

Vysoká škola strojní a textilní v liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Obor 23-07-8

Strojírenská technologie
zaměření

strojírenská metalurgie

Katedra materiálu a strojírenské metalurgie

IONTOVÁ NITRIDACE SPÉKANÝCH RYCHLOŘEZNÝCH OCELÍ

KMM 198

Pavel ROZKOVEC

Vedoucí diplomové práce: Ing Jiří Horyna CSc
VŠST Liberec

Rozsah práce a příloh:

Počet stran:	41
Počet tabulek:	17
Počet obrázků:	47
Počet příloh:	14
Počet výkresů:	-

23.května 1986

Vysoká škola: **Strojní a textilní** Fakultu: **strojní**
Katedra: **materiálů a strojírenské metalurgie** Školní rok: **1985/86**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Pavel ROZKOVEC**
obor **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: **Iontová nitridace spékanych rychlořezných ocelí**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s vlastnostmi a použitím spékanych rychlořezných ocelí především 19 830.
2. Seznamte se s iontovou nitridací ocelí.
3. Ve spolupráci s VVPZ k.p. ZEZ připravte a nanitridujte vzorky z klasické ocele 19 830 a spékané ocele 19 830.
4. Porovnejte vlastnosti obou skupin vzorků.
5. Zhodnoťte dosažené výsledky.

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

V 206/86 S

V 1/86 S

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: **asi 50 stran**

Seznam odborné literatury:

- /1/ JECH, J.: Tepelné zpracování oceli. SNTL 1977.
- /2/ EISENKOLB, F.: Fortschritte der Pulvermetalurgie. Akademie Verlag, Berlin, 1973.
- /3/ Další literatura podle dispozice vedoucího diplomové práce.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Horyna, CSc

Konsultant

:

Ing. Karel Dadourek, CSc - ZEZ Liberec

Datum zadání diplomové práce:

9.9.1985

Termín odevzdání diplomové práce:

23.5.1986

Alax

Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

Vedoucí katedry



Alaxin

Doc. Ing. Ján Alaxin, CSc

Děkan

V **Liberci** dne **3.9.** 19**85**

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

V Liberci dne 23. 5. 1986

David Dvořák
.....

OBSAH:

Str.

I . TEXTOVÁ ČÁST

1. ÚVOD	7
2. TEORETICKÁ ČÁST	9
2.1. Iontová nitridace	9
2.1.1. Zařízení pro iontovou nitridaci	9
2.1.2. Popis dějů při iontové nitridaci	10
2.1.3. Struktura povrchových vrstev nitridova- ných v doutnavém výboji	11
2.1.4. Vliv složení nitridovaného materiálu a nitridačních parametrů na průběh a výsledky nitridace	12
2.1.4.1. Vliv uhlíku	13
2.1.4.2. Vliv legur zejména Cr, V, Mo, Al	13
2.1.4.3. Vliv složení provozního plynu	14
2.1.4.4. Vliv napětí na elektrodách proudové hustoty a tlaku plynu	14
2.1.4.5. Vliv pracovní teploty a doby nitridace	15
2.1.5. Některé poznatky z iontové nitridace ve strojírenské praxi	15
2.2. Řezné materiály na bázi Fe vyrobené cestou PM	17
2.2.1. Chemické složení PM nástrojových mate- riálů	17
2.2.1.1. PM RO klasických složení	18
2.2.1.2. RO se zvýšeným podílem karbidů	18
2.2.1.3. RO obohacené menší přísadou monokarbidů	18

	Str.
2.2.1.4. Martenziticky vytvrditelné řezné slitiny	19
2.2.1.5. Řezné slitiny obohacené větší přísadou monokarbidů	19
2.2.2. Výrobní technologie	20
2.2.3. Současné poznatky o některých nejdůležitějších vlastnostech PMRO zejména ocelí ASP	20
2.2.3.1. Vliv obsahu kyslíku	20
2.2.3.2. Vliv obsahu uhlíku	20
2.2.3.3. Vliv způsobu, doby a teplot speč- kání	21
2.2.3.4. Vliv tepelného zpracování	22
2.2.3.5. Vliv tváření a dotváření	22
2.2.3.6. Obrobitelnost broušením	23
2.2.3.7. Houževnatost	23
2.2.4. Využití PM RO v praxi	24
2.3. Závěr teoretické části	25
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	26
3.1. Příprava a zpracování vzorků	26
3.1.1. Výchozí vzorky	26
3.1.1.1. PM RO 19 830	26
3.1.1.2. Klasická RO 19 830	27
3.1.2. Žihání destiček z PM oceli	27
3.1.3. Výroba řezného úhlu	27
3.1.4. Kalení a popuštění	28
3.1.5. Úprava destiček z PM oceli první serie	29
3.1.6. Iontová nitridace	29
3.1.6.1. Nitridace břitových destiček	30

	Str.
3.1.6.2. Nitridace destiček pro zkoušky obrobitelnosti a tvrdosti	30
3.2. Experimenty	31
3.2.1. Závislost mikrotvrdosti na vzdálenosti od okraje nitridované vrstvy 0,2 /mm/	31
3.2.2. Mikrotvrdost vrstvy na břitových des- tičkách	33
3.2.3. Zkouška řezivosti	34
3.2.4. Zkouška obrobitelnosti	36
4. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	38
5. ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	
II . OBRAZOVÁ A TABULKOVÁ ČÁST	

I . TEXTOVÁ ČÁST

1. ÚVOD

Diplomová práce byla vypracována v období příprav a průběhu příprav 17. sjezdu KSČ, který postavil společnost před kvalitativně i kvantitativně nové úkoly, nové cíle, jejichž uskutečňováním se dosáhne urychlení celospolečenského rozvoje. Ve Zprávě o hlavních směrech hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986 - 1990 a výhledu do roku 2000 řekl mimo jiné člen předsednictva ÚV KSČ soudruh Lubomír Štrougal: "Hlavními nositeli dynamiky rozvoje průmyslu a progresivního uplatňování výsledků vědeckotechnického pokroku v celém národním hospodářství jsou strojírenská odvětví". /18/

Jednou z cest k dynamickému růstu strojírenství je také rozsáhlé uplatnění nových, progresivních technologií a materiálů.

A právě předmět této diplomové práce, aplikace iontové nitridace na spékané rychlořezné oceli, je spojením progresivních technologií a progresivního materiálu k získání užitečných vlastností vysoce kvalitních jak po stránce ekonomického zhodnocení, tak i po stránce možností vlastního využití.

V rozvaze o rozvoji spékaných řezných materiálů v ČSSR uvádí Ing. Ivo Kvasnička CSc, že je nutné vytvořit z hlediska potřeb strojírenství řadu řezných materiálů, jejichž vlastnosti budou přesně odpovídat charakteru dané operace, tedy zejména pro velkosériové a hromadné výroby a dále řadu řezných materiálů s univerzálním použitím pro výroby malosériové a kusové. U obou skupin je nutné zajistit vyšší užitečné vlastnosti zejména zvýšit řezivost. /8/

Technologie práškové metalurgie zajišťuje možnosti ve variabilitě chemického složení a tím i ve výsledných vlastnostech a iontová nitridace zajišťuje při poměrně nízkých nákladech další zlepšení vlastností. Je tedy možno říci, že již z tohoto hlediska je diplomová práce koncipována v oblasti velice progresivní.

2. TEORETICKÁ ČÁST

V této části práce je proveden rozbor a utřídění poznatků o předmětech iontová nitridace a spékané rychlořezné oceli (PMRO).

Ve stati o iontové nitridaci jsou jednotlivé poznatky sestaveny tak, aby byl zřejmý dopad jednotlivých parametrů na proces nitridace.

Východiskem pro sestavení stati o PMRO byly především práce ing. Kvasničky ze SVÚM, které však nejsou běžně dostupné. Jelikož na VŠST nebyla obdobná literatura doposud k dispozici, je možné, že tato stať bude sloužit jako základ pro studium vlastností PMRO na VŠST.

Vzorky pro experimentální část byly vyrobeny v ZVL Dolný Kubín procesem ASEA - ATORA (ASP). Proto budou popsány především vlastnosti těchto ocelí.

2.1. IONTOVÁ NITRIDACE

Iontová nitridace je v podstatě nitridace v plazmě doutnavého výboje, přičemž zpracovávané díly jsou uloženy v recipientu a zapojeny jako katoda. Recipient je zapojen jako anoda a v průběhu nitridace v něm je udržován tlak v rozmezí $10 - 10^4 \text{ Pa}$.

Nitridační atmosféra má složení podle účelu čistý N_2 nebo N_2 + další plyny. Mezi oběma elektrodami je regulováno napětí $400 - 1\,000 \text{ V} / 2$.

2.1.1. ZAŘÍZENÍ PRO IONTOVOU NITRIDACI

Výrobce iontonitridačního zařízení je v ČSSR k.p. ZEZ

Rychnov nad Kněžnou. Jeho blokové schema uvádí obr. 1. Ion-
tová nitridace vzorku pro experimenty popsané v kapitole 3,
byla provedena ve VVP2 k.p. ZEZ v Liberci (viz obr. 2).

2.1.2. POPIS DĚJŮ PŘI IONTOVÉ NITRIDACI

Vlivem silného elektrického pole se ionizuje pracovní
plyn a vzniká anomální doutnavý výboj, jehož napěťové para-
metry jsou sledovány spojitě elektronickými rychlospínacími
systémy, které v případě nebezpečí vzniku oblouku krátkodo-
bě (asi na 0,1 /s/) přeruší výboj. Takovým způsobem se udrží
doutnavý výboj v anomální oblasti /2/.

Ionty pracovního plynu jsou urychlovány ke katodě, při-
čemž největšího nárůstu kinetické energie dosahují až v ob-
lasti katodového úbytku, tedy v těsné blízkosti povrchu, což
má za následek, že největší intenzita dějů je soustředěna tě-
sně k povrchu součásti. /5/.

Získaná kinetická energie se dělí na disociační energii
molekul atmosféry a další ionizaci vzniklých atomů, avšak nej-
větší část se spotřebuje na vyražení (odprášení) atomů kovo-
vých i nekovových prvků a ohřev povrchové vrstvy.

V plazmě se vyskytuje ve velkém množství disociovaný
atomární dusík, se kterým se spojí odprášené atomy Fe za
vzniku bohatých nitridů FeN (až 19,7%/N). Tyto nitridy se
zpět napráší na povrch součásti a vlivem nestability diso-
ciují na nižší nitridy (obr. 3). Uvolněný atomární dusík di-
funduje transkrystalicky do zrn a vytváří nitridační vrstvy.

Vlivem od počátku probíhající transkrystalické difuze
a dále vlivem strmého koncentračního gradientu mezi bohatý-

mi napařenými nitridy a železem v povrchových vrstvách vsázky je rychlost difuze zpočátku vysoká. Při dlouhodobém zpracování (jak uvádí Edenhofer více než 10/h) se rychlost srovnává s rychlostí nitridace v plynu /2/.

2.1.3. STRUKTURA POVRCHOVÝCH VRSTEV NITRIDOVANÝCH V DOUTNAVÉM VÝBOJI

Nitridační povrchová vrstva získaná iontovou nitridací má zřetelnou specifickou skladbu (obr.4). Na povrchu je vytvořena několik mikrometrů tlustá spojovací (bílá) vrstva, jejíž mikrostruktura jsou pouze intermetalické vazby Fe a N.

Pod ní se nachází difuzní vrstva, kde je dusík vyloučen jako intersticiál nebo v jemně disperzní nitridické vyloučenině /2/.

Vlastní struktura jednotlivých vrstev je dána jednak stupněm odprášení, tedy variací tlaku plynu a napětí mezi elektrodami, jednak složením plyné směsi a také složením materiálu součásti (o vlivu jednotlivých parametrů pojednává kap. 2.1.4.). Fáze charakteristické pro nitridační vrstvu železných kovů ukazuje rovnovážný diagram Fe - N (viz obr.5).

Provedené experimenty ukázaly, že bílé vrstvy konstruované jako monofázové mají lepší vlastnosti než vrstvy směsové. Například dosažení maximální otěruvzdornosti a odolnosti proti korozi se volí tyto vrstvy složené pouze z ϵ -fází, které mají hexagonální mřížku. Pro součásti namáhané dynamickými tlaky je vhodné použít monofázové γ' -vrstvy s

mřížkou kubickou plošně středěnou. /2/

Bílá vrstva má zpravidla tloušťku 5 - 20 mikrometrů a její tvrdost je asi 300 - 400 HV 30 pro čisté nitridy Fe a asi 600 pro karbonitridy. Tvrdost nitridů legujících kovů přesahuje 1 000 HV 30. /3/

Při konstrukci difuzní vrstvy vycházíme z těchto základních požadavků:

- a) optimální zpevnění vrstvy
- b) zabránění jevům křehnutí.

Nastavením vhodných parametrů lze při iontové nitridaci dosáhnout splnění obou požadavků najednou. Optimálního zpevnění se dosáhne vysokým podílem jemně disperzních nitridů legujících prvků (Al, Mo, Cr, V, W) - tzv. zvláštní nitridy. Vlivem vysoké nabídky atomárního dusíku je toto vysrážení značné. Optimální teplota (550 - 580°C pro uhlíkové a 400 - 500°C pro legované oceli) ovlivňuje kinetiku vysrážení a tím i hrubost struktury.

Ke křehnutí dochází vlivem nadměrného zpevnění a také vyloučením karbonitridů po hranicích zrn. Odstranění karbonitridických sítí je popsáno v následující kapitole.

2.1.4. VLIV SLOŽENÍ NITRIDOVANÉHO MATERIÁLU

A NITRIDAČNÍCH PARAMETRŮ NA PRŮBĚH

A VÝSLEDKY NITRIDACE

V použité literatuře jsou jednotlivým vlastnostem nitridačních vrstev přiřazovány jevy, které je způsobují. Přehlednějšího uspořádání poznatků se však dosáhne jestliže se od jednotlivých vlivů odvodí vlastnosti, na které tyto vlivy

působí a v případě nepříznivého působení způsoby odstranění.

2.1.4.1. Vliv uhlíku

Uhlík vytváří se železem, legurami a dusíkem karbonitridy, které mají vyšší tvrdost než čisté nitridy. Nevýhodou je, že se karbonitridy vylučují ve formě sítí po hranicích zrn. Způsobují snižování houževnatosti a náchylnost k únavovým lomům.

Obsah uhlíku v oceli určuje její vhodnost k nitridaci, neboť, jak ukazuje obr. 6, s rostoucím procentem uhlíku klesá procento dusíku v Fe. Příčina tohoto jevu spočívá v tom, že uhlík zvyšuje termodynamickou aktivitu dusíku a tím způsobuje jeho vytěsňování z austenitu.

Obsah uhlíku v nitridační vrstvě a vznik karbonitridických sítí lze při iontové nitridaci eliminovat například použitím bezuhlíkatého pracovního plynu (čistý N_2 , NH_3) a také zvýšeným stupněm odprášení.

2.1.4.2. Vliv legur, zejména Cr, V, Mo, Al

Tyto prvky tvoří velmi jemné nitridy zvyšující tvrdost vrstvy, přičemž výše tvrdosti závisí na disperzitě vyloučení. Chrom a hliník sice záporně působí na hloubku nitridační vrstvy avšak silně ovlivňují pohlcování dusíku - jeho koncentraci. Nejtvrdší nitridy vytváří hliník, ale často bývá nahrazován molybdenem, jehož nitridy nejsou tak citlivé k popouštěcí křehkosti (viz obr. 7). /1/

2.1.4.3. VLIV SLOŽENÍ PROVOZNÍHO PLYNU

Iontovou nitridací lze provádět jak ve směsové atmosféře ($N_2 + H_2$, $N_2 + H_2$ + uhlovodík), tak i v atmosféře čistého dusíku.

Použitím atmosféry bez uhlíku lze dosáhnout silného odprašování a tím zamezit aktivaci karbonitridických sítí. Použitím atmosféry prosté vodíku můžeme zabránit vzniku vodíkové křehkosti.

2.1.4.4. VLIV NAPĚTÍ NA ELEKTRODÁCH PROUDOVÉ HUSTOTY A TLAKU PLYNU

Těmito parametry lze podstatně ovlivňovat charakter i kvantitu katodového odprašování.

Jak je vidět na obr. 8, dojde na počátku pracovního procesu iontové nitridace k odčerpání vzduchu z recipientu a tím ke snížení tlaku asi na 10 /Pa/. Dále se zapojí zdroj tak, aby pracoval s napětím asi 500 - 800 /V/ a nízkou proudovou hustotou v rozsahu 0,01 - 0,1 /mA.cm⁻²/. Takovým způsobem se dosáhne intenzivního katodového odprašování a téměř zamezení adsorbce a tím i dokonalé depasivace povrchu. Atmosférrou je buď zbytkový neodčerpaný vzduch nebo čistý vodík či argon /5/ (zejména u Cr - ocelí, kde je třeba čištění zintenzivnit). Čistotu povrchu lze posoudit podle toho, že svítící koruna doutnavého výboje je stabilní a bez poruch.

Po očištění následuje vlastní proces nitridace a to při tlaku atmosféry 100 - 1 000 /Pa/ a proudové hustotě okolo 1 /mA.cm⁻²/. Tak se dosáhne optimální pracovní teploty na po-

vrchu materiálu. Ta je udržována automaticky regulátorem, který při odchylce od žádané hodnoty mění hustotu proudu.

Závěrečná část cyklu je ochlazování probíhající buď ve zbytkové pracovní atmosféře nebo intenzivněji při tlaku okolo 10^4 Pa v atmosféře dusíku. /7/

2.1.4.5. VLIV PRACOVNÍ TEPLoty A DOBY NITRIDACE

Nastavená pracovní teplota ovlivňuje velmi silně difuzní vlastnosti dusíku, neboť ovlivňuje jeho difuzní koeficient (viz tab.1). Z toho plyne také zvětšování hloubky nitridační vrstvy s teplotou při konstantním času (viz obr.9). Zároveň však při vyšší teplotě dochází k rychlejší koagulaci jemně disperzních nitridů a tím ke ztrátě tvrdosti. /6/

S dobou nitridace roste zpočátku jak hloubka vrstvy tak i tvrdost. Tvrdost však později klesá vlivem hrubnutí zrna (viz obr. 10 a 11). /1/

2.1.5. NĚKTERÉ POZNATKY Z IONTOVÉ NITRIDACE VE STROJÍRENSKÉ PRAXI

Vzhledem k rovnoměrnému rozložení teplot na povrchu nitrizované součásti při iontové nitridaci jsou teplotní působení minimální. Nárůst objemu je také po vytvoření nitridů minimální a nezmění se tedy ani rozměry nitrizované součásti. Z toho důvodu zpravidla není nutné následné opracování.

Teplotní rozsah iontové nitridace je $350 - 600^\circ\text{C}$. Lze tedy iontově nitrizovat jak oceli citlivé k popuštění tak i litiny, u kterých je difuze možná až při vysokých teplotách.

Díky využití katodového odprašování lze zpracovávat ma-

terciály bez předchozí depasivace povrchu. Využitím odprašování v atmosféře vodíku jako závěrečné operace lze dosáhnout úplné eliminace bílé vrstvy. Potom součásti nejsou přesycené dusíkem a povrch má nejvyšší houževnatost.

Přímý ekonomický efekt má zřejmě podstatné zkrácení doby difuze dusíku při iontové nitridaci. S ekonomikou provozu také souvisí možnost přerušování doutnavého výboje na libovolnou dobu (např. ve špičce) bez vlivu na jakost nitridační vrstvy. Díky stabilitě nastavených parametrů lze využít zařízení bez obsluhy ve třísměnném provozu (případně ve dnech pracovního klidu). Pracoviště pro iontovou nitridaci nepotřebují zvláštní bezpečnostní ani hygienická opatření. Zde například vyvstává možnost jejich zařazení na konci běžných linek, čímž odpadne mezioperační doprava.

Jednou z mála nevýhod je nutnost udržení poměrně vysokého vakua v recipientu. Ta je však zcela vyvážená řadou uvedených výhod.

Lze tedy tvrdit, že iontová nitridace patří k perspektivním způsobům získávání kvalitních povrchových vrstev.

2.2. ŘEZNÉ MATERIÁLY NA BÁZI Fe VYROBENÉ METODOU PM

Jedním z technologických problémů zpracování klasických RO je jejich silný sklon k odměšování. Vznikají tak velké místní rozdíly v chemickém složení a struktuře, které lze sice částečně eliminovat tvářením za tepla, ale přesto dochází díky tomuto jevu ke snižování výkonu nástroje i k potížím při jeho výrobě. /10/

PMRO díky vysoké homogenitě vlastností odstraňují tyto problémy. Podmínkou pro jejich rozvoj bylo ekonomické zvládnutí výroby "mikroingotů" oceli získaných granulací taveniny. Různé způsoby rozprášení taveniny a historie zpracování získaných granulí nebo prášku mají nejvýznamnější vliv na vlastnosti získaných polotovarů a výrobků daného chemického složení (viz kap. 2.2.2.). /11/

Jednotlivé kapitoly této části popisují tři hlavní směry rozvoje PMRO:

- a) Optimalizace chemického složení a volba druhu komponent (granulovaná tavenina nebo jednotlivé složky).
- b) Rozvoj vhodné PM technologie v celé její šíři od granulace až po tváření.
- c) Zkoumání kinetiky přeměn struktury PMRO a z ní vyplývající tepelné zpracování.
(Tato oblast je zatím nejméně probádána, zatím dobré znalosti jsou pouze u klasických typů PMRO).

2.2.1. CHEMICKÉ SLOŽENÍ PM NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ

Možnost velké variability chemického složení PM řezných

materiálů určuje velkou variabilitu jejich vlastností. Tím je možno dosáhnout vlastností i výkonností optimálních pro daný řezný proces. V současné době existuje zhruba následujících pět skupin PM řezných materiálů.

