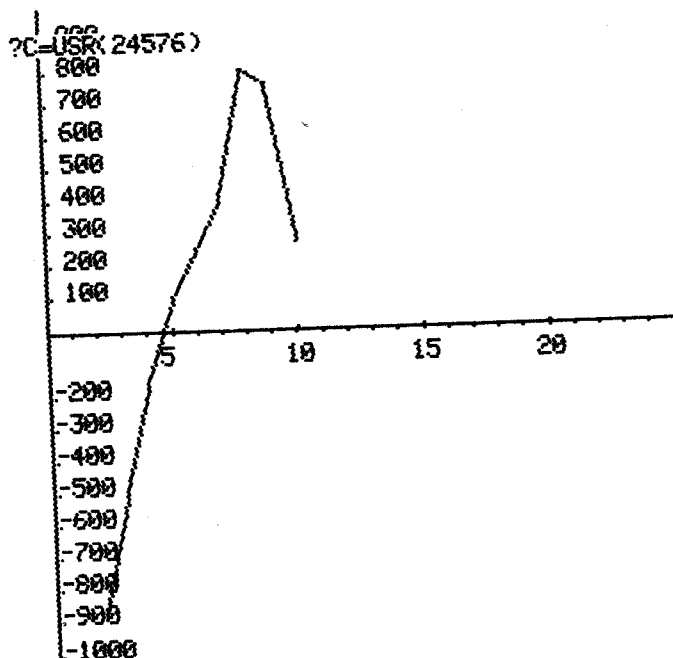


MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 INESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, CÍSLO: 2.25.
 HKI) JE HLoubKA POD POVRCHEN, V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)

I= 1 HKI)= 5E-06
 SIGMA(I)=-3.9136E+09
 I= 2 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)=-1.9472E+09
 I= 3 HKI)= 1.5E-05
 SIGMA(I)=-1.34055E+09
 I= 4 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)=-8.86351E+08
 I= 5 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)=-5.08377E+08
 I= 6 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)=-1.68992E+08
 I= 7 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)= 9.31364E+07
 I= 8 HKI)= 6E-05

?C=USR(24576)

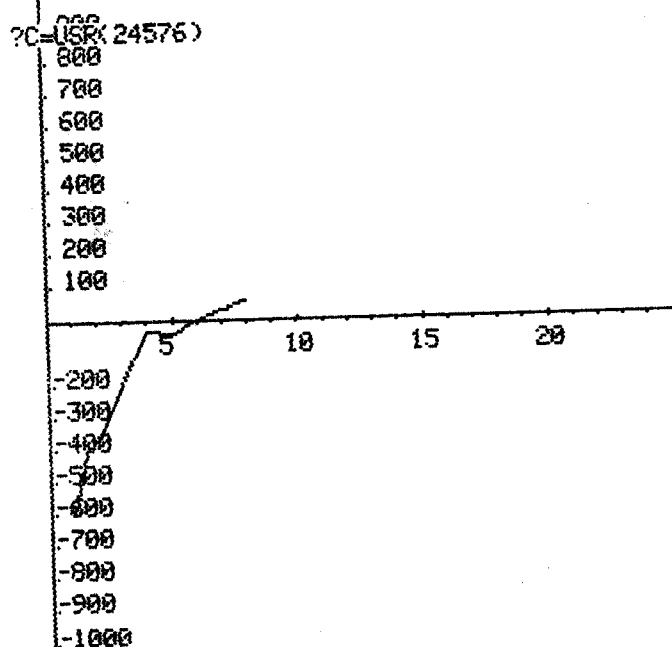
SIGMA(I)= 2.41526E+08
 I= 9 HKI)= 7E-05
 SIGMA(I)= 3.88742E+08
 I= 10 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)= 7.94345E+08
 I= 11 HKI)= 9E-05
 SIGMA(I)= 7.52661E+08
 I= 12 HKI)= 1E-04
 SIGMA(I)= 2.68094E+08



MERENI BYLO PROVEDENO NA KON
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKÉHO ODLEPTAVÁNÍ
 DNE SRPEN 98
 HODNOTA PNUTÍ SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, ČÍSLO 3.18.
 HKI) JE HLoubKA POD POVRCHEM, V NIZ
 BYLO NAPETÍ ZJIŠTOVÁNO
 (MERENÍ PROVADEL KONENDA)