2.2.1.1. PMRO KLASICKÝCH SLOŽENÍ

Vyrábějí se z prášků získaných granulací tevniny daného složení. Jedním z nejrozšířenějších materiálů této skupiny je PM 19 830 což je ovlivněno faktorem, že tato ocel klasicky vyrobená pokrývá asi 70%/spotřeby všech RO v kapitalistických státech. Vyšší houževnatost a obrobitelnost broušením dovolily zvýšit obsah C a V a tím zlepšit některé mechanicko technologické vlastnosti. Přísadou dusíku (N do 0,4/%) vzniká karbonitrid vanadu, který zvyšuje druhou tvrdost a odolnost proti popuštění. Přísadou křemíku (do 2%/Si) lze zlepšit morfologii primárních karbidů.

2.2.1.2. RO SE ZVÝŠENÝM PODÍLEM KARBIDŮ

PM technologie dává možnosti zvýšení obsahu uhlíku a legujících prvků bez výrazného zhoršení homogenity výsledné struktury. Zvýšený podíl karbidů kladně ovlivňuje zejména odolnost proti opotřebení a tím i řezivost nástroje.

2.2.1.3. RO OBOHACENÉ MENŠÍ PŘÍSADOU MONOKARBIDŮ

Přidáním karbidů (karbonitridů) kovů IV. - VI. skupiny zejména V, Ti, W, Mo, Nb apod. umožňuje zlepšení mechanicko technologických vlastností. Množství přísady asi do 10%/ještě neovlivňuje lisování a spékání a zaručuje tvářitel-

nost výrobku. Použití těchto RO bude univerzální, ale v dosavadním pojetí nelze očekávat markantní zvýšení jejich výkonu oproti PMRO klasických složení.

2.2.1.4. MARTENZITICKY VYTVRDIRTELNÉ ŘEZNÉ SLITINY

Tyto slitiny obsahují méně jak 0,1 % C, dále W (10 - 20 %), Co (10 - 30 %) a Mo, Ni, Cr, Ti v menším procentu. Jejich vysoká tvrdost je způsobena precipitací disperzních částic $M_7W_6 / (FeCo)_7 (W, Mo)_6 /$.

Přítomnost vyššího obsahu uhlíku podporuje tvorbu karbidu M_6C , který má velký sklon ke koagulaci a tím snižuje odolnost proti popouštění.

Martenziticky vytvrditelné slitiny mají tvrdost 67 až 70 HRC a odolnost proti popouštění asi o 100 - 120 °C vyšší než RO. Houževnatost je po dlouhodobém žíhání srovnatelná s houževnatostí RO typu "superhard". Svým výkonem patří do mezery mezi RO a SK.

2.2.1.5. ŘEZNÉ SLITINY OBOHACENÉ VĚTŠÍ PŘÍSADEKOU MONOKARBIDU

Slitiny obsahují 45 - 50 % monokarbidu. Po slinování mají tvrdost 64 HRC a jsou neobrobitelné jednobřitými nástroji. Po tepelném zpracování mají tvrdost 71 - 74 HRC, vysokou odolnost proti opotřebení a nižší houževnatost.
/8, 10/

2.2.2. VÝROBNÍ TECHNOLOGIE

V tabulce č. 2 je podán přehled výrobních technologií PMRO, jejich typických chemických složení a některých vlastností (stav do roku 1978). /8/ (Tab.2, viz příloha 1.)

2.2.3. SOUČASNÉ POZNATKY O NĚKTERÝCH NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH VLASTNOSTECH PMRO ZEJMÉNA OCELÍ ASP

Jednou z nejdůležitějších předností PMRO je, jak již bylo napsáno, jejich téměř dokonalá homogenita, která se neruší ani po poměrně velkém stupni přetváření. Na vlastnosti těchto materiálů a tím i výkonnost nástrojů však působí i další vlivy.

Tato část je koncipována podobně jako kapitola 2.1.4.

2.2.3.1. VLIV OBSAHU KYSLÍKU

Při výrobě prášku technologiemi, které používají rozprašování taveniny vodou, mají získané granule vyšší obsah kyslíku (0,15 - 0,25 %). Pokud se kyslík vyloučí ve formě oxidických obálek jednotlivých zrn, má silně negativní vliv na houževnatost a řezivost zejména při přerušovaném řezu.

S rostoucím stupněm tváření se tento nepříznivý vliv snižuje, avšak zároveň se mohou objevovat řádky oxidů způsobující heterogenitu. /4/

2.2.3.2. VLIV OBSAHU UHLÍKU

V laboratořích SVÚM byly provedeny zkoušky řezivosti, které prokázaly negativní vliv zvýšeného obsahu uhlíku na řezivost a tvrdost ocelí běžného složení vyrobených kla-

sickou i PM technologií (viz tab. 3).

Pokles tvrdosti svědčí o posunu maxima sekundární tvrdosti. Pokles řezivosti lze vysvětlit tím, že přídavek uhlíku sice zpevňuje základní hmotu, ale zároveň snižuje její optimální austenitizační teplotu a tím i stupeň nalegování základní hmoty prvky z rozpuštěných primárních karbidů. Celý mechanismus vede ke snížení odolnosti proti popouštění a tím snížení teploty řezání, která je určena řeznou rychlostí.

2.2.3.3. Vliv způsobu, doby a teplot spékání

Způsob spékání určuje zejména morfologii karbidů a další vlastnosti, které jsou pro dané technologie popsány v tab. 2.

Teplota a doba spékání má zásadní vliv na vzhled mikrostruktury a hustotu kompaktu (viz obr. 12 a 13). /4/. Tou je potom určena i tvrdost a houževnatost materiálu a řezivost nástroje (obr. 14).

Zkouškami PM 19 830 o různé hustotě byly získány závislosti řezné rychlosti v_{30} a tvrdosti HRC na hustotě (obr. 13). V oblasti 99,75 - 97 % teoretické hustoty jsou hodnoty řezivosti i tvrdosti zhruba totožné. V oblasti okolo 96 % teoretické hustoty nastává prudký pokles obou vlastností. Rozdíl mezi klasickou a PM ocelí je možno snížit vytvořením teoreticky husté hrubé struktury, jejíž ledeburitické síťové však způsobuje vylamování zrn a je nutno stanovit podmínku obrábění nástrojem s hrubým břitem a bez rázů. /8/

2.2.3.4. VLIV TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ

U ASP ocelí dochází s rostoucí kalicí teplotou k vzrůstu obsahu zbytkového austenitu a rychlejšímu rozpouštění primárních karbidů a tím i k prudšímu poklesu tvrdosti po kalení v závislosti na kalicí teplotě (viz obr. 15).

Proto je nutno snížit doporučené maximální kalicí teploty na $1\ 200^{\circ}\text{C}$ / (viz obr. 16) a teploty popouštění volit jako kompromis mezi požadovanou tvrdostí a houževnatostí.

Výsledná tvrdost v závislosti na teplotě popouštění má maximum asi kolem $540 - 550^{\circ}\text{C}$ / podle teplot kalení (obr. 17), avšak maximální hodnoty meze kluzu a pevnosti v ohybu a minimum zbytkového austenitu se nachází při teplotách popouštění 560°C / (obr. 18) /8, 11, 12/. V praxi se volí následující podmínky:

a) Pro jednoduché nástroje s hrubým břitem:

kalení $1\ 200^{\circ}\text{C}$ /, popouštění $2 \times 555 - 560^{\circ}\text{C}$ /

b) Pro nástroje jemnobřité nebo pracující v podmínkách přerušovaného řezu:

kalení $1\ 180^{\circ}\text{C}$ /, popouštění $2 \times 540 - 550^{\circ}\text{C}$ /

Pro každý tvarově komplikovaný nástroj je třeba stanovit specifické podmínky tepelného zpracování. /4/

2.2.3.5. VLIV TVÁŘENÍ A DOTVÁŘENÍ

Tvářitelnost FM ocelí je díky jejich homogenitě lepší než u ocelí klasických. Stupeň tváření není sledovatelný optickou mikroskopií, pouze u ocelí s vyšším obsahem kyslíku lze nalézt řádky oxidů.

Tváření ani dotváření nemá kladný vliv na rázovou houževnatost a řezivost PM ocelí při běžném soustružení. Projevuje se zde vliv zvýšené porezity v povrchové vrstvě vzniklé vlivem nevhodné konstrukce, ale především nedostatečného předehřevu zápustky, což způsobuje zvýšený odvod tepla z tváření a křehnutí povrchové vrstvy (obr. 19).

Lepší nebo stejná ve srovnání s klasickou ocelí se jeví pouze řezivost PMRO 19 830 dotvářené při jemném soustružení a tváření a dotváření při přerušovaném řezu (obr. 20,22).

2.2.3.6. OBROBITELNOST BROUŠENÍM

Obrobitelnost broušením hodnocená drsností povrchu a poměrným obrusem q při zapichovacím broušení vyšla jako velmi příznivá pro PM oceli (viz tab. 4) /8/. Vzhledem k velkým nákladům na broušení RO může tato vlastnost podstatně ovlivnit ekonomiku použití PMRO.

2.2.3.7. HOUŽEVNATOST

Houževnatost PM nástrojových ocelí lze považovat za kombinaci vlivu plastických vlastností základní hmoty a defektů vyvolávajících lokální koncentraci napětí. Jelikož vlastnosti základní hmoty a karbidické fáze jsou v podstatě konstantní má nejvyšší vliv zbytková porezita a inkluze.

Ovlivnění zbytkovou porezitou není závislé pouze na četnosti výskytu pórů, ale také na jejich tvaru, velikosti a rozmístění ve struktuře.

Vliv inkluzí, tedy exogenních i endogenních vměstků zanesených do materiálů při tavení a dále částic vzniklých in-

terakcí granulí s vodou (samostatné oxidy, vápníkové inkluze, oxidické obálky granulí), lze eliminovat zejména tříděním granulí a měkčením vody pro granulaci (DAVY - LOEVY), případně protvářením kompaktu.

Hodnoty houževnatosti PM ocelí leží mezi hodnotami klasické oceli měřenými v podélném a příčném směru (obr. 21).

Při hodnocení rázové houževnatosti byly naměřeny u PM ocelí nižší hodnoty než u klasických, což se však neprojevovalo na řezivosti rázově namáhaných nástrojů (viz obr. 22). Důvodem zjištěné disproporce je nedostatečná korelace mezi houževnatostí a chováním nástroje v provozu, kdy je trvanlivost kladně ovlivněna izotropí vlastností a homogenitou karbidické fáze. /4, 8, 12, 13/

2.2.4. VYUŽITÍ PMRO V PRAXI

Rozhodujícím činitelem pro použití PMRO není ani cena oceli, ani cena nástroje, nýbrž počet obrobků vyrobených jedním nástrojem, respektive celkové náklady na výrobu jednoho obrobku.

Praktické použití ocelí ASP 23 (viz tab. 5) pro protahování a frézování ukázalo, že ostření bylo méně časté než u oceli M2 (viz tab. 5) a počet ostření byl zvýšen z devíti na dvacet (viz tab. 6). /11, 12, 13/

K zproduktivnění výroby dojde tedy především zkrácením neproduktivního času výměny nástrojů a zmenšením potřeby složitých a drahých protahovacích nástrojů.

2.3. ZÁVĚR TEORETICKÉ ČÁSTI

V závěru svých výzkumných prací ukazuje Kvasnička na možnosti využití PMRO zejména typu 19 830 k různým způsobům povlakování, neboť PM materiály svojí chemickou homogenitou mohou zaručit lepší výsledky než klasické oceli.

Je tedy možné, že využitím Iontové nitridace k povlakování PMRO vznikne vrstva, která předčí svými vlastnostmi i ekonomickým hodnocením dosud použité způsoby tepelného nebo tepelně chemického zpracování či povlakování.

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V této části je popsán průběh řešení třetího a čtvrtého úkolu zadání, totiž přípravy vzorků z klasické a PMRO 19 830 k iontové nitridaci, vlastní nitridace a porovnání vlastností obou skupin vzorků.

Cílem prováděných experimentů tedy nebylo uskutečnit detailní rozbor vlastností nitridačních vrstev na PMRO 19 830, ale spíše porovnat vlastnosti vrstev na PM a klasické oceli a stanovit rámec, ze kterého by bylo možné vycházet pro další, již hlubší rozbor.

Z tohoto důvodu byl navržen širší rozsah experimentu, z nichž některé se poněkud vymykají oblasti sledování materiálu jako takového, ale spíše si všímají použití těchto ocelí v praxi, tedy jako materiálů pro řezné nástroje v třískovém obrábění.

3.1. PŘÍPRAVA A ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ

3.1.1. VÝCHOZÍ VZORKY

3.1.1.1. PMRO 19 830

Výchozí destičky o rozměrech 11,4 x 15,5 x 6,4 /mm/ byly vyrobeny v ZVL Dolný Kubín procesem ASEA - ATORA. Ve výchozím stavu měly tvrdost 63 - 64 /HRC/ a strukturu podle obr. 23, která se vyznačuje menším množstvím velkých karbidických útvarů.

3.1.1.2. KLASICKÁ RO 19 830

Destičky o rozměrech 15,5 x 11,5 x 6,5/mm/byly vyrobeny z tyčového polotovaru 19 830.3 o průměru 20/mm/v nástrojárně n.p. Autobrzdý Jablonec n.N., závod 02 Hodkovice n.M. Ve výchozím stavu měly tvrdost 282/HV 30/, což odpovídá ČSN pro daný druh materiálu a tepelného zpracování hutního polotovaru. Struktura na obr. 24 se vyznačuje větším množstvím karbidických útvarů s členitým okrajem v základní feritické hmotě.

3.1.2. ŽÍHÁNÍ DESTIČEK Z PM OCELI

Pro získání stejné výchozí struktury a také z důvodů lepšího obrábění byly destičky z PM oceli žíhány. Žíhání bylo provedeno v dílně KMM VŠST v peci MV 2. Žíhací teplota byla 820°C a výdrž čtyři hodiny s ochlazováním v peci. Karbidické útvary charakteristické pro výbrus jsou menší a mají poněkud členitější okraj, než karbidy výchozího stavu. V porovnání s karbidickými útvary výchozího stavu klasické oceli jsou útvary zřetelně menší, členitost okraje je menší (viz obr. 25).

3.1.3. VÝROBA ŘEZNÉHO ÚHLU

Pro stanovení řezivosti (viz kap. 3.2.1.) bylo vybráno po pěti kusech od každého druhu destiček.

Z důvodu získání správné geometrie břitu bylo třeba na těchto destičkách nabrousit řezný úhel 15° (viz obr. 26). Řezný úhel byl vyroben ve VD VŠST.

3.1.4. KALENÍ A POPOUŠTĚNÍ

Tepelné zpracování destiček se uskutečnilo v laboratoři tepelného zpracování SVÚM Praha.

Ohřev na austenitizační teplotu byl proveden ve vakuové peci KK 25q Vac. Austenitizační teplota byla u obou druhů vzorků shodná 1 190^oC/. Po zakalení v proudě dusíku byly vzorky popouštěny v kelímkové popouštěcí peci na teplotě 540^oC/ a to dvakrát po jedné hodině.

Při ověřování tvrdostí tepelně zpracovaného materiálu byla naměřena u destiček s klasické oceli tvrdost 902 - 927 HV 30, tedy správné hodnoty (66 - 67 /HRC/), avšak u destiček z PM oceli se tvrdost pohybovala mezi 240-450 /HV 30/, tedy velice nízké hodnoty s velkým rozptylem.

Při metalografickém rozboru řezu PM destičkou byla na okraji zjištěna různě tlustá (cca 0,01 - 0,1 /mm/) vrstva, ve které nebyl obsažen žádný sorbit, ale pouze karbidické útvary ve feritické oduhličené hmotě (viz obr. 27), zatím co ostatní plocha řezu měla strukturu se správným množstvím nerozpuštěných karbidů a sorbitem. /15/ (viz obr. 28)

Aby se zjistila příčina oduhličení, byla pro tepelné zpracování vybrána druhá série destiček z PM ocelí, které nebyly předem žíhány, ale zušlechtěny přímo z výchozího stavu. Podmínky kalení a popouštění byly u této série shodné jako u série první (1 190^oC/ - proud dusíku, 540^oC/ - 2x 1/h). Destičky měly po tepelném zpracování tvrdost 910 - 950 /HV 30/, strukturu podle obr. 29, která je v podstatě shodná se strukturou plochy středu destiček první série.

Z tohoto experimentu tedy vyplynulo, že k oduhličení došlo při žíhání vzorků. Žíhací teplota nebyla tak vysoká, aby difuzní procesy mohly proběhnout ve velkém měřítku a nedošlo tedy k oduhličení celého objemu.

Při porovnání kvantitativních a kvalitativních ukazatelů karbidické fáze na neleptaném metalografickém výbrusu je zřetelně vidět, že karbidy obou ocelí se vyskytují ve zhruba správném množství /15/ jejich tvar je různý, ale okraj není oproti žíhanému stavu tak členitý. Co se týče velikosti jsou zřetelně jemnější karbidy obsaženy v PM oceli. (viz obr.30a31)

3.1.5. ÚPRAVA DESTIČEK Z PM OCELI PRVNÍ SÉRIE

Z důvodu eliminace nepříznivých vlastností oduhličené vrstvy na povrchu destiček bylo navrženo její odbroušení, a to v tloušťce 1 /mm/ u destiček bez řezného úhlu z jedné plochy 15,5 x 11,4 /mm/ a destiček s řezným úhlem ze tří ploch, které se protínají ve špičce, tedy u ploch, které jsou potřebné k provedení experimentu.

Touto operací se podařilo získat plochy, u nichž byly naměřeny hodnoty tvrdosti v rozmezí 890 - 919 /HV 30/ (65-66 /HRC/), což odpovídá tepenému zpracování.

3.1.6. IONTOVÁ NITRIDACE

Destičky z klasické oceli a PM oceli první série zpracované podle předchozích kapitol byly očištěny a připraveny k iontové nitridaci, která byla provedena s těmito cíli:

- a) získat vrstvu upotřebitelnou pro zkoušky řezivosti

b) získat vrstvu upotřebitelnou pro zkoušky obrobiteľnosti broušením a zkoušky tvrdosti nitridační vrstvy v závislosti na vzdálenosti od okraje.

Podle toho bylo provedeno i následující zpracování.

3.1.6.1. NITRIDACE BŘITOVÝCH DESTIČEK

Břitové destičky byly v recipientu ustaveny na přípravku tak, aby difuze přednostně probíhala do ploch, které se protínají ve špičce.

Parametry nitridačního procesu jsou zapsány v tabulce 7.

Na břitových destičkách byla tímto procesem vytvořena vrstva o tloušťce řádově 10^{-2} mm/ (viz obr. 32, 33). Pro strukturu těchto vrstev jsou typické karbidické nebo karbonitridické útvary rozptýlené v základní hmotě, která obsahuje velmi jemně disperzní nitridy. Tyto disperzní útvary nelze při daném zvětšení a způsobu leptání identifikovat.

Informativně byla změřena tvrdost základního materiálu u PM destiček. Ta se pohybovala okolo 900 HV 30, čímž se prokázalo, že základní materiál nebyl v průběhu procesu popuštěn.

3.1.6.2. NITRIDACE DESTIČEK PRO ZKOUŠKY OBROBITELNOSTI A TVRDOSTI

Břitové destičky byly v recipientu ustaveny tak, aby difuze probíhala přednostně (zejména u PM destiček) v jedné připravené ploše (viz kap. 3.1.6.).

Parametry nitridačního procesu jsou zapsány v tabulce 7.

Na břitových destičkách byla tímto procesem vytvořena vrstva o tloušťce 0,2 mm/ (viz obr. 34, 35). Vykazovala tvrdost

u obou destiček shodnou mezi 1 200 - 1 280 HV 30.

Struktura vrstvy se opět vyznačuje karbidickými a karbo-nitridickými útvary v základní hmotě s jemně disperzní nitridickou vyloučeninou.

Na okraji řezu PM destičkou byla identifikována asi 0,01 /mm/ tlustá, nepravidelná bílá vrstva a pod ní asi do hloubky 0,75 - 0,1 /mm/ se objevovaly náznaky síťových nitridů.

U destičky z klasické oceli bílá vrstva identifikována nebyla, avšak nitridické síťové zde existuje přibližně do stejné hloubky jako u destičky z PM oceli.

Metalografie nitridovaných vrstev zejména tvorba výbrusu vyžaduje určité zkušenosti pro dosažení kvalitních výsledků. Proto je třeba zjištěné údaje, pokud bude nutno, znovu přehodnotit rutinovanými pracovníky.

3.2. EXPERIMENTY

3.2.1. ZÁVISLOST MIKROTVRDOSTI NA VZDÁLENOSTI OD OKRAJE NITRIDOVANÉ VRSTVY 0,2 /mm/

Mikrotvrdost byla měřena na mikrotvrdoměru PMT - 3 v laboratoři KMM VŠST.

Při měření vysokých tvrdostí může docházet k poměrně značným odchylkám od skutečnosti a to vlivem strmě stoupající závislosti mikrotvrdosti na délce úhlopříčky při malých měřených délkách.

U destiček s nitridační vrstvou 0,2 /mm/ byla sledována závislost mikrotvrdosti na vzdálenosti od okraje. Vpichy byly prováděny v šesti řadách v souřadném systému podle obr. 36 a.

Na obr. 36 b je znázorněna jedna řada vpichů. Souřadnici x byl volen interval mezi jednotlivými vpichy $0,02 \text{ /mm/}$. Aby nedocházelo k ovlivnění jednotlivých vpichů, byl u každé řady volen posuv mezi jednotlivými vpichy v souřadnici y $0,05 \text{ /mm/}$.

Jednotlivé souřadnice vpichů a hodnoty délek úhlopříček byly zapisovány do tabulek (PM ocel viz tab. 8, příloha 2-4, klasická ocel tab. 9, příloha 5,7). Tvrdost byla určována podle délky úhlopříčky z tabulek, které jsou součástí příslušnosti mikrotvrdoměru.

Tabulky použité pro hodnocení mají však zapsány hodnoty tvrdosti pro minimální délku úhlopříček do 52 dílků. Při měření iontonitridačních vrstev však byly získány vtisky s úhlopříčkou menší (do 48 dílků). Proto byla z prvních osmi tabulkových hodnot linearizována a sestrojena závislost mikrotvrdosti na délce úhlopříčky vtisku. Po prodloužení k nižším hodnotám délek úhlopříčky byly odečteny příslušné hodnoty mikrotvrdosti (viz obr. 37 a tab. 10 v příloze 8).

Je třeba dodat, že čtvrtý bod vynesení z tabulky (pro délku úhlopříčky 55 dílků) se odchyluje od přímkové závislosti, proto je třeba tuto hodnotu opravit na správnou dle tabulky 10 nebo výpočtem.

Získané hodnoty mikrotvrdosti byly pro každou naměřenou souřadnici x statisticky zpracovány (viz tab. 11, příloha 9 - 11) a střední hodnoty tvrdostí a jejich směrodatné odchylky byly vzaty jako vstupní údaje regresní analýzy. Korelační koeficienty ukázaly, že nejlepším nahrazením průběhu mikrotvrdosti v závislosti na vzdálenosti od okraje je mocninová regrese. Regresní analýzou byly také zpracovány minimální hodnoty mikrotvr-

dosti pro každou souřadnici x . Konstanty regresní analýzy jsou zapsány v tab. 12.

Z hodnot získaných regresní analýzou byly sestrojeny grafy závislosti mikrotvrdosti na vzdálenosti od okraje (viz obr. 38, 39).

Na těchto závislostech je zřetelný z počátku prudký pokles všech sledovaných hodnot. Přitom střední hodnoty mikrotvrdosti klasické oceli zaznamenávají intenzivnější pokles a jsou v oblasti přechodu mezi nitridovanou vrstvou a základním materiálem a v základním materiálu nižší asi o 60 - 100 /HV 0,2/10/. Rozptyl hodnot mikrotvrdosti je u klasické RO zejména na počátku zřetelně větší a lze říci, že v průběhu závislosti zůstává stejný a nebo o málo větší než u PMRO.

Důležité pro vlastní funkční vlastnosti materiálu jsou průběhy minimálních hodnot mikrotvrdostí. Ty jsou u klasické RO zřetelně nižší již na počátku (až o 200 /HV 0,2/10/) a postupně s rostoucí souřadnicí x se rozdíl snižuje až na 90 - 70 /HV 0,2/10/.

Je možné, že nižší hodnoty mikrotvrdosti u klasické RO jsou důsledkem tepelného ovlivnění při nitridaci. Menší rozptyl hodnot PMRO je zřejmě důsledkem její vyšší homogenity.

3.2.2. MIKROTVRDOST VRSTVY NA BŘITOVÝCH DESTIČKÁCH

Mikrotvrdost nitridované vrstvy 0,02 mm byla měřena z povrchu na přístroji Etip firmy KARL-ZEIS s vestavěným Hanemannovým mikrotvrdoměrem a zatížením 50 g. Pro zviditelnění vpichů byly obě destičky přebroušeny na ploše, do které se vpichy prováděly. Broušení bylo provedeno na metalografickém

papíru č. 4 asi dvaceti tahy.

Takovým způsobem dojde pouze k setření povrchových nečistot a vpichy daným zatížením neproniknou celou vrstvou.

V tabulce 13 jsou zapsány hodnoty mikrotvrdomosti získané měřeními. Podobně jako u měření vrstvy 0,2 /mm/ se i zde objevují vyšší hodnoty mikrotvrdomosti u PM oceli. Při měření těchto vysokých tvrdostí může opět dojít ke značné chybě při odměřování délky uhlopříčky vtisku.

3.2.3. ZKOUŠKA ŘEZIVOSTI

Pro zkoušku řezivosti byly k dispozici 4 ks destiček z klasické i z PM oceli. Shodně tepelně zpracované i shodně nitridované a jedna destička z PM oceli druhé série pouze zušlechťená. Všechny tyto destičky měly vyroben řezný úhel 15° .

Při zkoušce byly destičky upnuty v univerzálním nožovém držáku (viz obr. 40). Výsledná geometrie břitu byla $\alpha = 9^\circ$, $\gamma = 6^\circ$, $\kappa = 75^\circ$, $\varepsilon = 90^\circ$, $\lambda = -4^\circ$.

Řezné podmínky byly zvoleny ve shodě s /8/: posuv 0,24 /mm . ot⁻¹/, hloubka řezu 2 /mm/, neboť původní záměr byl použit jako materiál obrobku materiál 12 050.1 a potom alespoň rámcově porovnat získané výsledky s touto literaturou.

V dostatečném množství však byla k dispozici pouze tyč $\varnothing$ 100 /mm/ z materiálu 12 060.1, která má třídu obrobitelnosti 13. Délky tyčí upnutých v soustruhu byly 600 - 750 /mm/. Vlastnosti obráběného materiálu se výrazně projeví na průběhu zkoušky i vlastní T - v závislosti.

Jako výchozí řezná rychlost pro zkoušení řezivosti byla

zvolena rychlost $42,2 \text{ /m.min}^{-1}$ /. Tato řezná rychlost byla odhadnuta jako optimální z /8/. Avšak téměř okamžitě po započetí zkoušky došlo k otěru špičky. Proto byly zvoleny pro další průběh zkoušek nižší hodnoty řezných rychlostí.

První tři obráběcí operace byly provedeny na soustruhu SU 50 ve strojní dílně SPŠ SE v Liberci, zbytek obráběcích operací se uskutečnil na soustruhu SU 32 v laboratoři KOM VŠST. Odměřování hodnot opotřebení bylo prováděno na dílenském mikroskopu BK 70 x 50 KARL ZEIS Jena v téže laboratoři. Při odměřování mohlo docházet k chybám, neboť úroveň spodní hranice opotřebení byla v mnoha případech velmi nezřetelná.

Důležité hodnoty v průběhu zkoušky byly zapisovány do tabulek. Tabulka 14 (příloha 12 a 13) obsahuje hodnoty získané při klasifikaci řezivosti destiček z PM oceli nitridovaných i pouze zušlechtěné. Tabulka 15 (příloha 14) obsahuje hodnoty získané při klasifikaci řezivosti destiček z klasické nitridované oceli.

Získané hodnoty byly rozděleny do dvou skupin podle celkové doby obrábění a vyneseny do grafů závislostí VB-T (viz obr. 41). Těmito body byly proloženy křivky, které alespoň přibližně naznačují možné průběhy opotřebení hřbetu.

Pro klasifikaci řezivosti měly největší význam T-v závislosti pro dané materiály. Byly sestaveny v logaritmických souřadnicích na základě kritéria opotřebení, kterým byl úplný otěr špičky (viz obr. 42).

Z průběhu závislostí T-v je zřejmé, že horní hranice rychlostí používaných při obrábění daného materiálu je mezi $30 - 35 \text{ /m.min}^{-1}$ /. Přitom řezivost klasické RO 19 830 se při

vyšších rychlostech jeví jako vyšší. Rozdíl se však s klesající rychlostí snižuje a při rychlosti menší než 29 m.min^{-1} je již vyšší řezivost PMRO 19 830.

Průběh hodnot řezivosti klasické oceli mohl být v průběhu zkoušky ovlivněn, neboť nejvyšší bod její T-v závislosti byl získán při obrábění poměrně malých průměrů obrobku (viz tab. 15, příloha 14). Zvýšeným kmitáním soustavy SPID a zvýšeným průhybem obrobku mohlo dojít k přechasně destrukci břítu a tím k výraznému posuvu tohoto bodu směrem dolů.

Pro porovnání vlivu nitridace na řezivost byl stanoven i jeden bod T-v závislosti pro pouze zušlechťenou PM ocel. Lze říci, že nitridací dojde zhruba k dvojnásobnému vzrůstu trvanlivosti u PMRO 19 830 při řezné rychlosti asi $26 - 27 \text{ m.min}^{-1}$.

3.2.4. ZKOUŠKA OBROBITELNOSTI BROUŠENÍM

Obrobitelnost byla hodnocena velikostí řezné síly při broušení. Měření bylo prováděno na brusce BHP 20 při řezných podmínkách podle tabulky 14.

Pro zkoušku byly vybrány destičky po jednom kuse od každého druhu oceli a pro porovnání obrobitelností byla hodnocena také obrobitelnost nenitridovaného materiálu.

Destičky byly při měření upnuty v přípravku na dvousložkovém tenzometrickém dynamometru spojeném s vyhodnovací a zapisovací aparaturou. Hodnoty normálové složky (F_N) a složky ve směru posuvu (F_P) byly zapisovány na citlivý papír (viz obr. 44 - 46). Pro vyhodnocení byly vzaty hodnoty sil F_N , což je postačující, neboť poměr $F_N : F_P$ je konstantní.

Na obr. 44 - 46 jsou spojeny vrcholy hodnot sil F_N při jednotlivých zdvizech. Pořadí zdvihů je označeno čísly.

Při měření dochází nejprve k napružování systému a růstu hodnot sil. Narůstání se zastaví na maximálních hodnotách sil při obrábění nitridované vrstvy a dále hodnoty klesají při přechodu do základního materiálu.

Hodnoty vzdáleností vrcholů zdvihu od základny byly zapsány do tabulky 17 a přepočteny na řeznou sílu (1/mm/ odpovídá 2,51/N/). Obrobitelnost byla hodnocena podle řezné síly vztažené na 1 /mm/ šířky obráběné destičky.

Maximální hodnoty takto získaných sil byly zakresleny do grafu na obr. 47, ze kterého je zřejmé, že obrobitelnost nitridované vrstvy na PMRO 19 830 i klasické RO 19 830 je stejná a asi 1,1 - 1,5x horší než obrobitelnost zušlechtěné PMRO 19 830.

Vzhledem k nedokonalosti upínání destiček v přípravku se nepodařilo při měření zajistit rovnoměrnost broušených ploch a dráhy kotouče. Tím dochází k broušení několika vrstev o různých vlastnostech najednou, čímž značně utrpí porovnatelnost výsledků.

4. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z jednotlivých řešených úkolů vyplynulo:

- a) Žíhání PMRO 19 830 není možno provádět v běžné oxidační atmosféře a je třeba najít vhodný způsob pro toto tepelné zpracování. Bylo by také zajímavé sledovat s ohledem za zvýšení užitných vlastností, zejména řezivosti, vliv předchozího tepelného zpracování na vlastnosti iontonitridačních vrstev.

K provedení takových experimentů je však nutné mít k dispozici odpovídající zařízení pro tepelné zpracování.

- b) Iontovou nitridací RO 19 830 se získá během poměrně krátké doby vhodná nitridační vrstva.

Při nitridaci do větší hloubky se kromě difuzní vrstvy objevují ve struktuře náznaky karbonitridického síťoví a je zde také pravděpodobnost vzniku bílé vrstvy (je nutno metalograficky prokázat). Struktura nitridované vrstvy PMRO 19 830 má jemněji rozložené strukturní složky a je homogenější než struktura klasické RO 19 830.

V dalším výzkumu by bylo možno sledovat vliv různě konstruovaných vrstev (co se týče tloušťky i kvality) na užité vlastnosti a zároveň určit počátky vzniku karbonitridických sítěk a bílé vrstvy a jejich vliv na sledované vlastnosti.

- c) Mikrotvrdost iontonitridační vrstva na PMRO 19 830 je vyšší než u klasické RO 19 830 a rozptýl jejich hod-

not je menší. Zde se zřejmě uplatňuje vyšší homogenita mikrostruktury PMRO a možné tepelné ovlivnění mikrostruktury klasické RO při nitridaci.

Pro skutečně kvalitní průzkum tvrdosti strukturních složek je třeba zabývat se také eliminací chyb vznikajících při měření vysokých tvrdostí.

- d) Řezivost destiček s nitridovanou vrstvou bude asi dvojnásobně vyšší než řezivost destiček pouze zušlechtěných. Přitom řezivost destiček z klasické RO je vyšší než u destiček z PMRO. Zde zřejmě vystupuje do popředí snížená kompaktnost PMRO daná vlastním způsobem výroby.

Celé měření by bylo vhodné přepracovat tak, aby výsledky bylo možno zpracovat statisticky a dále se zabývat řezivostí v přerušovaném řezu a při jemném s oustružením, kde vykazují lepší výsledky PM materiály v zušlechtěném stavu.

Při zkoušce se také významně projevovala tvorba nárůstku a opotřebení čela. Při dalších zkouškách by bylo vhodné studovat i vliv těchto jevů.

- e) Obrobitelnost broušením je shodná u nitridovaných vrstev nanesených na obou typech materiálu a oproti obrobitelnosti PM zušlechtěné RO 19 830 poklesla 1,2 - 1,5 x.

Tyto výsledky jsou však jen velmi přibližné, neboť při broušení nebyla zajištěna rovnoběžnost obráběné plochy destičky s dráhou nástroje vlivem nedokonalého upínání.

Obrobitelnost broušením je možno měřit i při menších úběrech, čímž se získají nižší síly nebo hodnotit obrobitelnost podle drsnosti povrchu. Podmínkou je však zajištění rovnoběžnosti pomocí speciálního přípravku.

Hodnocení obrobitelnosti nitridovaných vrstev poměrným obrusem nelze provést, neboť k tomu by bylo třeba neúměrně velkých tloušťek nitridační vrstvy.

5. ZÁVĚR

V diplomové práci jsou jednotlivé kapitoly postaveny tak, aby odpovídaly úkolům určeným zadáním.

Koncepce první kapitoly slouží pro orientaci v dané problematice.

Druhá kapitola shrnuje poznatky o PM řezných materiálech a bude sloužit k usnadnění studia této problematiky.

V dalších částech jsou řešeny prakticky úkoly tak, jak je určeno zadáním. Výsledky jsou zpracovány statisticky, graficky a případně formou tabulek. Textová část obsahuje popis řešení a hodnocení pozorovaných jevů.

Diplomová práce byla realizována tak, aby její výsledky sloužily jako podklad pro další hlubší expertizu v jednotlivých sledovaných oblastech. Jsou zde také ukázány některé možnosti dalšího výzkumu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

1. RYŠ, CENEK, MAZANEC, HRBEK: Nauka o materiálu 1/4,
ACADEMIA Praha 1975
2. EDENHOFER, B.: F Fyzikální a metalografické pochody při
nitridaci v plazmě doutavého výboje,
Metallurg 6, 1973
3. Iontová nitridace,
firemní prospekt ZEZ Praha
4. KVASNIČKA, I.: Jakost a řezivost rychlořezných ocelí
vyrobených technologií práškové meta-
lurgie,
výzkumná zpráva SVÚM Praha Z-80-4525
5. HRUBÝ, V.: Iontová nitridace a současné poznatky,
sborník Pokroky ve strojírenské výrobě
1984
6. Štancel Iontová nitridace vaček,
diplomová práce V67/84 S, VŠST Liberec
1984
7. DUSPIVA: Způsob kontroly jakosti iontově nitrí-
dovaných vrstev
diplomová práce V 415/1981 S,
VŠST Liberec 1981
8. KVASNIČKA: Vliv technologie výroby spékaných rychlo-
řezných ocelí na jejich řezivost
výzkumná zpráva SVÚM Praha, Z-78-3838

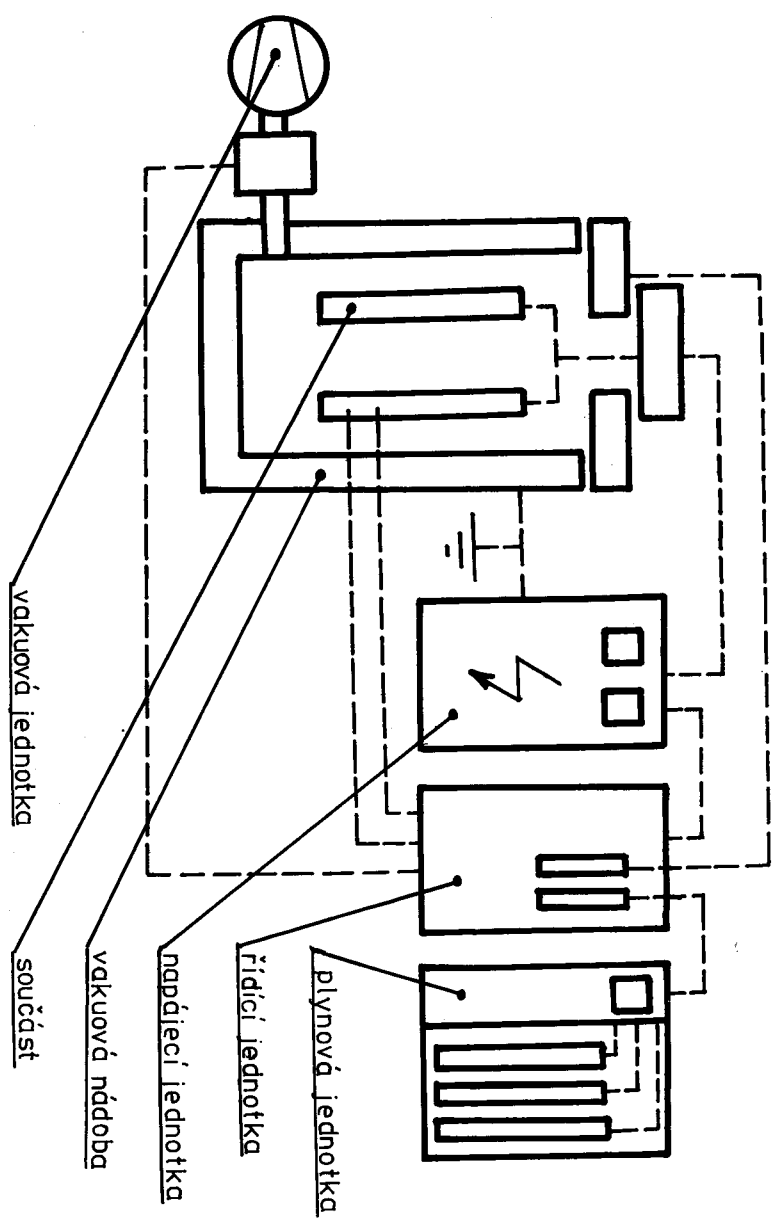
9. KVASNIČKA, I.: Řezivost martenziticky vytvrditelné oceli Fe-W-Mo-Co a dotvářené R0 19 830 vyrobených technologií práškové metalurgie,
[výzkumná zpráva] SVÚM Praha, Z-80-4247
10. KVASNIČKA, I.: Řezné materiály na bázi Fe vyráběné metodami práškové metalurgie,
konference Obráběcí nástroje 80, 1980
11. JANSCH : Rychlořezné oceli ASP,
Strojírenská výroba, leden 1981
12. HELLMAN, P.: Možnosti rychlořezných ocelí ASP při protahování a frézování
Strojírenská výroba, svazek 29/1981
13. HELLMAN, P.: Potential of high strength P/M high speed steels,
zpráva z konference
14. VÁVRA: Strojnické tabulky,
SNTL Praha 1984
15. JECH: Tepelné zpracování ocelí,
SNTL Praha 1983
16. PODOBA: Tenké vrstvy na nástrojových ocelích
[diplomová práce] V161/85S Liberec 1985
17. ČERNOCH: Strojně technická příručka
SNTL Praha 1959

Zpráva o hlavních směrech hospodářského
a sociálního rozvoje na léta 1986-1990
a výhledu do roku 2000,
Průboj, 26. března 1986

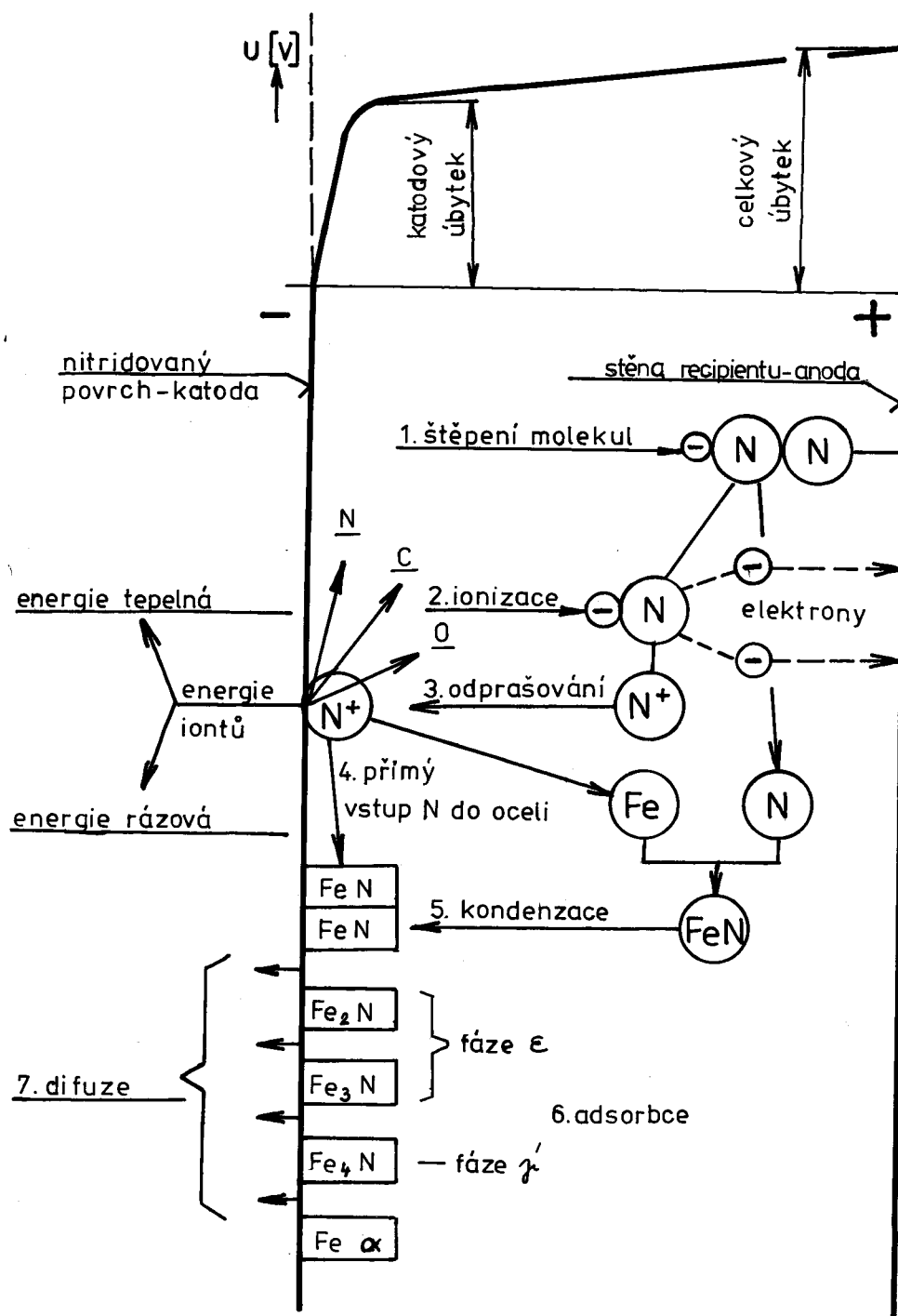
Dovolte mi, abych na závěr poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Horynovi CSc a konzultantovi Ing. Karlu Dočourkovi CSc za cenné rady, které mi během realizace diplomové práce poskytli. Dík patří také dalším pracovníkům ZEZ VVPZ Liberec a SVÚM Praha, kteří přispěli konkrétní pomocí při plnění některých úkolů, a dále všem, kdo jakýmkoliv způsobem napomohli k úspěšnému završení práce.