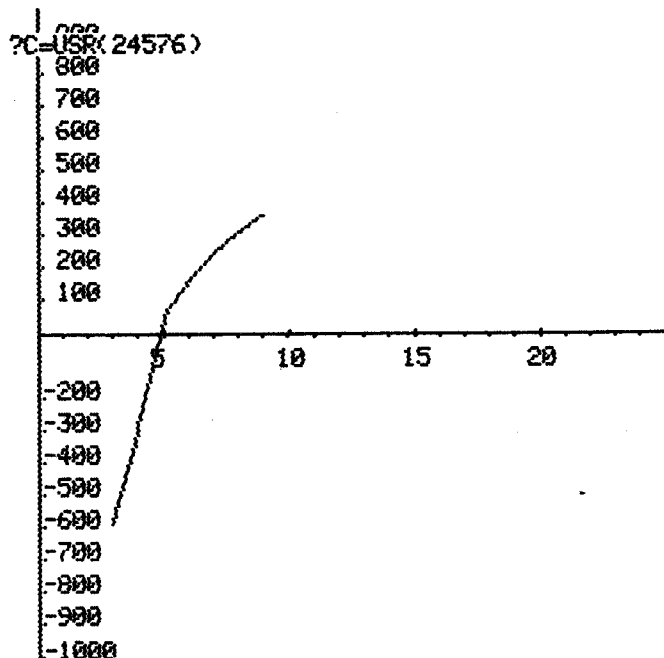
I= 1 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)=-3.49827E+09
 I= 2 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)=-5.98352E+08
 I= 3 HKI)= 1.5E-05
 SIGMA(I)=-3.98997E+08
 I= 4 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)=-3.75043E+08
 I= 5 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)=-1.98921E+08
 I= 6 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)=-3.47758E+07
 I= 7 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)=-4.58773E+07
 I= 8 HKI)= 6E-05
 SIGMA(I)=-1.65248E+06
 ?C=USR(24576)

I= 9 HKI)= 7E-05
 SIGMA(I)= 3.04634E+07
 I= 10 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)= 5.14711E+07



MERENI BYLO PROVEDENO NA KON
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 INESRPEN98
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOSCHEHO VZORKU, CÍSLO: 3.20.
 H(I) JE HLUBKA POD POVRCHEN, V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)
 I= 1 H(I)= 5E-05
 SIGMA(I)=-8.04055E+09
 I= 2 H(I)= 1E-05
 SIGMA(I)=-2.98046E+09
 I= 3 H(I)= 2E-05
 SIGMA(I)=-1.20936E+09
 I= 4 H(I)= 3E-05
 SIGMA(I)=-5.913E+08
 I= 5 H(I)= 4E-05
 SIGMA(I)=-3.01121E+08
 I= 6 H(I)= 5E-05
 SIGMA(I)= 5.54802E+07
 I= 7 H(I)= 6E-05
 SIGMA(I)= 1.60614E+08
 I= 8 H(I)= 7E-05
 SIGMA(I)= 2.46673E+08
 ?C=USR(24576)

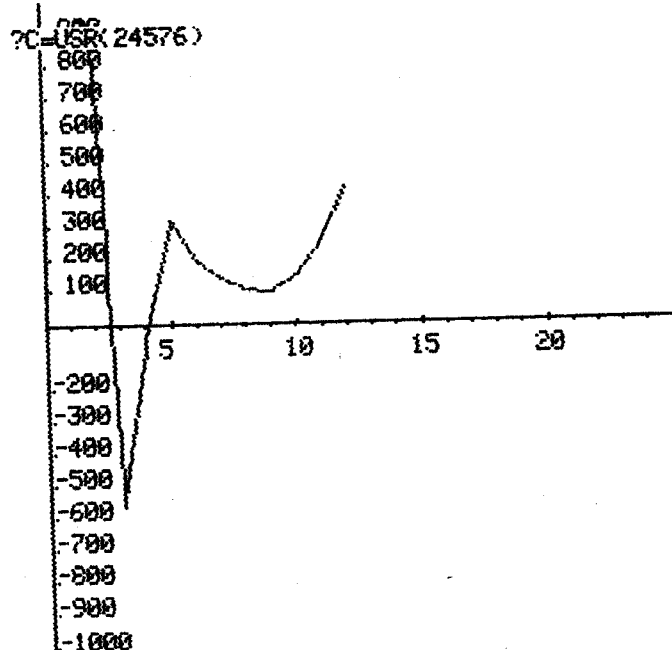
I= 9 H(I)= 8E-05
 SIGMA(I)= 3.13991E+08
 I= 10 H(I)= 9E-05
 SIGMA(I)= 3.62898E+08



MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
VSST V LIBERCI METODOU
ELEKTROLYTICKEHO OBLEPTAVANI
INESRPEN90
HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
PLOCHEHO VZORKU. CISLO: 3.25.
HKI) JE HLOUBKA POD POVRCHEN. V NIZ
BYLO NAPETI ZJISTOVANO
(MERENI PROVADEL: KOMENDA)