Pavel Rozdorec

II . OBRAZOVÁ A TABULKOVÁ ČÁST



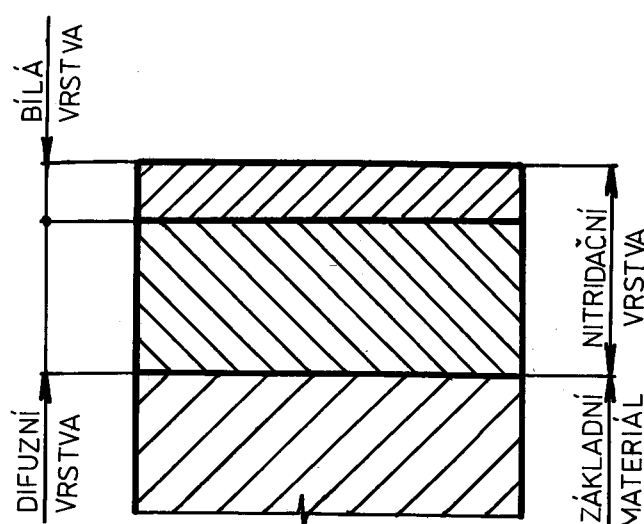
Obr.1 Schema iontonitridečného zařízení



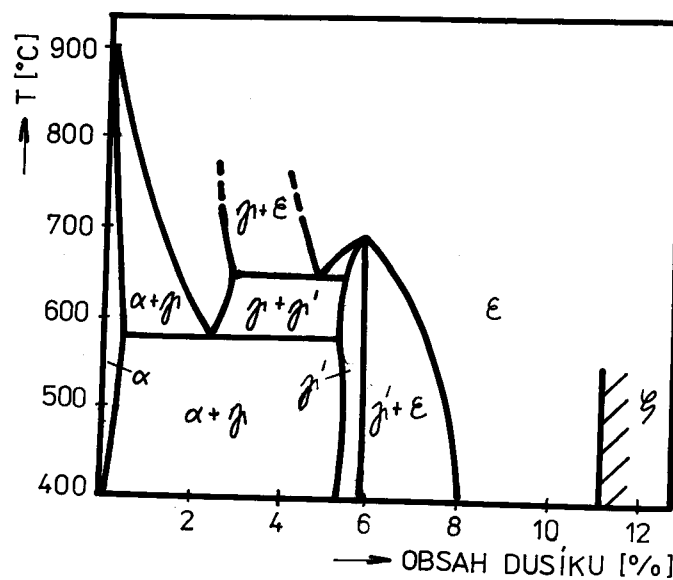
Obr.3 Princip iontové nitridace



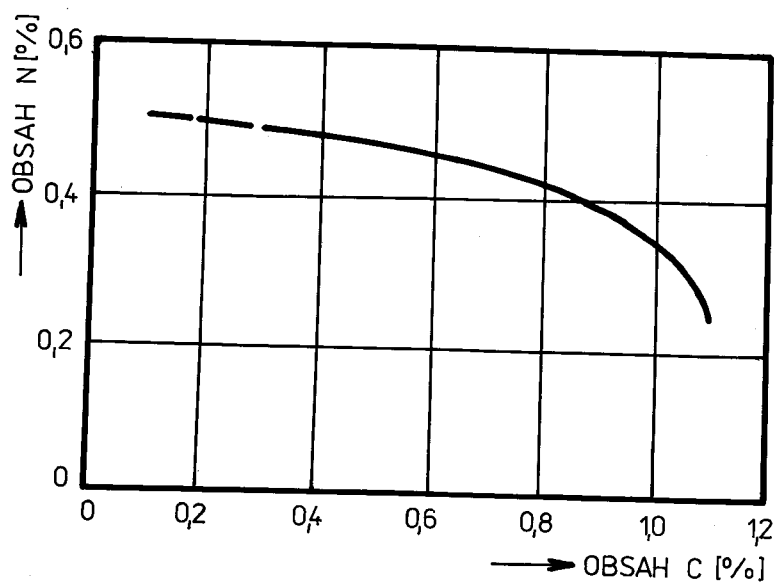
Obr.2 Iontonitridační zařízení



Obr.4 Složení iontonitridační vrstvy



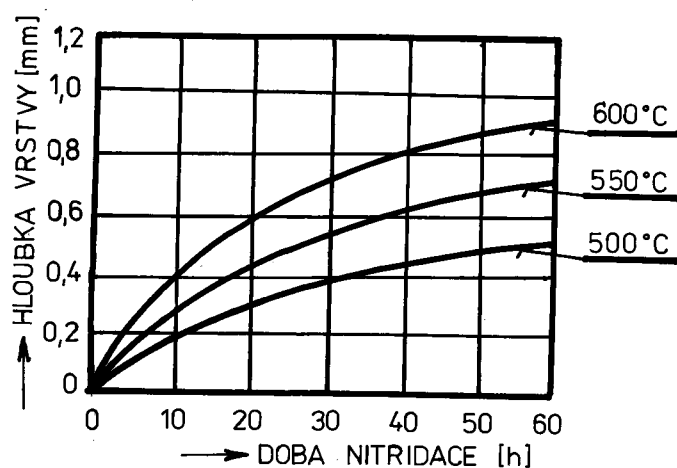
Obr.5 Rovnovážný diagram Fe-N



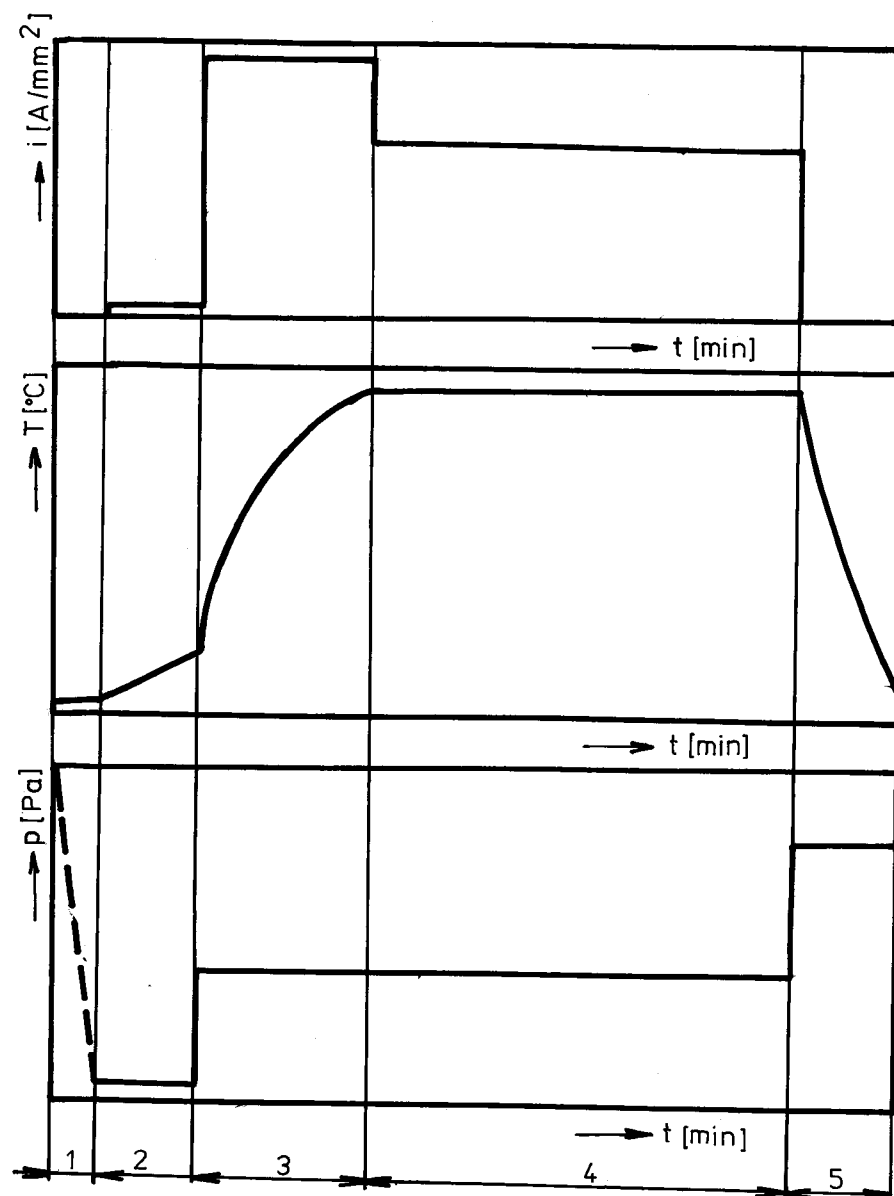
Obr.6 Závislost obsahu dusíku na obsahu uhlíku v austenitu

Tab.1 Závislost koeficientu difuze dusíku v austenitu na teplotě v atmosféře částečně štěpeného čpavku

TEPLOTA / C /	DIFUZNÍ KOEFICIENT DUSÍKU /cm ² .s. ⁻¹ .10 ⁻⁷ /
800	0,12
850	0,30
900	0,60
950	1,07
1000	1,35
1050	2,50
1100	4,00

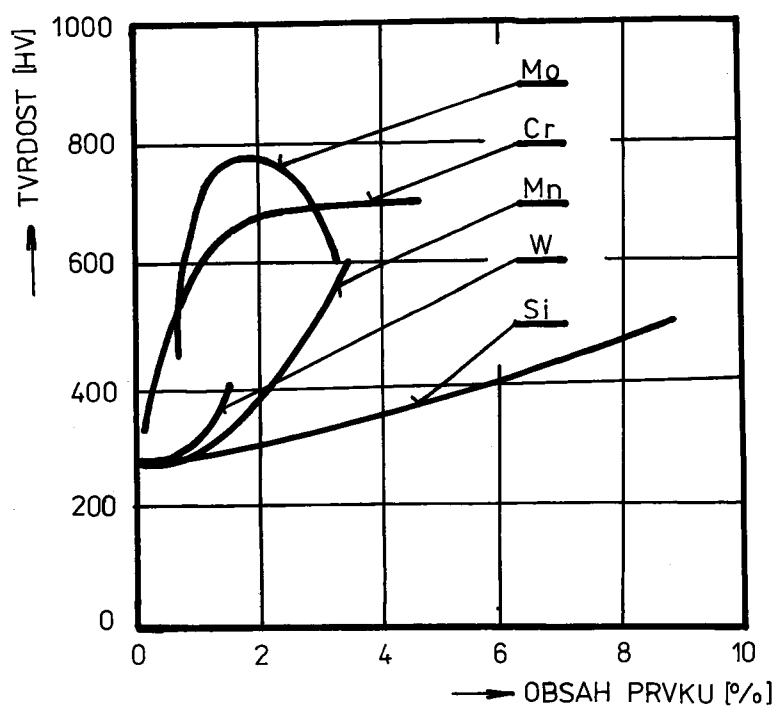


Obr.10 Vliv doby a teploty nitridace na hloubku nitridační vrstvy /při klasické nitridaci/

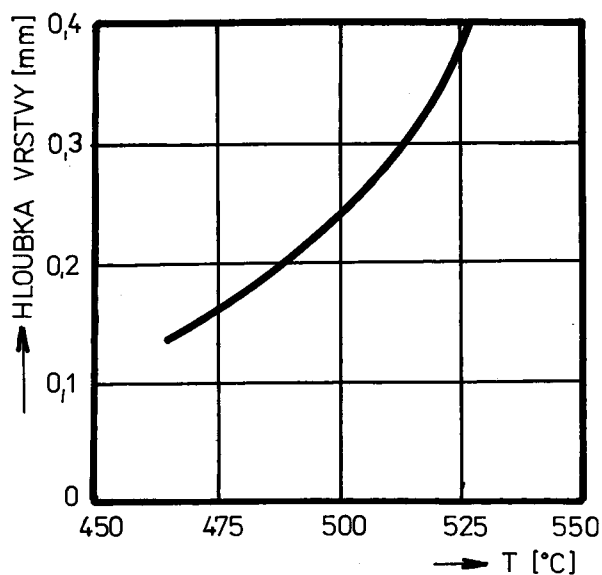


- 1 - VYČERPÁNÍ KOMORY
- 2 - ČISTĚNÍ POVRCHU SOUČÁSTI OD PRAŠOVÁNÍM
- 3 - OHŘEV SOUČÁSTI
- 4 - VLASTNÍ NITRIDACE
- 5 - OCHLAZOVÁNÍ SOUČÁSTI

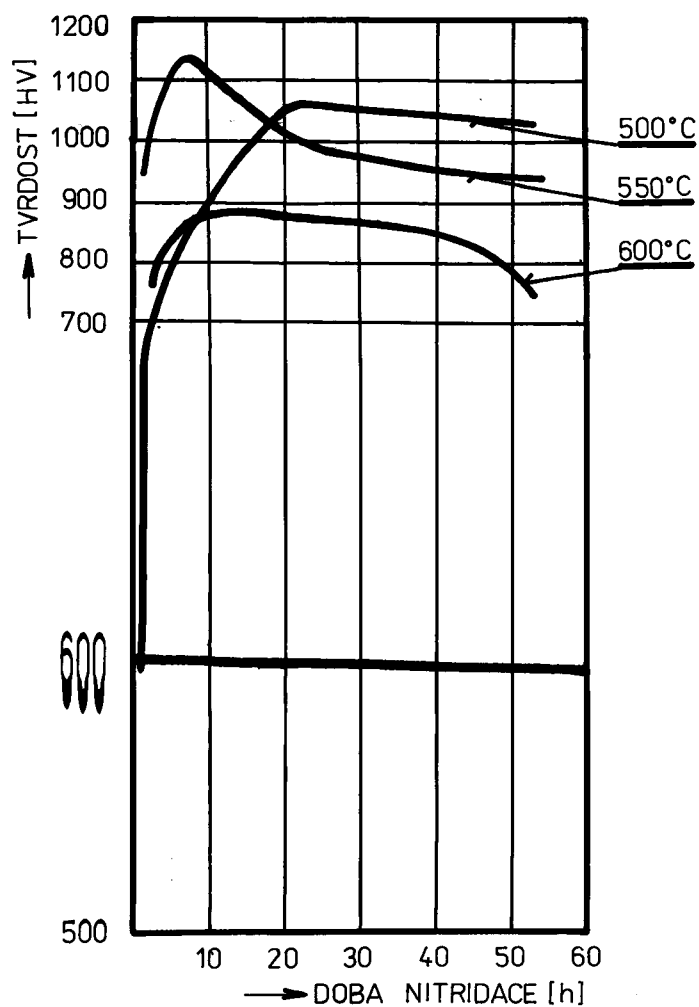
Obr.8 Proudový teplotní a tlakový cyklus ionto-nitridačního procesu



Obr.7 Vliv obsahu přísadových prvků na tvrdost ponitridací



Obr.9 Vliv teploty nitridace na hloubku nitridační vrstvy při klasické nitridaci po dobu 20 h



Obr. 11 Vliv doby a teploty nitridace na tvrdost nitridační vrstvy

STRUKTURA A

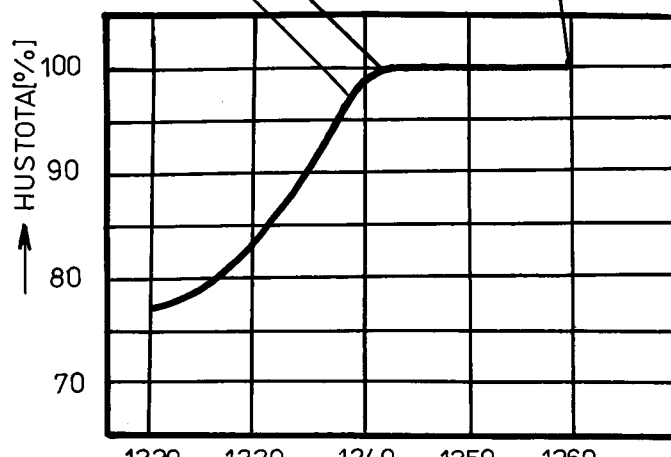
Drobné karbi-
dy zbytková
porezita

STRUKTURA B

Rovnoměrně
rozložené
drobné /2-4
um/ až hrub-
ší /5-10 um/
karbidy-
OPTIMÁLNÍ

STRUKTURA C

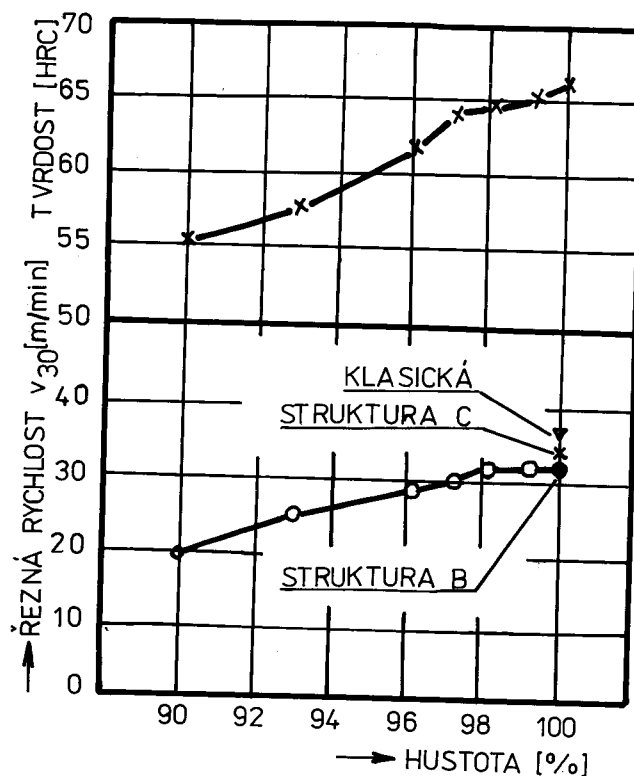
Leдебuritické
síťové karbi-
dů /nelze ov-
livnit tepel-
ným zpracová-
ním



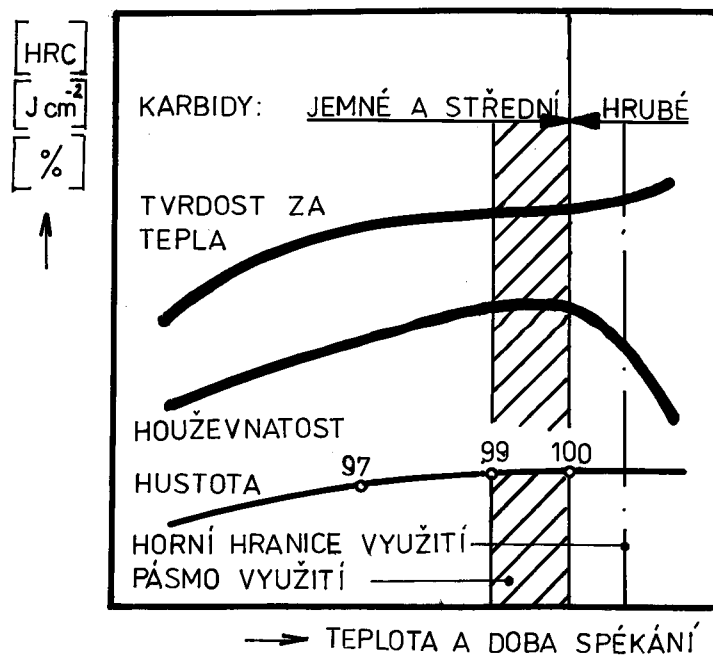
Tab.3 Vliv obsahu uhlíku na tvrdost a řezivost

OCEL	OBSAH UHLÍKU /%/	TVRDOST /HRC/	v_{30} /m.min ⁻¹ /	v_{60} /m.min ⁻¹ /
19 830	0,86	65-66	29	28
19 829	1,00	66-67	26	25,8
PM 30	0,93	65	28,2	28
PM 29	1,02	65-66	26	25,8
PM 32	1,29	60-61	23,7	23
PM 33	1,41	50	50	22

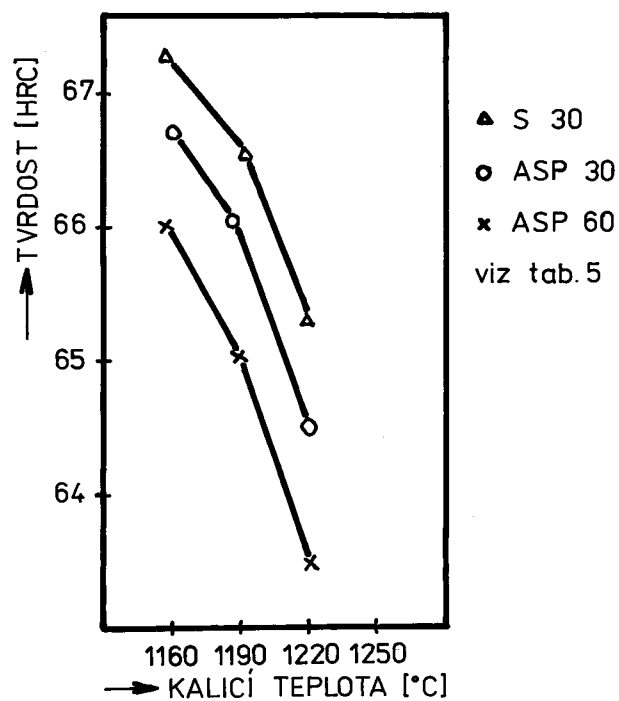
v_{30}, v_{60} - řezná rychlost při trvanlivosti 30 a 60 min.
 PM 30-33- složení stejné jako 19 830 /viz tab.5./, od-
 stupňovaný obsah uhlíku.



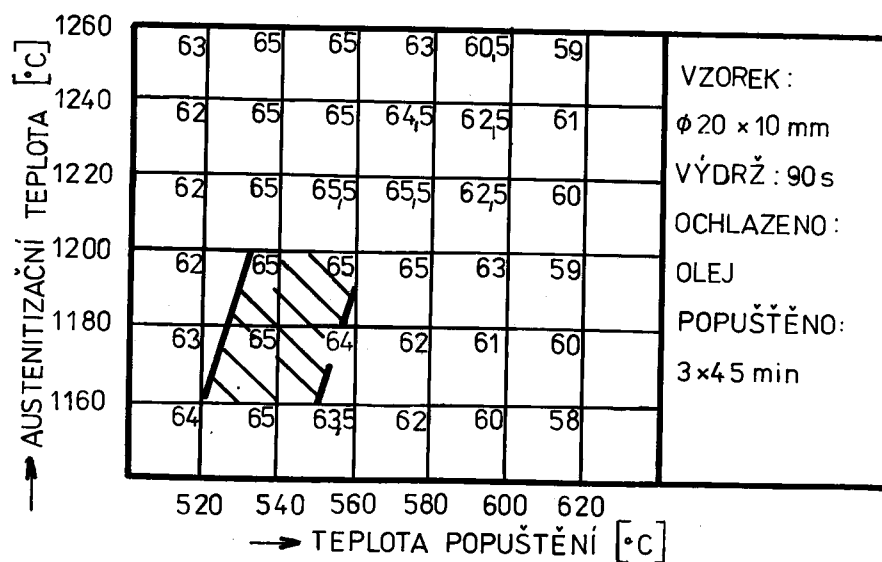
Obr.13 Vliv hustoty kompaktního na řeznou rychlost při trvanlivosti břitů 30 min / v_{30} /



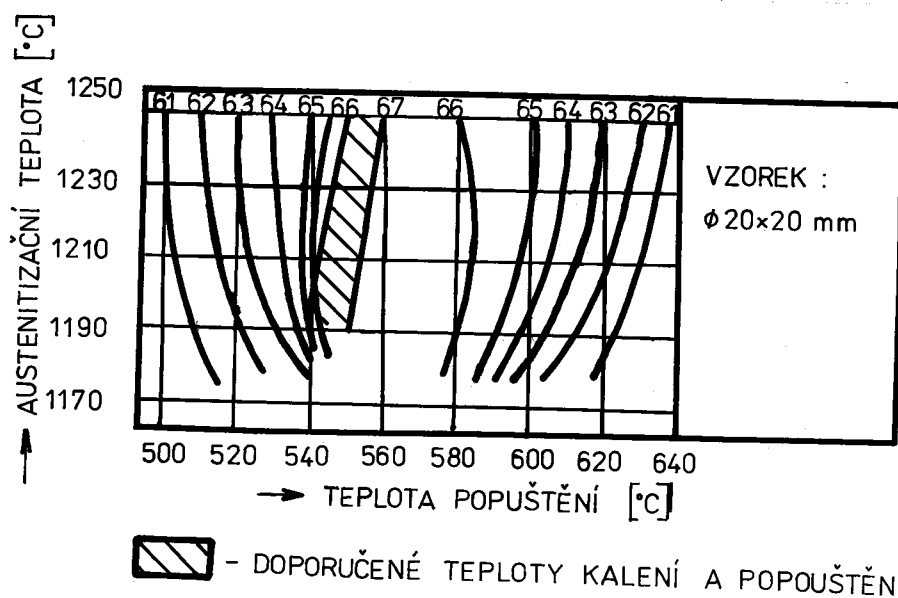
Obr.14 Vliv podmínek spékání na vlastnosti ocelí



Obr.15 Vliv kalicí teploty na tvrdost po kalení

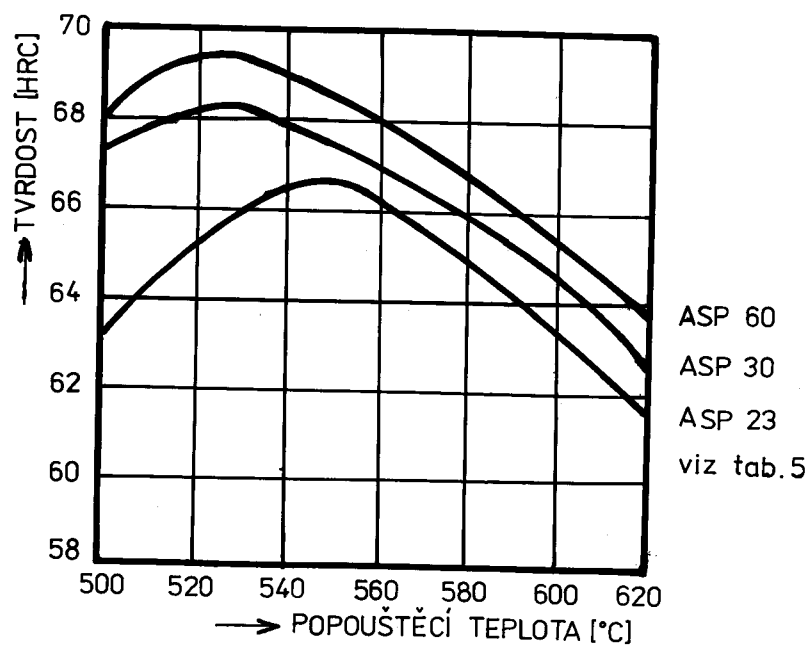


 - DOPORUČENÉ TEPLoty KALENÍ A POPOUŠTĚNÍ

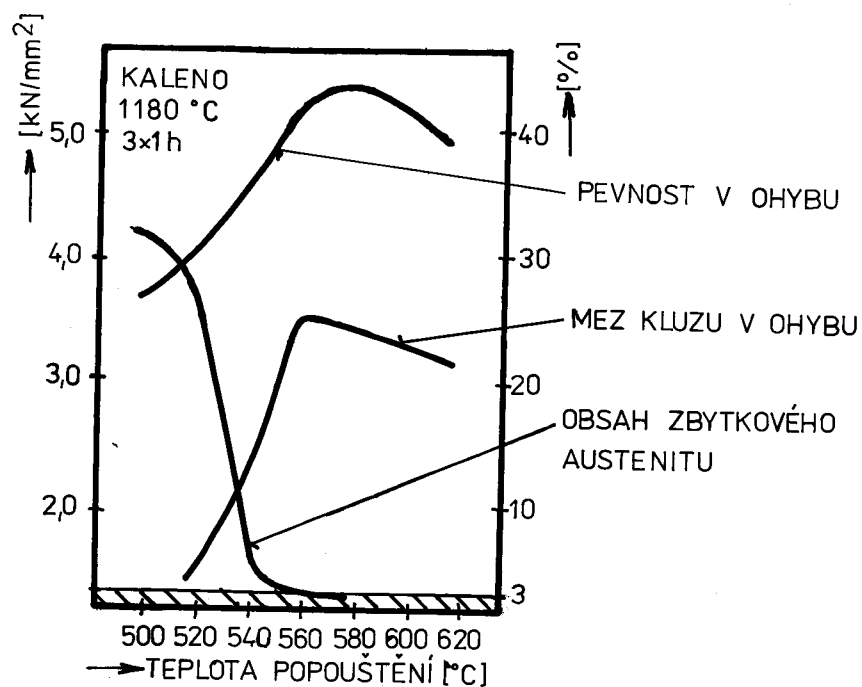


 - DOPORUČENÉ TEPLoty KALENÍ A POPOUŠTĚNÍ

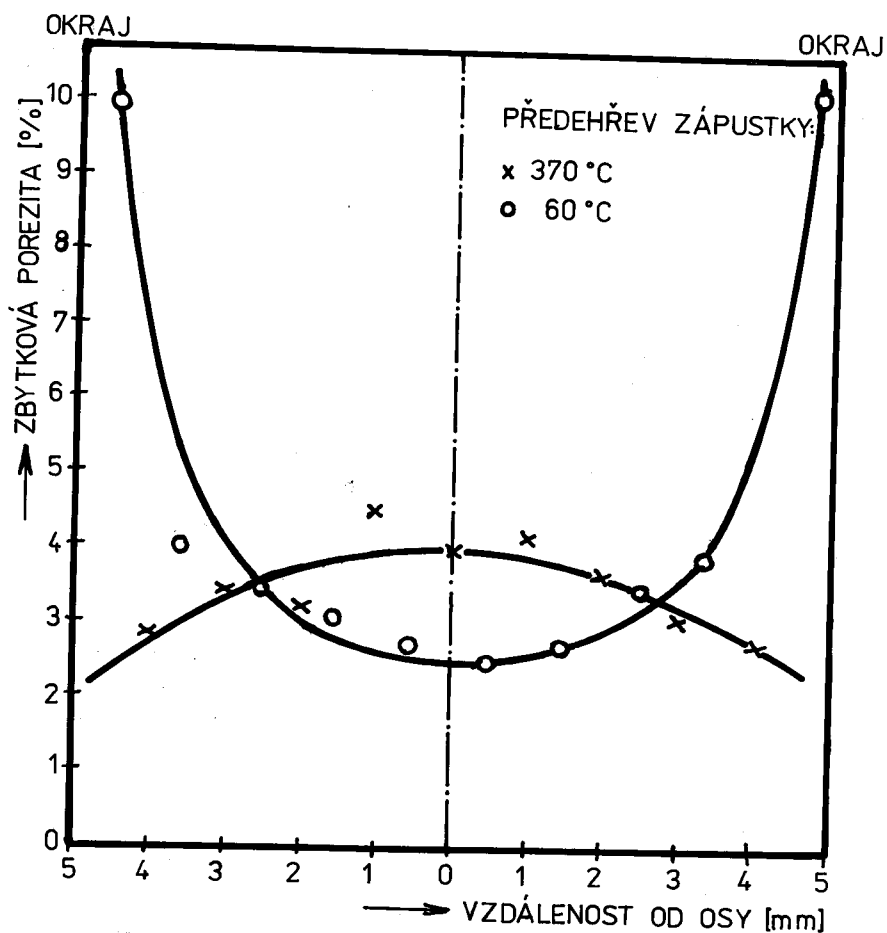
Obr.16 Vrstevnicové popouštěcí diagramy ne-
 tvářené PM RO 19 830 /ZVL Dolný Ku-
 bín/ a klasicky vyrobené RO 19 830
 /POLDI SONP Kladno/



Obr.17 Vliv popouštěcích teplot na tvrdost ASP ocelí při kalící teplotě 1180 °C



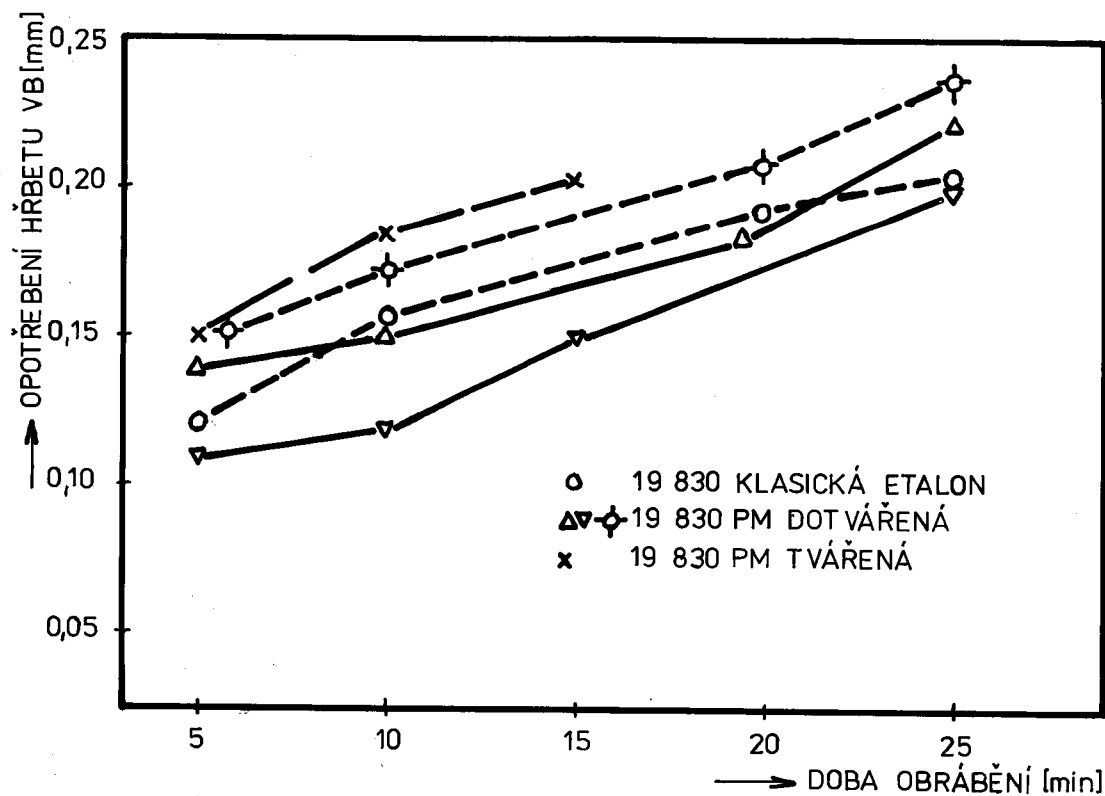
Obr.18 Závislosti obsahu zbytkového austenitu, meze pevnosti a meze kluzu v ohybu ocelí ASP 23 na popouštěcí teplotě



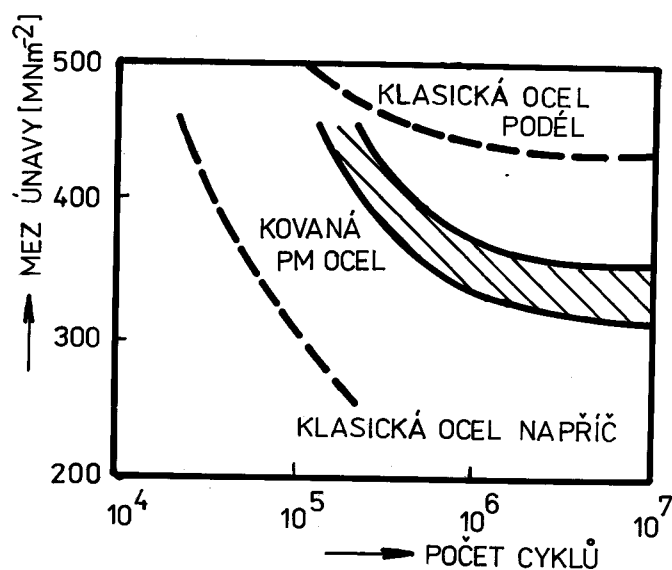
Obr. 19 Vliv přehřevu tvářecí zápusky na porezitu v průřezu tvářence z PM oceli /řezná slitina na bázi Co/

Tab.4 Obrobitelnost broušením některých řezných materiálů hodnocená drsností povrchu a poměrným obrusem q při zapichovacím broušení obvodem kotouče

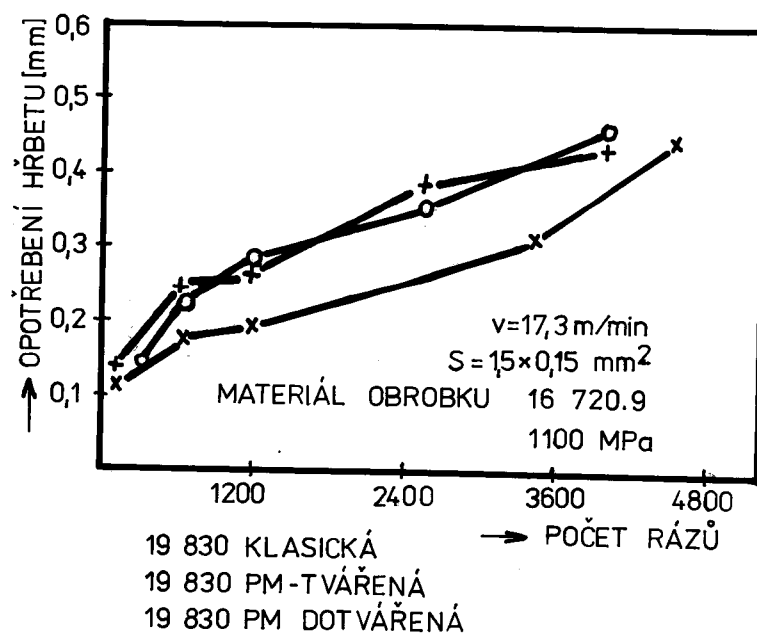
OCEL	HV 10	Ra / μ m/		q	%
		PODELNÁ	PŘÍČNÁ		
19 830	858	0,2	0,8	1,8	100
19 861	930	0,2	0,7	0,52	100
ASP 30	930	0,2	0,85	1,05	202



Obr.20 Řezivost klasické a PM RO 19 830 při jemném soustružení oceli 12 050.1



Obr.21 Hodnoty dynamických vlastností PM a klasických ocelí



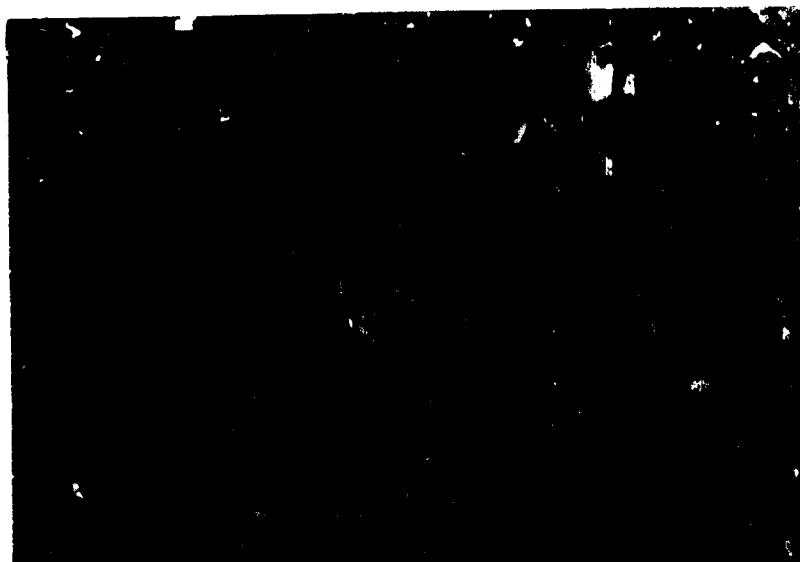
Obr.22 Chování destiček z RO 19 830 vyrobené různými technologiemi v podmínkách přerušovaného řezu

Tab.5 Složení některých RO různých typů

	TYP OCELI	SLOŽENÍ /%/					
		C	Cr	Mo	W	V	Co
SPÉKANÉ	ASP 23	1,3	4,2	5,0	6,4	3,1	-
	ASP 30	1,3	4,2	5,0	6,4	3,1	8,5
	ASP 60	2,3	4,0	7,0	6,5	7,0	10,5
KLASICKÉ	19 830	0,86	3,8	5,1	6,2	2,0	-
	19 829	1,04	3,8	5,0	6,2	1,8	-
	M 2	0,9	4,2	5,0	6,4	1,8	-
	S 30	1,3	4,2	5,0	6,4	3,1	8,5

Tab.6 Porovnání některých výsledků získaných při obrábění ocelmi různých typů / viz tab.5/ v praxi

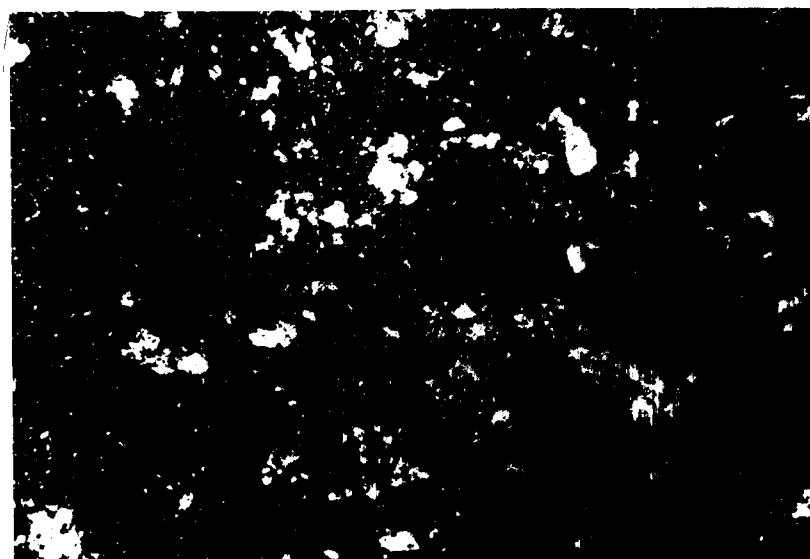
TECHNOLOGIE	OCEL	ŘEZNÁ RYCHLOST	OPOTŘE- BENÍ	POČET OBROBKŮ NA JEDNO PŘEOSTŘENÍ	CELKOVÝ POČET OBROB- KŮ NA JEDEN NÁSTROJ
		/m.min ⁻¹ /			
Protahování vnitřního drážkování	ASP 23	3,7	0,10	4250	89 250
	M 2	3,7	0,23	2400	24 000
Frézování ozubených kol odvalo- vacími fré- zami	ASP 23	85	0,16- 0,25	100	1400
	M 2	63	0,20- 0,75	80	960