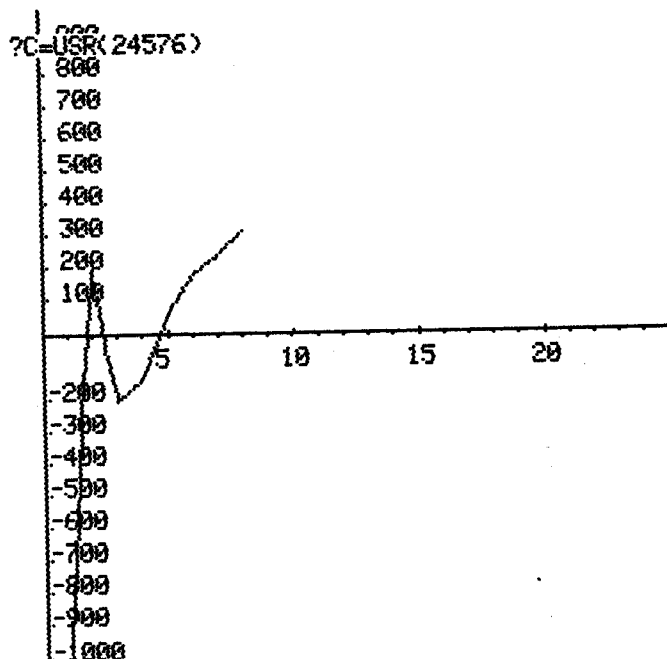
I= 1 HKI)= 5E-05
SIGMA(I)=-3.10788E+09
I= 2 HKI)= 1E-05
SIGMA(I)=-1.05508E+09
I= 3 HKI)= 1.5E-05
SIGMA(I)= 9.34454E+08
I= 4 HKI)= 2E-05
SIGMA(I)= 9.29371E+08
I= 5 HKI)= 2.5E-05
SIGMA(I)= 1.77084E+08
I= 6 HKI)= 3E-05
SIGMA(I)=-5.69729E+08
I= 7 HKI)= 4E-05
SIGMA(I)=-6.21237E+07
I= 8 HKI)= 5E-05
SIGMA(I)= 3.20743E+08
?C=USR(24576)

I= 9 HKI)= 6E-05
SIGMA(I)= 1.98267E+08
I= 10 HKI)= 7E-05
SIGMA(I)= 1.36837E+08
I= 11 HKI)= 8E-05
SIGMA(I)= 9.99159E+07
I= 12 HKI)= 9E-05
SIGMA(I)= 9.88302E+07
I= 13 HKI)= 1E-04
SIGMA(I)= 1.44648E+08
I= 14 HKI)= 1.1E-04
SIGMA(I)= 2.48182E+08
I= 15 HKI)= 1.2E-04
SIGMA(I)= 4.19991E+08



MERENI BYLO PROVEDENO NA KON
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO OOLEPTAVANI
 INESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU. CÍSLO: 3.28.
 HKI) JE HLUBKA POD POVRCHEM. V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)
 I= 1 HKI)= 5E-06
 SIGMA(I)=-2.84143E+09
 I= 2 HKI)= 1E-05
 SIGMA(I)=-1.00324E+09
 I= 3 HKI)= 1.5E-05
 SIGMA(I)=-2.64835E+08
 I= 4 HKI)= 2E-05
 SIGMA(I)= 1.90859E+08
 I= 5 HKI)= 2.5E-05
 SIGMA(I)=-3.60631E+07
 I= 6 HKI)= 3E-05
 SIGMA(I)=-2.12709E+08
 I= 7 HKI)= 4E-05
 SIGMA(I)=-1.48526E+08
 I= 8 HKI)= 5E-05
 SIGMA(I)= 6.53783E+07
 ?C=USR(24576)

I= 9 HKI)= 6E-05
 SIGMA(I)= 1.76758E+08
 I= 10 HKI)= 7E-05
 SIGMA(I)= 2.36973E+08
 I= 11 HKI)= 8E-05
 SIGMA(I)= 3.08692E+08



MERENI BYLO PROVEDENO NA KOM
 VSST V LIBERCI METODOU
 ELEKTROLYTICKEHO ODLEPTAVANI
 INESRPEN90
 HODNOTA PNUTI SIGMA (I)
 PLOCHEHO VZORKU, CISLO: 3.38.
 H(I) JE HLOUBKA POD POVRCHOM, V NIZ
 BYLO NAPETI ZJISTOVANO
 (MERENI PROVADEL: KOMENDA)
 I= 1 H(I)= 5E-06
 SIGMA(I)=-7.34906E+08
 I= 2 H(I)= 1E-05
 SIGMA(I)=-9.90033E+08
 I= 3 H(I)= 1.5E-05
 SIGMA(I)= 5.87545E+08
 I= 4 H(I)= 2E-05
 SIGMA(I)= 6.49019E+08
 I= 5 H(I)= 3E-05
 SIGMA(I)= 3.87397E+08
 I= 6 H(I)= 4E-05
 SIGMA(I)= 2.12539E+08
 I= 7 H(I)= 5E-05
 SIGMA(I)= 1.46481E+08
 I= 8 H(I)= 6E-05
 SIGMA(I)= 3.89116E+07
 ?C=USR(24576)

I= 9 H(I)= 7E-05
 SIGMA(I)=-8.83034E+07
 I= 10 H(I)= 8E-05
 SIGMA(I)=-1.92687E+08
 I= 11 H(I)= 9E-05
 SIGMA(I)=-4.37796E+07
 I= 12 H(I)= 1E-04
 SIGMA(I)= 1.44882E+08