500x

Villela-Bain

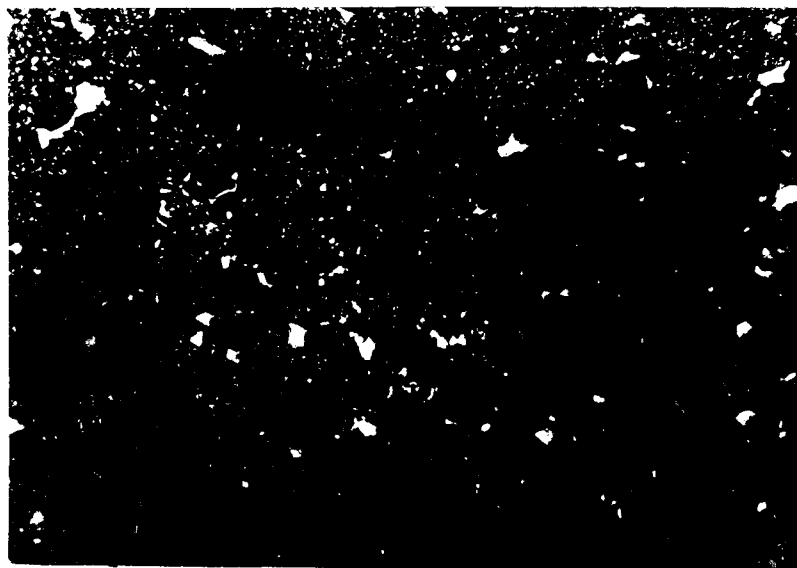
Obr.23 Struktura výchozího stavu PM RO
19 830



500x

Villela-Bain

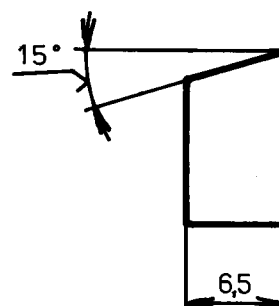
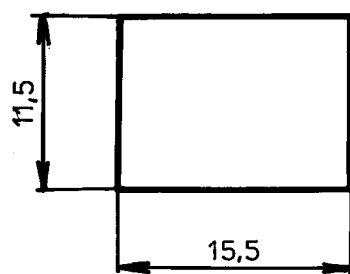
Obr.24 Struktura výchozího stavu Kla-
sické RO 19 830



500x

Villela-Bain

Obr.25 Žíhaný stav PM RO 19 820



M 2:1

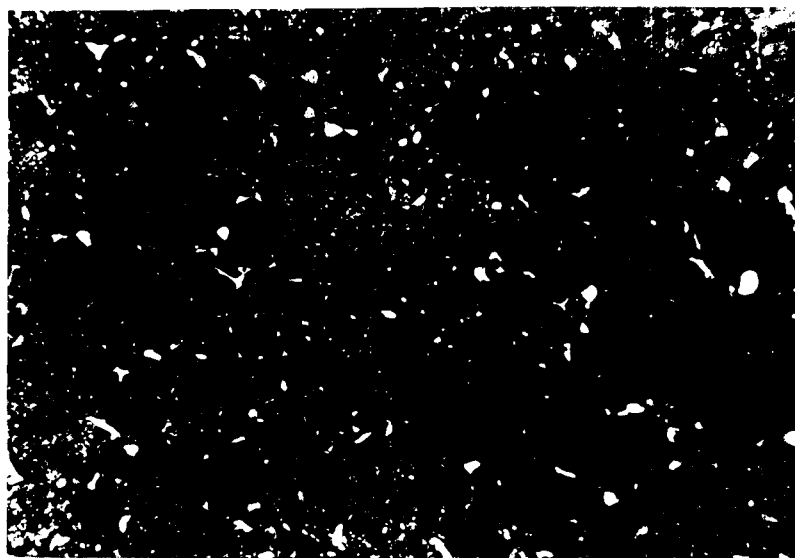
Obr.26 Břitová destička



500x

Villela-Bain

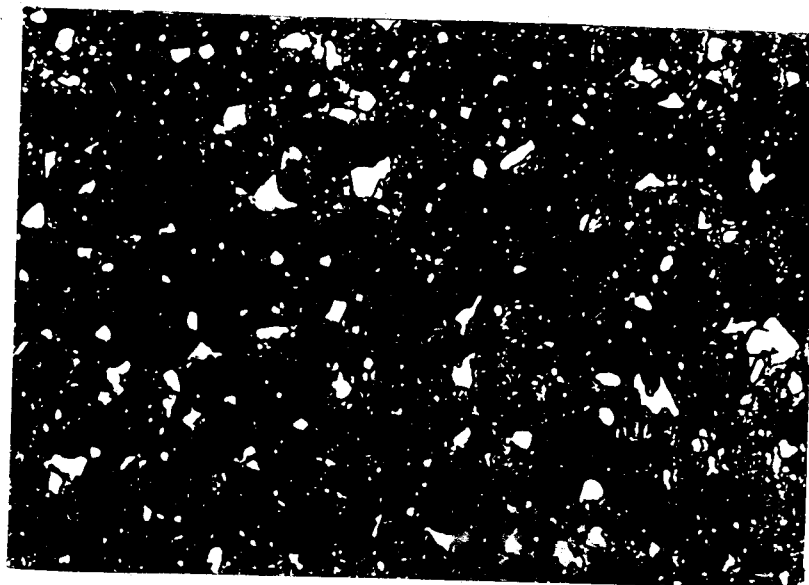
Obr.27 Struktura oduhličené vrstvy na
zušlechtěné PM RO 19 830



500x

Villela-Bain

Obr.28 Neoduhličená struktura zušlech-
těné PM RO 19 830



500x

Villela-Bain

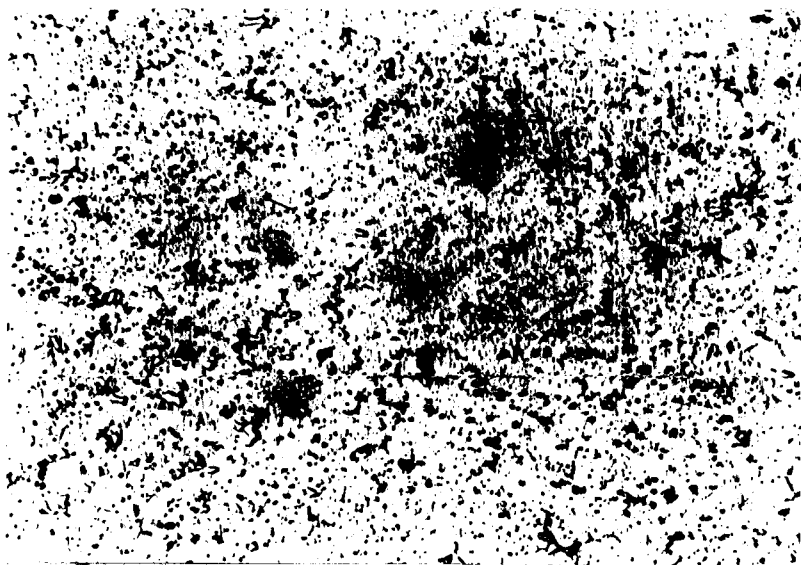
Obr.29 Struktura zušlechtěné destičky
z PM RO 19 830 druhé série

Tab.7 Parametry iontonitridačního procesu obou druhů destiček

PARAMETR	JEDNOTKA	BŘITOVÉ DESTIČKY		DESTIČKY BEZ ŘEZNÉHO ÚHLU	
TEPLOTA *	°C	520		510	
TLAK	Pa	300		500	
PRUTOK PLYNU	l/min	N	6	ŠTĚPENÝ ČPAVEK	80
		H* *	120		
ČAS	min	10		480	
NAPĚTÍ	V	550		400	
TLOUŠTKA VRSTVY	um	cca. 20-30		200	

* Vzhledem k malým rozměrům vzorků je hodnota pouze přibližná

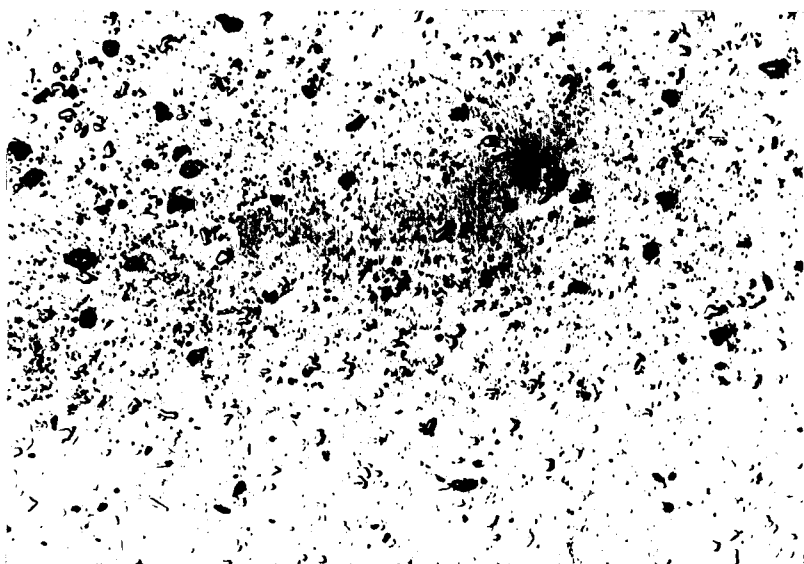
** Napomáhá vytváření oblouku, sám proces neovlivňuje



200x

Neleptáno

Obr.30 Struktura PM RO 19 830 v nelep-
taném stavu



200x

Neleptáno

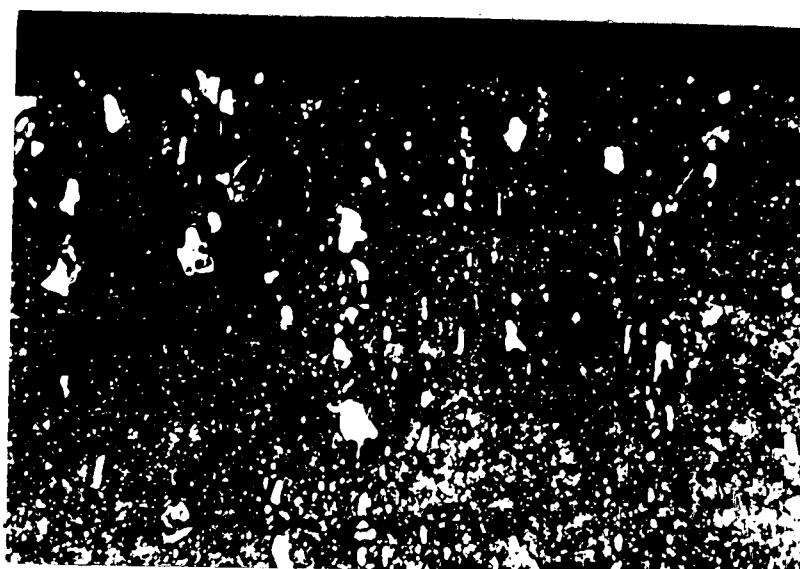
Obr.31 Struktura klasické RO 19 830
v neleptaném stavu



500x

Nital 3%

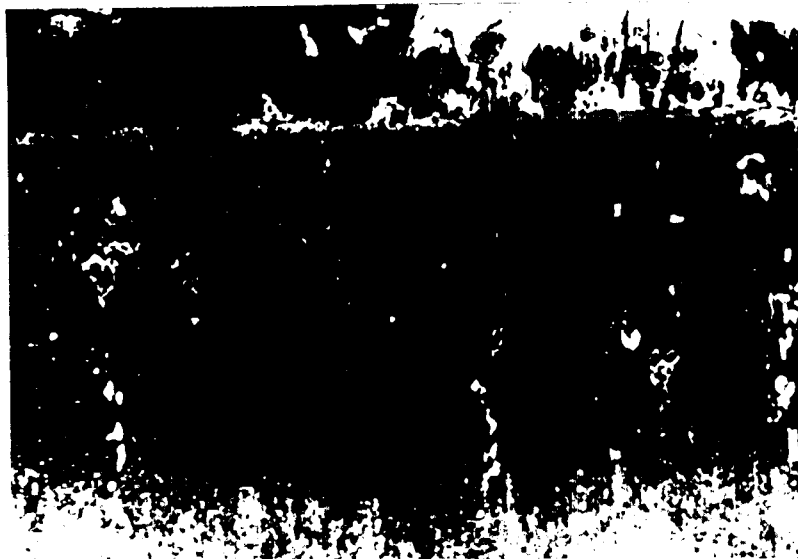
Obr.32 Nitridovaná vrstva na břitové
destičce z PM RO 19 830



500x

Nital 3%

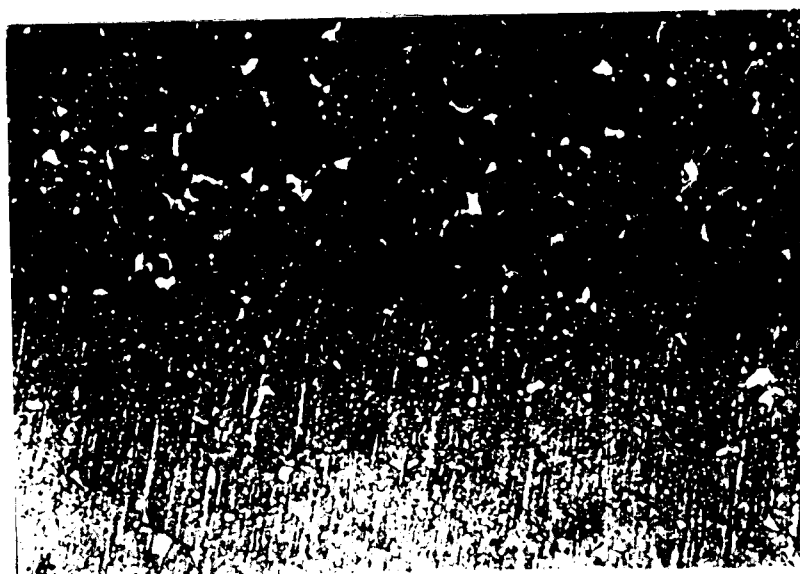
Obr.33 Nitridovaná vrstva na břitové
destičce z klasické RO 19 830



500x

Nital 3%

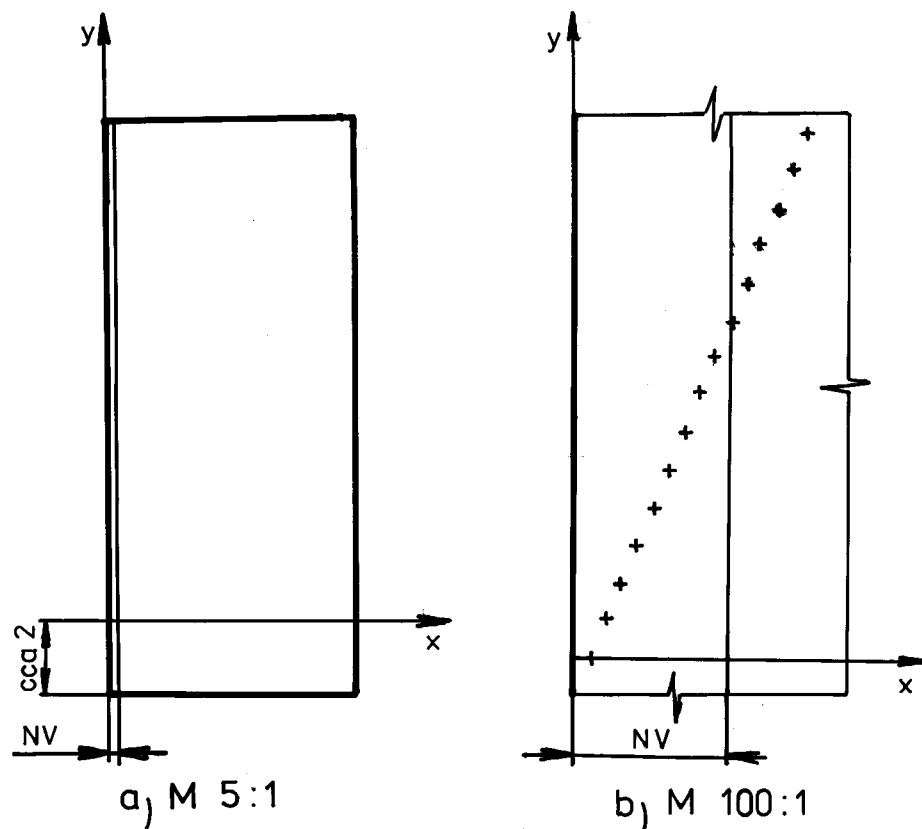
Obr.34 Nitridovaná vrstva 0,2 /mm/ na
PM RO 19 830



500x

Nital 3%

Obr.35 Nitridovaná vrstva 0,2 /mm/ na
klasické RO 19 830

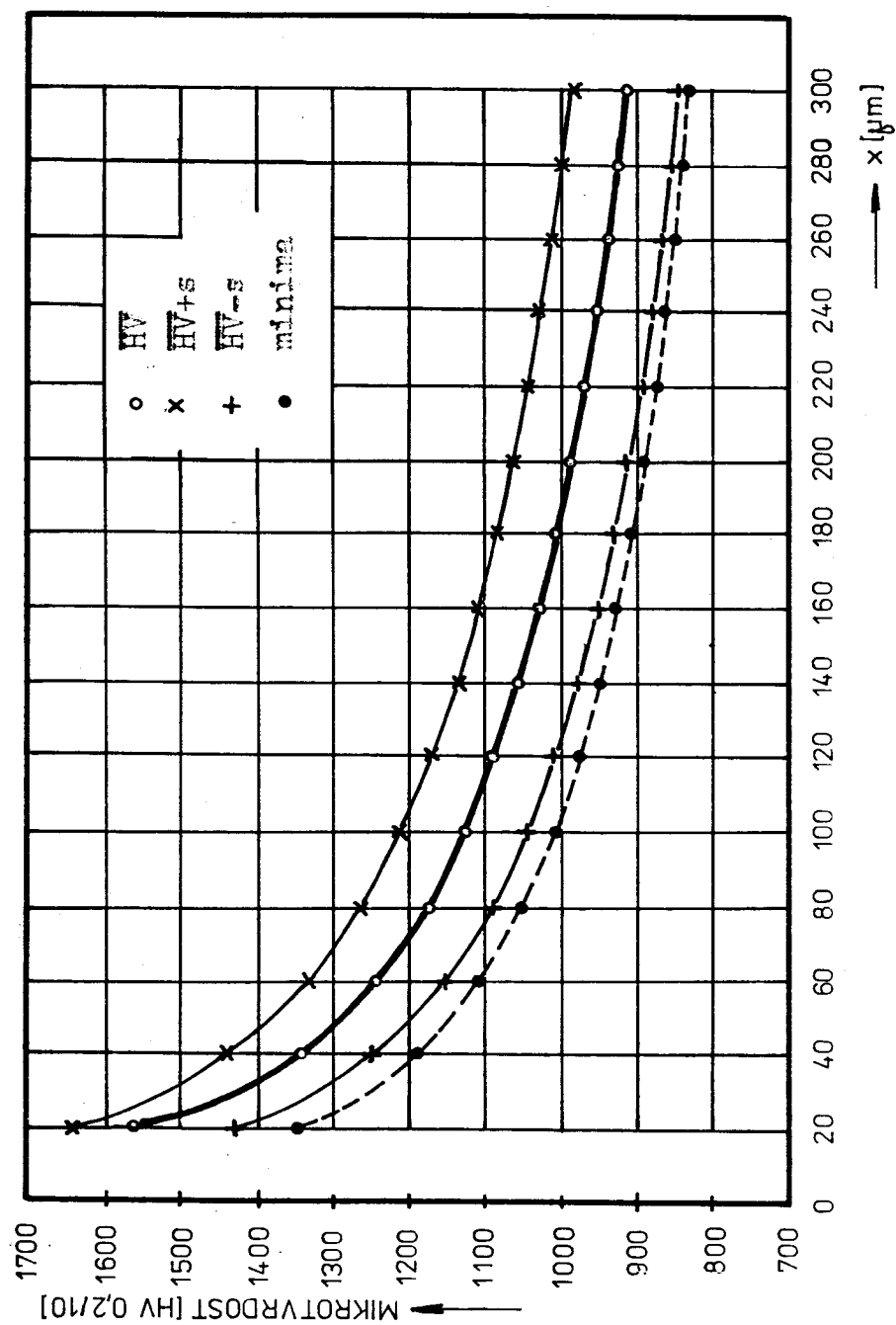


NV-NITRIDAČNÍ VRSTVA

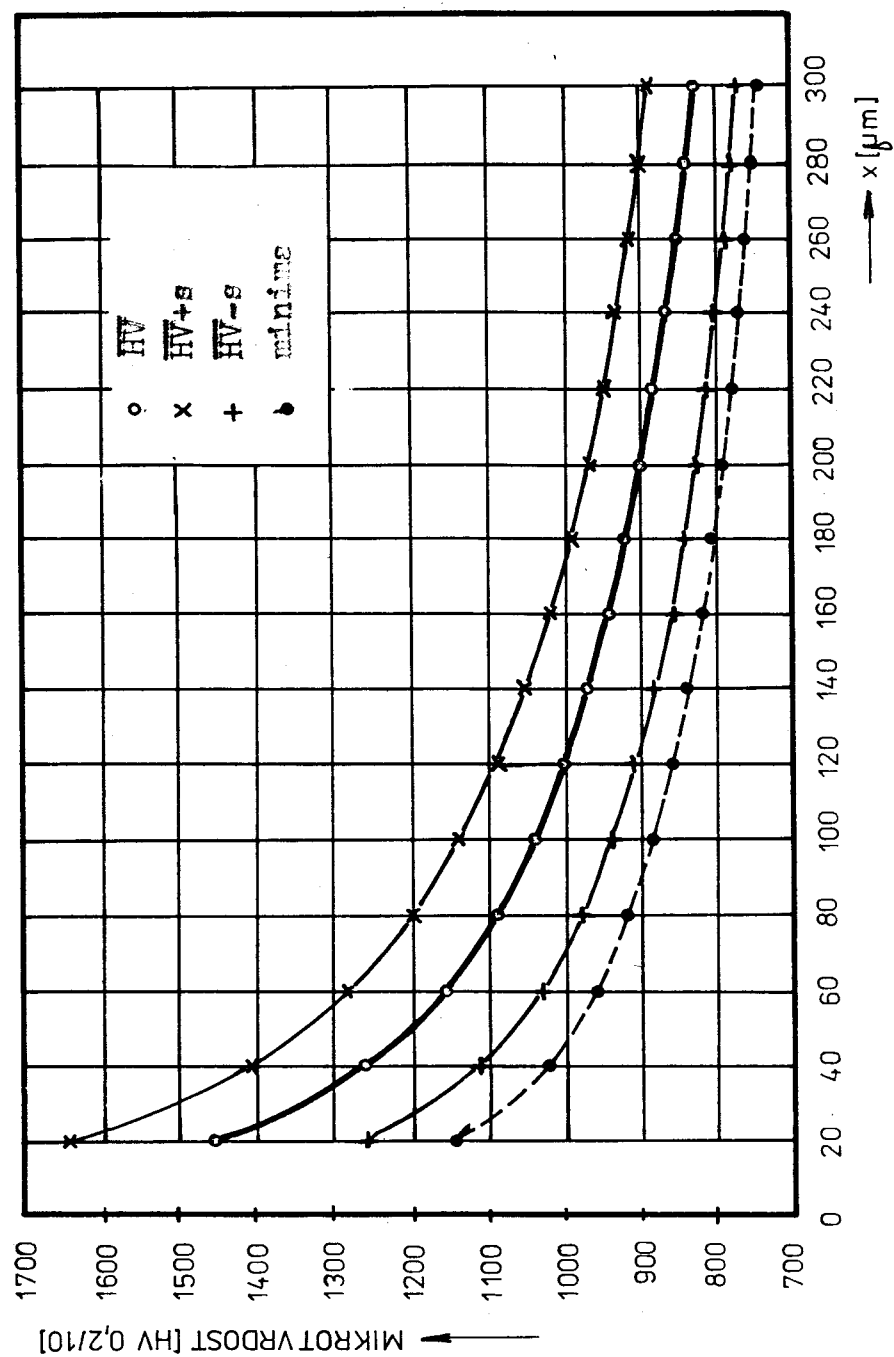
Obr.36 a-Umístění souřadného systému pro měření mikrotvrdosti v řezu destičky
b-Umístění vpichů v tomto systému

Tab.12 Konstanty regresní analýzy

Mocninová regrese - $HV = A \cdot x^B$				
	PM RO		KLASICKÁ RO	
	A	B	A	B
$\overline{HV}$	2722,15	-0,19144	2711,87	-0,207945
$\overline{HV}+s$	2893,71	-0,188815	3269,36	-0,228836
$\overline{HV}-s$	2559,38	-0,194655	2173,69	-0,181822
MINIMA	2310,73	-0,179647	1850,92	-0,159977



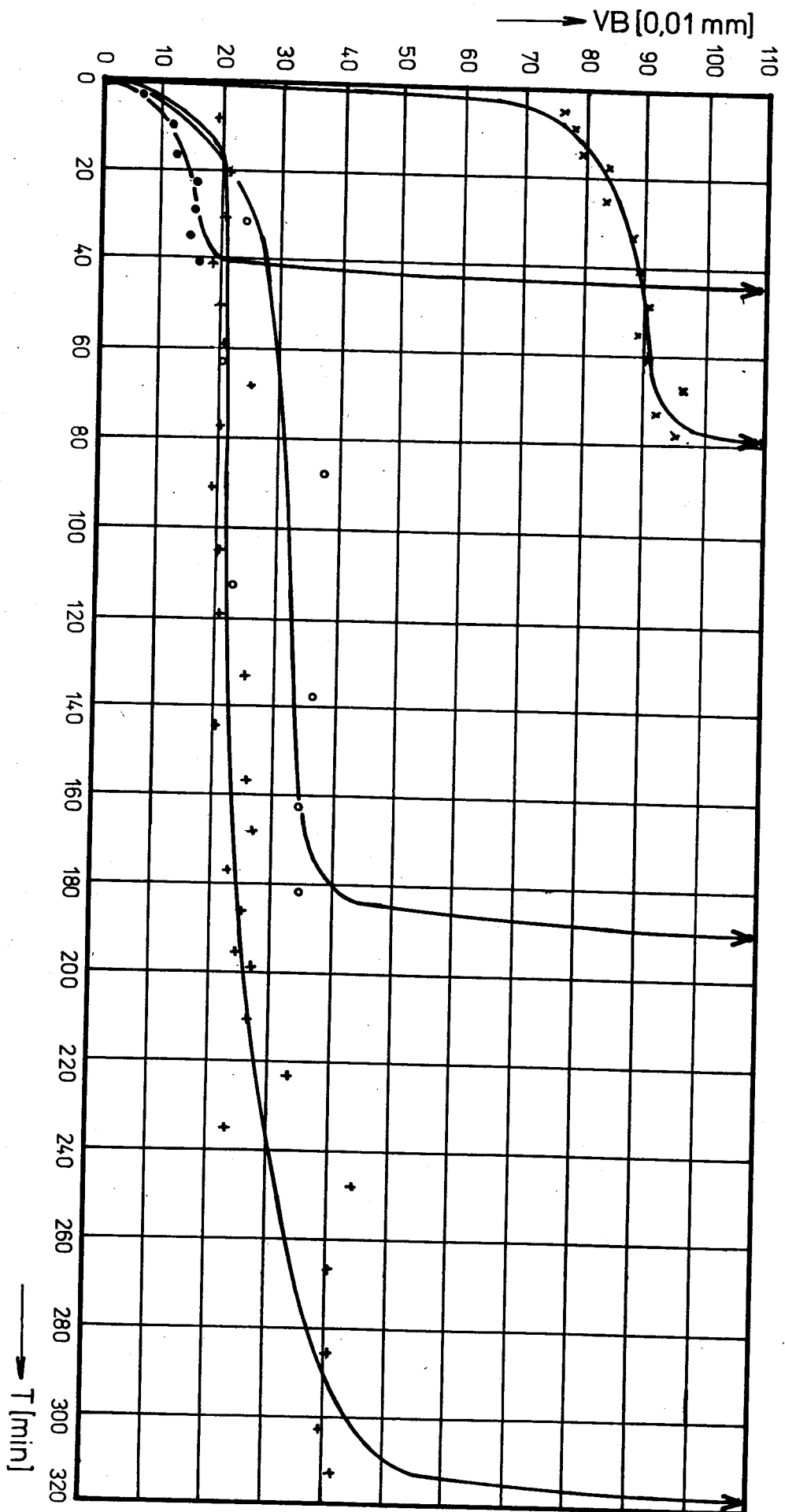
Obz. 10 Změna mikrotvrdosti s vzdáleností od okraje u PM RO
10 930 mikrotvrdost měřena 0,2 mm



Obr. 32 Změna tvrdosti mikrotvrdostí na vzdálenosti od okraje u klasické a moderní metody měření tvrdosti 0,2 mm

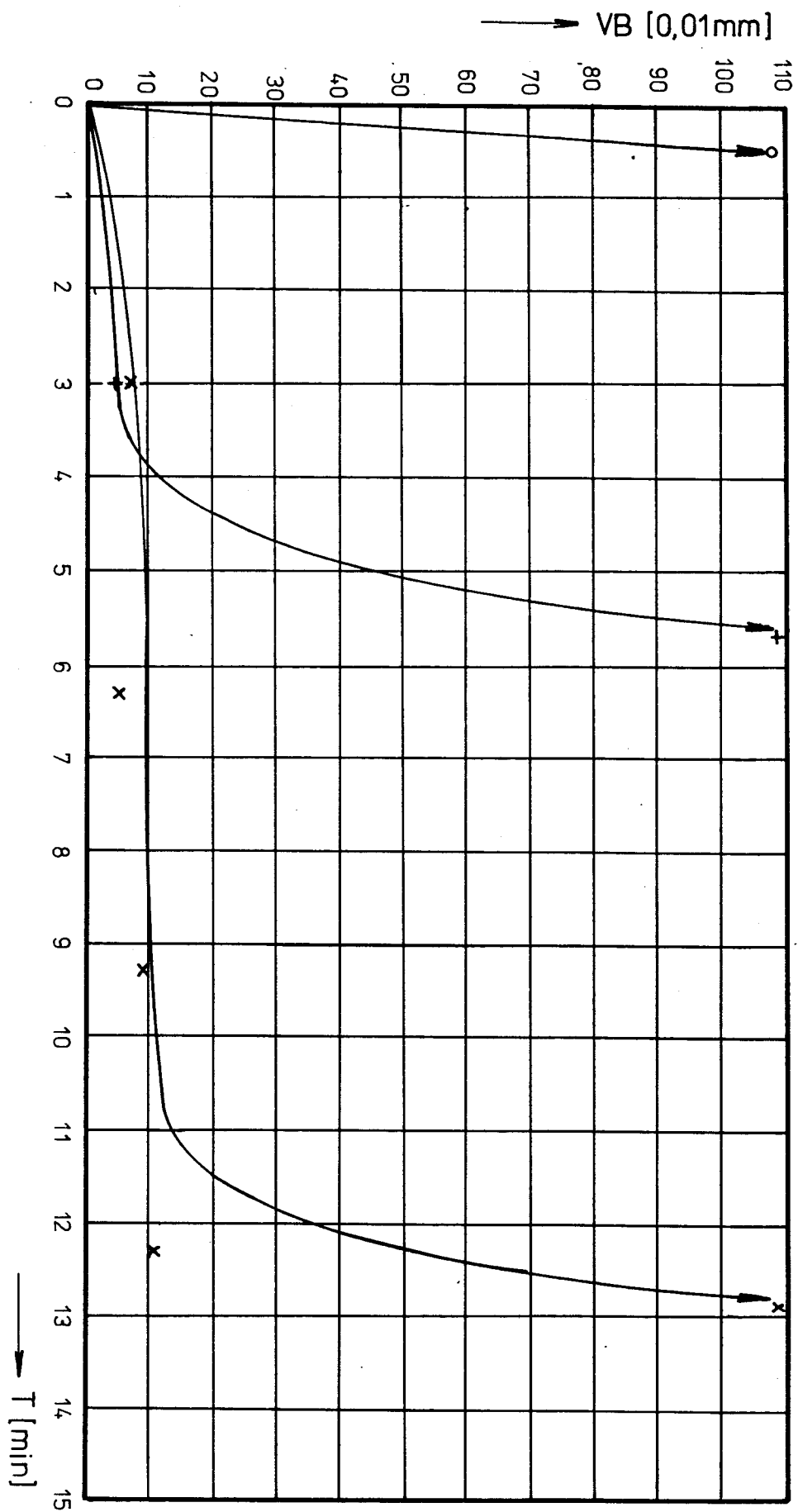
Tab.13 Hodnoty mikrotvrdosti ionto-
nitridační vrstvy 0,02 mm mě-
řené z povrchu destičky

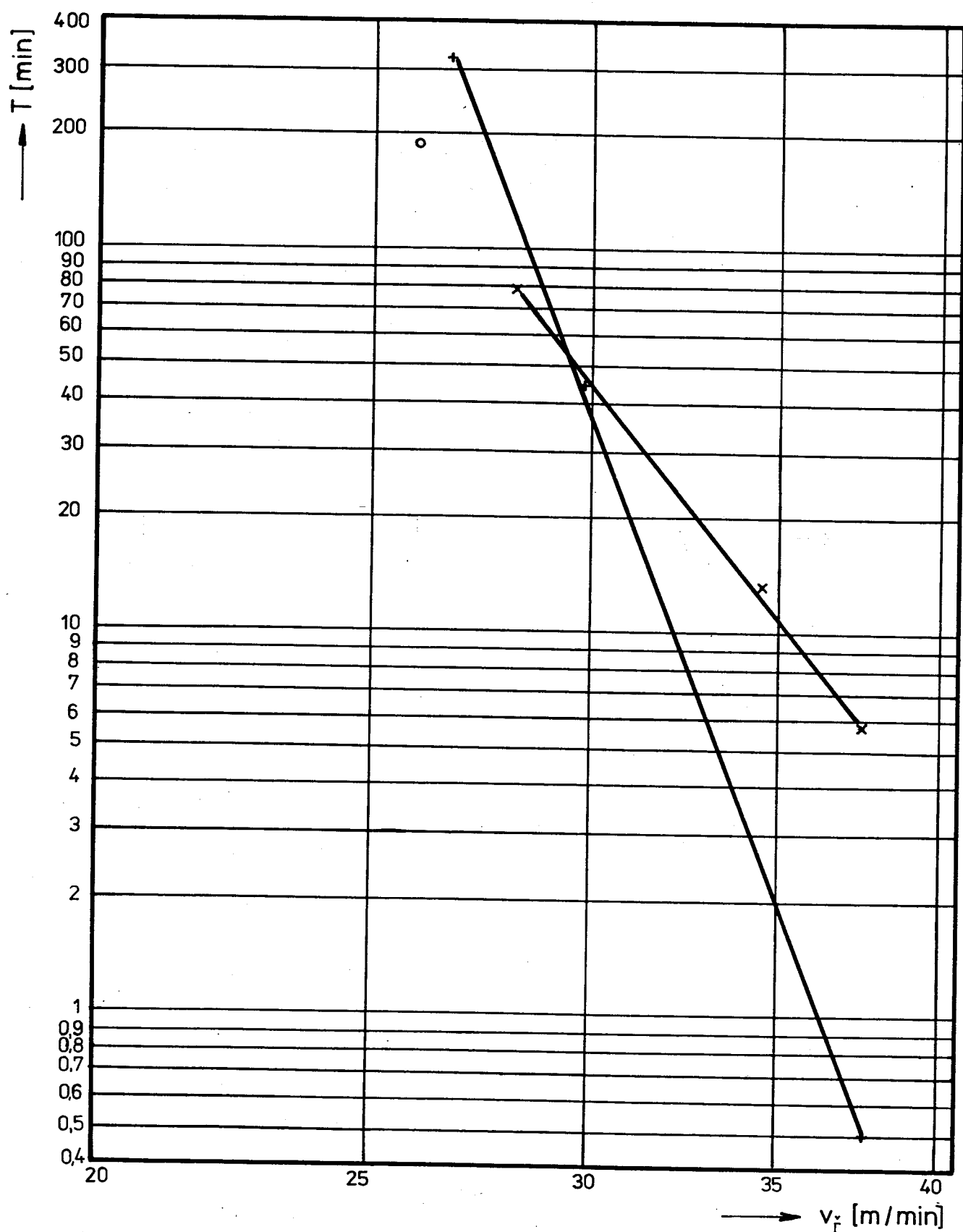
DES- TIČ- KA	Č. MĚŘE- NÍ	ÚHLO- PŘÍČ- KA	MKROTVRDOST
			HV 0,05/10
PM	1	29	1430
	2	27	1655
	3	27	1655
	4	26	1785
	5	29	1430
	6	25	1930
	7	27	1655
	8	26	1785
KLAS	1	27	1655
	2	28	1535
	3	28	1535
	4	27	1655
	5	28	1535



Obr. 41 Závislost opotřebení hříbetu na čase pro destičky FM I (+), PM I K (o), KLAS. I (x) a PM II (•)

Obr. 42 Závislost opotřebení hřebtu na čase uvození částic KLAS. II (x), KLAS. III (+) a PM III (o)





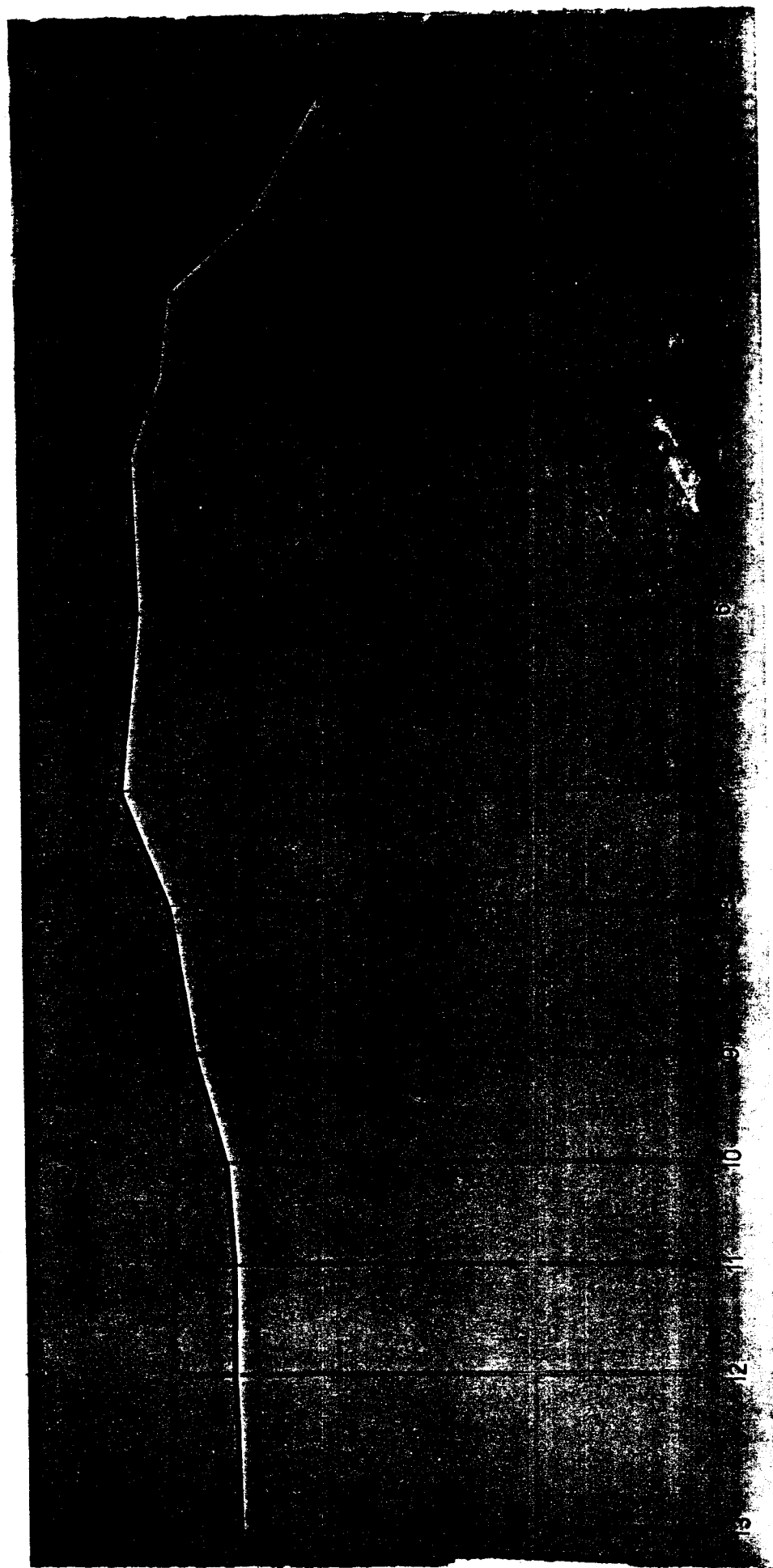
Obr. 43 Závislosti T - v naměřené pro PM ocel /+/, pro klasickou ocel /x/ s nitridovanými vrstvami a pro kalenou PM ocel /o/



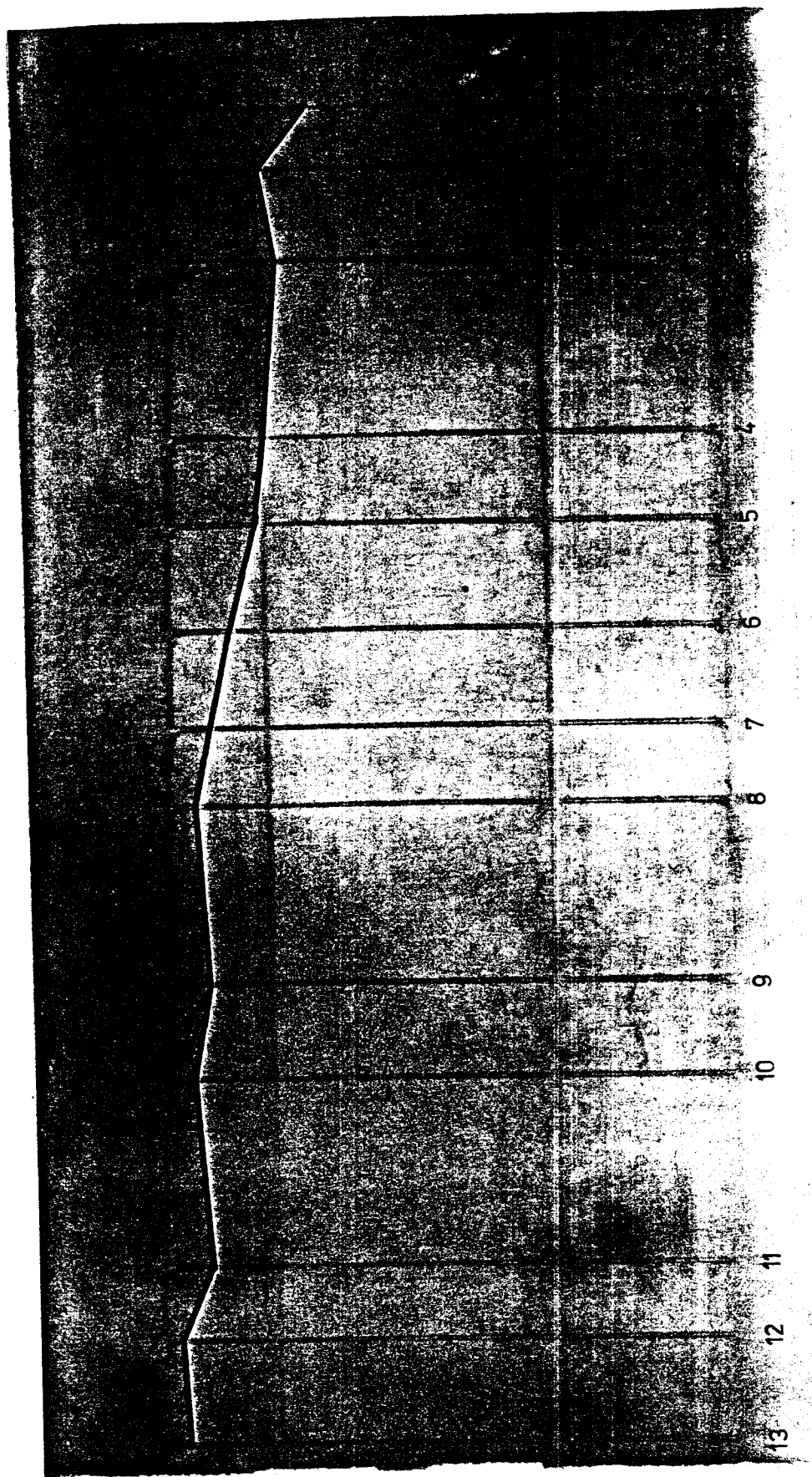
Obr.40 Nožový držák

Tab.16 Řezné podmínky při zkoušce obrobitelnosti

VELIČINA	ZNAČKA	JEDNOTKA	HODNOTA
ŘEZNÁ RYCHLOST	v	m.s ⁻¹	32
POSUVOVÁ RYCHLOST	v	m.s ⁻¹	0,2
HĚLOUBKA ŘEZU	t	mm	0,0175
CHLAZENÍ	řezný olej ABRAZOL B		
KOTOUČ	A 98 25k 10 V		
BRUSKA	BHP 20		



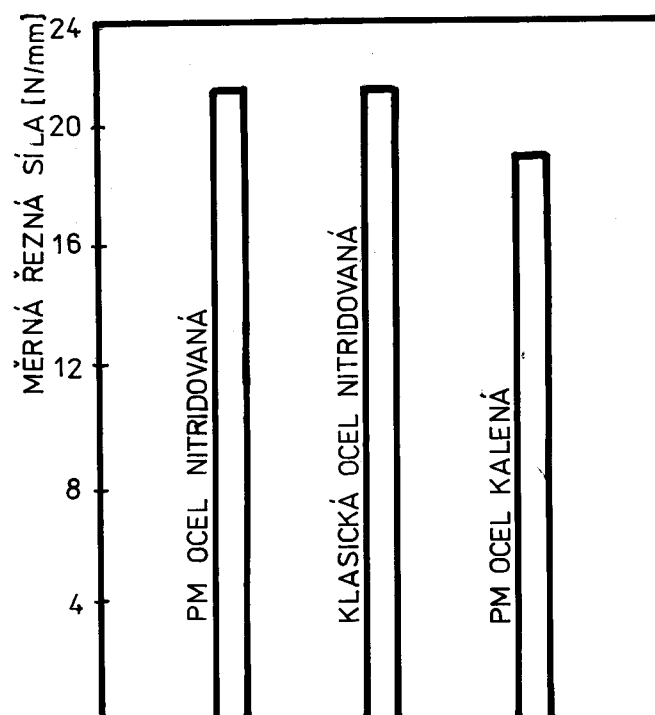
Obr. 44 Hodnoty řezné síly při broušení nitrídané vrstvy na destičce z PM RO 19 830



Obr. 46 Hodnoty měrné síly při posouvání vzduchové desky z TH R0 19 820

Tab. 17 Obrobitelnost nitridované vrstvy na PM a klasické oceli a kalené PM 19 830

DES- TIČ- KA	Č. ZDVI- HU	VÝŠKA ZDVIHU	SÍLA	ŠÍŘKA	OBROBI- TELNOST
		mm	N		N.mm ⁻¹
PM N	1	60	150,60	11,118	13,45
	2	72	180,72		16,75
	3	85	213,35		19,19
	4	86	215,86		19,41
	5	91	228,41		20,54
	6	91	228,41		20,54
	7	94	235,94		21,22
	8	87	218,37		19,64
	9	83	208,33		18,74
	10	78	195,78		17,61
	11	77	193,27		17,38
	12	77	193,27		17,38
	13	76	190,76		17,16
PM K	1	63	158,13	11,342	13,94
	2	71	178,21		15,71
	3	69	173,19		15,26
	4	71	178,21		15,71
	5	73	183,23		16,15
	6	78	195,78		17,26
	7	81	203,31		17,92
	8	83	208,33		18,37
	9	82	205,82		18,15
	10	85	213,35		18,81
	11	83	208,33		18,37
	12	87	218,37		19,25
	13	86	215,86		19,12



Obr. 47 Maxima měrných řezných sil naměřená v průběhu zkoušky obrobiteľnosti broušením

Pokračování tab.17

DES- TIČ- KA	Č. ZDVI- HU	VÝŠKA ZDVIHU	SÍLA	ŠÍŘKA	OBROBI- TELNOST
		mm	N		N.mm ⁻¹
KLAS N	1	45	112,93	11,357	9,94
	2	59	148,09		13,04
	3	68	170,68		15,03
	4	79	198,29		17,46
	5	87	218,37		19,37
	6	93	233,43		20,55
	7	96	240,96		21,22
	8	96	240,96		21,22
	9	95	238,45		20,99
	10	94	235,94		20,77
	11	88	220,88		19,44
	12	88	220,88		19,44
	13	83	208,33		18,34
	14	83	208,33		18,34
	15	83	208,33		18,34
	16	82	205,83		18,12

Příloha 14 : Tab.15

DES- TIČ- KA	Č. MĚŘE- NÍ	Ø	OTÁČKY	ŘEZNÁ RYCHLOST	STŘEDNÍ HODNOTA	DOBA REZU	OPOTŘEBENÍ HŘBETU			
		OBROBKU						HORNÍ MEZ	DOLNÍ MEZ	VB
								mm	min ⁻¹	m.min ⁻¹
KLAS. I	1	62,32	160	31,32	28,09	5,00	151,4	74,8	76,6	
	2	62,32	"	31,32		3,28	114,0	36,1	77,9	
	3	58,86	"	29,59		6,00	93,5	14,1	79,4	
	4	58,62	"	29,46		2,85	91,2	7,3	83,9	
	5	55,20	"	27,75		7,92	84,5	1,3	83,2	
	6	55,39	"	27,82		7,67	88,3	0,1	88,2	
	7	51,86	"	26,07		7,73	101,7	12,8	88,9	
	8	50,46	"	25,36		7,82	91,1	0,3	90,8	
	9	46,52	200	29,23		6,08	92,3	3,5	88,8	
	10	46,22	"	29,04		6,28	126,1	35,1	91,0	
	11	42,06	"	26,42		6,67	105,6	9,9	95,7	
	12	41,84	"	26,28		5,65	93,8	1,9	91,9	
	13	38,00	250	29,84		4,33	121,5	26,6	94,9	
	14	38,24	"	30,03		1,42	lavinovitý otěr			
Σ t= 78,70 min						Σ v _k .t=2210 m				
KLAS. II	1	88,14	125	34,61	34,49	3,00	72,5	67,2	5,3	
	2	88,08	"	34,58		3,27	87,1	81,8	5,3	
	3	87,70	"	34,44		3,00	95,6	85,4	9,0	
	4	87,54	"	34,37		3,00	99,5	88,1	11,8	
	5	87,48	"	34,35		0,60	lavinovitý otěr			
Σ t=12,87 min						Σ v _k .t=443,95 m				
KLAS. III	1	95,88	125	37,65	37,65	3,00	86,7	82,2	4,5	
	2	95,88	"	37,65		2,67	lavinovitý otěr			
Σ t=5,67 min						Σ v _k .t=213,47 m				

Příloha 13 : Tab.14

Příloha 13 : Tab.14									
DES- TIČ- KA	Č. MĚŘE- NÍ	φ OBROB- KU	OTÁČKY	ŘEZNÁ RYCHLOST	STŘEDNÍ HODNOTA	DOBA ŘEZU	OPOTŘEBENÍ HŘBETU		
							HORNÍ MEZ	DOLNÍ MEZ	VB
		mm	min ⁻¹	m.min ⁻¹	m.min ⁻¹	min	μm	μm	μm
PM II	1	95,88	100	30,12	29,77	3,00	33,3	26,1	7,2
	2	95,98	"	30,15		3,00	58,7	46,2	12,5
	3	95,92	"	30,13		3,00	69,8	57,8	12,0
	4	95,96	"	30,15		3,00	96,0	83,1	12,9
	5	96,00	"	30,16		4,00	64,5	52,2	12,3
	6	91,86	"	28,85		3,32	84,0	68,7	15,3
	7	92,08	"	28,92		3,00	35,8	19,8	16,0
	8	92,16	"	28,95		3,00	67,6	52,8	14,8
	9	91,88	"	28,86		3,00	73,1	57,4	15,7
	10	91,82	"	28,85		3,00	96,2	80,3	14,9
	11	91,68	"	28,80		3,00	108,4	93,5	14,9
	12	91,56	"	28,76		4,00	111,7	95,1	16,6
	13	91,28	"	28,68		2,60	29,9	13,2	16,7
	14	87,92	125	34,52		3,00	46,1	29,7	16,4
	15	87,92	"	34,52		0,70	lavinovitý otěr		
Σ t=44,62 min					Σ v _k .t=1328,54 m				
PM III	1	95,90	125	37,66	37,66	0,50	lavinovitý otěr		
Σ t=0,50 min					Σ v _k .t=18,83 m				
PM I KAL.	1	98,38	80	24,72	25,93	31,47	99,6	75,4	24,2
	2	93,62	"	23,53		31,38	118,2	97,7	20,5
	3	89,58	100	28,14		24,90	29,9	12,3	37,6
	4	85,88	"	27,80		24,88	55,1	32,7	22,4
	5	81,94	"			24,93	98,4	69,1	36,3
	6	77,12	"	24,23		24,83	126,4	92,3	34,1
	7	72,88	125	28,61		19,15	68,7	34,3	34,4
	8	68,58	"	26,93		6,59	lavinovitý otěr		
Σ t=188,13 min					Σ v _k .t=4877,34 m				

Příloha 12: Tab. 14

Příloha 12: Tab. 14									
DES- TIČ- KA	Č. MĚŘE- NÍ	φ OBROB- KU	OTÁČKY	ŘEZNÁ RYCHLOST	STŘEDNÍ HODNOTA	DOBA ŘEZU	OPOTŘEBENÍ HŘBETU		
							HORNÍ MEZ	DOLNÍ MEZ	VB
		mm	min ⁻¹	m.min ⁻¹	m.min ⁻¹	min	μm	μm	μm
PM I	1	91,48	90	25,86	26,60	8,00	27,2	7,5	19,7
	2	91,48	"	25,86		12,00	58,8	37,3	21,5
	3	87,32	"	24,69		6,00	58,7	38,6	21,1
	4	87,24	100	27,41		15,00	58,8	39,9	18,9
	5	83,34	"	26,18		9,00	44,6	24,4	20,2
	6	83,15	"	26,12		9,00	62,2	41,2	21,0
	7	79,01	"	24,82		9,00	86,8	61,4	25,4
	8	79,02	"	24,82		9,00	104,2	83,9	20,3
	9	74,85	125	29,39		14,00	72,4	53,5	18,9
	10	70,95	"	27,86		14,00	86,8	66,4	20,4
	11	65,90	"	25,88		14,00	111,2	90,3	20,9
	12	62,69	"	24,62		14,00	45,4	20,3	25,1
	13	57,25	160	28,78		11,37	83,2	62,6	20,6
	14	54,15	"	27,22		12,40	92,5	66,7	25,8
	15	50,21	"	25,23		11,37	63,2	36,2	27,0
	16	46,76	200	29,38		9,00	78,2	55,4	22,8
	17	43,11	"	27,08		9,00	89,7	64,4	25,3
	18	38,99	"	24,50		9,00	36,0	11,8	24,2
	19	87,46	100	27,48		3,30	102,2	75,1	27,1
	20	83,75	"	26,31		12,00	91,1	64,6	26,5
	21	83,11	"	26,11		13,00	76,7	43,5	33,2
	22	79,14	"	24,86		12,00	100,8	78,3	23,1
	23	78,37	"	24,62		12,78	135,9	91,9	44,0
	24	75,06	125	29,48		18,33	124,8	84,4	40,4
	25	70,50	"	27,69		19,01	57,1	16,4	40,7
	26	66,83	"	26,24		18,25	112,6	73,5	39,1
	27	63,07	"	24,77		9,00	94,5	53,1	41,4
	28	59,00	160	29,66		3,00	lavnovitý otěr		
Σ t=315,81 min						Σ v _λ .t=1328,54 m.			

Příloha 11: Tab. 11

ŘADA	Č MĚŘE- NÍ		PM RO			KLASICKÁ RO		
			MIKRO - TVRDOST	HV	s	MIKRO- TVRDOST	HV	s
		mm	HV 0,2/10			HV 0,2/10		
I	11	0,22	881	996	74	830	887	49
II			998			881		
III			1065			937		
IV			1030			908		
V			1065			830		
VI			937			937		
I	12	0,24	1065	967	83	908	852	94
II			1100			855		
III			937			908		
IV			1030			966		
V			881			740		
VI			966			740		
I	13	0,26	830	925	67	881	882	85
II			855			908		
III			998			998		
IV			966			908		
V			966			740		
VI			937			855		
I	14	0,28	1030	950	71	830	878	51
II			908			908		
III			998			908		
IV			966			937		
V			966			881		
VI			830			806		
I	15	0,30	998	982	88	855	881	83
II			937			1030		
III			998			908		
IV			1140			806		
V			908			806		
VI			908			881		

Příloha 7: Tab.9

ŘADA	Č. MĚŘE- NÍ	SOUŘAD- NICE X	SOUŘAD- NICE Y	ÚHLOPŘÍČKA			MIKRO- TVRDOST
				DOLNÍ MEZ	HORNÍ MEZ	ROZDÍL	
				dílky	dílky	dílky	/HV 0,2/10/
V.	1	0,02	8,00	433	376	57	1179
	2	0,04	8,05	425	371	54	1312
	3	0,06	8,10	425	372	53	1361
	4	0,08	8,15	428	367	61	1030
	5	0,10	8,20	431	367	64	937
	6	0,12	8,25	423	354	69	806
	7	0,14	8,30	431	367	64	937
	8	0,16	8,35	426	359	67	855
	9	0,18	8,40	421	354	67	855
	10	0,20	8,45	426	360	66	881
	11	0,22	8,50	423	355	68	830
	12	0,24	8,55	430	358	72	740
	13	0,26	8,60	420	348	72	740
	14	0,28	8,65	427	361	66	881
	15	0,30	8,70	428	359	69	806
VI.	1	0,02	10,00	407	353	54	1312
	2	0,04	10,05	414	358	56	1225
	3	0,06	10,10	415	356	57	1179
	4	0,08	10,15	414	351	63	966
	5	0,10	10,20	416	349	67	855
	6	0,12	10,25	417	351	66	881
	7	0,14	10,30	413	349	64	937
	8	0,16	10,35	415	349	66	881
	9	0,18	10,40	415	348	67	855
	10	0,20	10,45	418	350	68	830
	11	0,22	10,50	416	352	64	937
	12	0,24	10,55	420	348	72	740
	13	0,26	10,60	418	351	67	855
	14	0,28	10,65	409	340	69	806
	15	0,30	10,70	413	347	66	881

Příloha 6 : Tab.9

ŘADA	Č. MĚŘE- NÍ	SOUŘAD- NICE X	SOUŘAD- NICE Y	ÚHLOPŘÍČKA			MIKRO- TVRDOTA
				DOLNÍ MEZ	HORNÍ MEZ	ROZ- DÍL	
				dílky	dílky	dílky	
		/mm/	/mm/				/HV 0,2/10/
III.	1	0,02	4,00	449	400	49	1591
	2	0,04	4,05	455	406	49	1591
	3	0,06	4,10	452	398	54	1312
	4	0,08	4,15	450	392	58	1140
	5	0,10	4,20	453	395	58	1140
	6	0,12	4,25	457	391	66	881
	7	0,14	4,30	446	380	66	881
	8	0,16	4,35	447	385	62	998
	9	0,18	4,40	452	386	66	881
	10	0,20	4,45	458	394	64	937
	11	0,22	4,50	457	393	64	937
	12	0,24	4,55	463	398	65	908
	13	0,26	4,60	458	396	62	998
	14	0,28	4,65	465	400	65	908
	15	0,30	4,70	464	399	65	908
IV.	1	0,02	6,00	429	377	52	1415
	2	0,04	6,05	428	375	53	1361
	3	0,06	6,10	440	386	54	1312
	4	0,08	6,15	433	373	60	1065
	5	0,10	6,20	443	382	61	1030
	6	0,12	6,25	437	377	60	1065
	7	0,14	6,30	439	376	63	966
	8	0,16	6,35	442	381	61	1030
	9	0,18	6,40	442	379	63	966
	10	0,20	6,45	442	370	72	740
	11	0,22	6,50	435	370	65	908
	12	0,24	6,55	433	370	63	966
	13	0,26	6,60	437	372	65	908
	14	0,28	6,65	437	373	64	937
	15	0,30	6,70	443	374	69	806

Příloha 5: Tab.9

ŘADA	Č. MĚŘE- NÍ	SOUŘAD- NICE X	SOUŘAD- NICE Y	ÚHLOPŘÍČKA			MIKRO- TVRDOTA
				HORNÍ MEZ	DOLNÍ MEZ	ROZDÍL	
		/mm/	/mm/	dílky	dílky	dílky	/HV 0,2/10/
I.	1	0,02	0,00	408	349	59	1100
	2	0,04	0,05	419	368	51	1469
	3	0,06	0,10	425	365	60	1065
	4	0,08	0,15	414	356	58	1140
	5	0,10	0,20	421	358	63	966
	6	0,12	0,25	426	362	64	937
	7	0,14	0,30	419	355	64	937
	8	0,16	0,35	417	352	65	908
	9	0,18	0,40	415	349	66	881
	10	0,20	0,45	416	351	65	908
	11	0,22	0,50	413	345	68	830
	12	0,24	0,55	419	354	65	908
	13	0,26	0,60	417	351	66	881
	14	0,28	0,65	419	351	68	830
	15	0,30	0,70	413	346	67	855
II.	1	0,02	2,00	418	370	48	1657
	2	0,04	2,05	410	356	54	1312
	3	0,06	2,10	415	365	50	1528
	4	0,08	2,15	415	357	58	1140
	5	0,10	2,20	419	358	61	1030
	6	0,12	2,25	418	358	60	1065
	7	0,14	2,30	418	349	69	806
	8	0,16	2,35	419	353	66	881
	9	0,18	2,40	415	350	65	908
	10	0,20	2,45	414	350	64	937
	11	0,22	2,50	424	358	66	881
	12	0,24	2,55	413	346	67	855
	13	0,26	2,60	422	357	65	908
	14	0,28	2,65	419	354	65	908
	15	0,30	2,70	426	365	61	1030

Příloha 4 : Tab.8

ŘADA	Č. MĚŘE- NÍ	SOUŘAD- NICE X	SOUŘAD- NICE Y	ÚHLOPŘÍČKA			MIKRO- TVRDOST
				HORNÍ MEZ	DOLNÍ MEZ	ROZDÍL	
		/mm/	/mm/	dílky	dílky	dílky	/HV 0,2/10/
V.	1	0,02	8,00	428	379	49	1591
	2	0,04	8,05	405	355	50	1528
	3	0,06	8,10	408	357	51	1469
	4	0,08	8,15	411	354	57	1179
	5	0,10	8,20	409	351	58	1140
	6	0,12	8,25	385	322	63	966
	7	0,14	8,30	408	346	62	998
	8	0,16	8,35	409	349	60	1065
	9	0,18	8,40	408	348	60	1065
	10	0,20	8,45	410	346	64	937
	11	0,22	8,50	406	346	60	1065
	12	0,24	8,55	409	343	66	881
	13	0,26	8,60	401	338	63	966
	14	0,28	8,65	405	342	63	966
	15	0,30	8,70	408	343	65	908
VI.	1	0,02	10,00	403	353	50	1528
	2	0,04	10,05	398	347	51	1469
	3	0,06	10,10	401	349	52	1415
	4	0,08	10,15	407	350	57	1178
	5	0,10	10,20	404	345	59	1100
	6	0,12	10,25	408	346	62	998
	7	0,14	10,30	409	343	66	881
	8	0,16	10,35	408	345	63	966
	9	0,18	10,40	412	347	65	908
	10	0,20	10,45	409	344	65	908
	11	0,22	10,50	406	342	64	937
	12	0,24	10,55	407	344	63	966
	13	0,26	10,60	408	344	64	937
	14	0,28	10,65	407	339	68	830
	15	0,30	10,70	404	339	65	908

Příloha 3: Tab.8

ŘADA	Č. MĚŘE- NÍ	SOUŘAD- NICE X	SOUŘAD NICE Y	ÚHLOPŘÍČKA			MIKRO- TVRDOST
				HORNÍ MEZ	DOLNÍ MEZ	ROZDÍL	
				dílky	dílky	dílky	
		/mm/	/mm/				/HV 0,2/10/
III.	1	0,02	4,00	427	377	50	1528
	2	0,04	4,05	427	377	50	1528
	3	0,06	4,10	442	386	56	1225
	4	0,08	4,15	438	378	60	1065
	5	0,10	4,20	437	375	62	998
	6	0,12	4,25	431	367	64	937
	7	0,14	4,30	435	373	62	998
	8	0,16	4,35	438	377	61	1030
	9	0,18	4,40	437	371	66	881
	10	0,20	4,45	438	374	64	937
	11	0,22	4,50	441	381	60	1065
	12	0,24	4,55	439	375	64	937
	13	0,26	4,60	440	378	62	998
	14	0,28	4,65	438	376	62	998
	15	0,30	4,70	438	376	62	998
IV.	1	0,02	6,00	439	384	55	1275
	2	0,04	6,05	434	383	51	1528
	3	0,06	6,10	446	386	60	1065
	4	0,08	6,15	444	385	59	1100
	5	0,10	6,20	438	375	63	966
	6	0,12	6,25	435	372	63	966
	7	0,14	6,30	432	372	60	1065
	8	0,16	6,35	440	378	62	998
	9	0,18	6,40	437	376	61	1030
	10	0,20	6,45	440	377	63	966
	11	0,22	6,50	438	377	61	1030
	12	0,24	6,55	443	382	61	1030
	13	0,26	6,60	440	377	63	966
	14	0,28	6,65	434	371	63	966
	15	0,30	6,70	436	378	58	1140