

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra materiálu

Školní rok: 1991/1992

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Michaela P O K O R N Á
obor strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Využití iontové nitridace na zápustky pro
výrobu tvarovek

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s výrobou tvarovek VTK v ZVÚ Hradec Králové
2. Seznamte se s iontovou nitridací a jejím použitím na povrchovou úpravu zápustek.
3. Navrhněte vhodný technologický postup a proveďte zkoušku iontové nitridace zápustky pro výrobu tvarovek.
4. Navrhněte vhodnou metodu kontroly iontové nitridace na zápustkách a proveďte vyhodnocení výsledků provedené zkoušky.
5. Stanovte celkové závěry.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Osřední knihovna
STUDENTSKÁ 6
461 17 LIBEREC

KMT/MI

V 228/92S

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

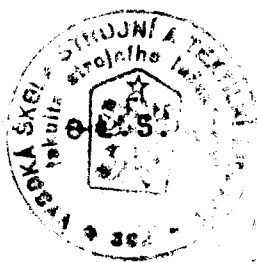
Podle vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Karel Daďourek, CSc

Konzultant: Ing. Václav Kubíček

Zadání diplomové práce: 1.10.1991

Termín odevzdání diplomové práce: 29.5.1992



Doc. Ing. Karel Daďourek, CSc
Vedoucí katedry

Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc
Děkan

V Liberci

dne 6.11. 19 91

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

23 - 07 - 8

Obor strojírenská technologie

Zaměření:

~~STROJÍRENSKÁ~~ METALURGIE (MI)

VYUŽITÍ IONTOVÉ NITRIDACE NA ZÁPUSTKY PRO VÝROBU TVAROVEK

Katedra materiálu

KMT - 4

MICHAELA P O K O R N Á

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Karel Daďourek, CSc.

VŠST Liberec

Konzultant : Ing. Václav Kubíček, VŠST Liberec

Rudolf Gottstein, ZVÚ Hradec Králové

Rozsah práce a příloh :

Počet stran : 47

Počet tabulek : 4

Počet obrázků : 19

Počet příloh : 1

Počet výkresů : 4

29. května 1992

Prohlášení:

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

Michaela Pokorná

V Liberci dne 29. května 1992

P O D Ě K O V Á N Í

Chtěla bych poděkovat p. R. Gottsteinovi ze s. p. ZVU
Hradec Králové, Ing. V. Kubíčkoví a Doc. Ing. K. Daďourkovi
za jejich cenné rady a připomínky, které mi pomohly při vyp-
racování této práce.

A N O T A C E

Předložená práce se zabývá povrchovým zpracováním nástroje, volbou vhodné technologie a jejích parametrů. Jde o nástroj, který slouží pro výrobu tvarovek vysokotlakou kapalinou, což je nová technologie výroby těchto potrubních dílů.

Navržená povrchová vrstva musí mít dostatečnou tvrdost a hloubku, aby vydržela vysoké tlaky, které během tváření působí.

Zvolila jsem jako povrchové zpracování iontovou nitridaci z hlediska dosažení potřebné tvrdosti a zlepšení třecích vlastností.

Tato práce uvádí výsledky, jakých bylo dosaženo při použití mnou navržených dvou technologií, které by měly optimalizovat původní návrh.

Cílem je návrh optimálních parametrů iontové nitridace z hlediska kvality a dosažení přiměřené životnosti nástroje.

O B S A H

	str.
1. Úvod	3
2. Výroba tvarovek v ZVU	3
2.1 Postup výroby	3
2.1.1 Popis tvářecího centra	4
2.1.2 Užití tvářecího centra	4
2.1.3 Odmašťování	5
2.1.4 Kontrola	6
2.1.5 Značení tvarovky	6
2.2 Zvýšení spolehlivosti výroby na CYT 630	6
2.2.1 Optimalizace mazacího systému	7
2.2.2 Optimalizace kvality povrchu	7
2.2.3 Ověření jakosti materiálu a tepelné zpracování	8
2.3 Nástroje pro výrobu tvarovek	9
2.3.1 Možnosti povrchového zpracování	9
2.3.2 Volba povrchového zpracování nástroje	10
2.3.3 Porovnání různých způsobu nitridace	11
3. Podstata a princip IN	12
3.1.1 Vedení el. proudu v plynech	12
3.1.2 Využití doutnavého výboje v praxi	13
3.1.3 Teorie vzniku IN vrstev	14
3.2 Vlastnosti IN vrstev a součástí	16
3.3 Zařízení pro IN	18
3.4 Metalografie IN vrstev	19
3.4.1 Fázové složení IN vrstev	22
3.4.2 Tvrdost IN vrstev	24
3.4.3 Hloubka IN vrstev	25
3.5 Výběr materiálu	26
3.5.1 Vhodnost oceli 15340 k IN	27

4.	Experimentální část	29
4.1	Úvod	29
4.2	Výchozí stav	29
4.3	Parametry navržené IN	31
4.4	Metalografické hodnocení IN vrstev	32
4.5	Měření povrchové tvrdosti a mikrotvrdosti	36
4.6	Měření tloušťky vrstvy	38
4.7	Metody kontroly IN na zápustkách	42
4.8	Zhodnocení	43
5.	Závěr	44
	Příloha č. 1	46
	Příloha č. 2	47
	Použitá literatura	

1. ÚVOD

V rámci centrálně plánovaného hospodářství se měl podnik ZVU Hradec Králové stát dodavatelem potřebného množství a sortimentu ocelových tvarovek, aby výrobci potrubí nebyli nuceni si zajišťovat výrobu potrubních dílů podle vlastních možností. Stěžejní operace při výrobě tvarovky je řešena na principu přetváření polotovarů v nástroji tlakovou kapalinou. Jedná se o tváření za studena.

2. VÝROBA TVAROVEK V S. P. ZVU HRADEC KRÁLOVÉ

Výchozím polotovarem pro výrobu tvarovek jsou ocelové hladké bezešvé trubky dle ČSN 425715, případně ocelové trubky s menšími rozměrovými tolerancemi dle ČSN 425716.

2.1 Postup výroby

- 1.1 Skladování trubek v lodi 001 haly tvarovek po přejímce VTK
- 1.2 Nařezání trubek na pile PKA 13 a odjehlení a zarovnání čel trubek na dvoustranném jednoúčelovém stroji z TOS Kuřim
- 1.3 Otryskání trubkových polotovarů na vnějším i vnitřním povrchu
- 1.4 Tváření na tvářecím centru CYT 630 vysokotlakou kapalinou za studena
- 1.5.1 Odmašťování výlisků, včetně následné neutralizace odpadních vod
- 1.5.2 Čištění
- 1.5.3 Lisování kalů
- 1.6 Odříznutí dna výlisku na pile PKA 13
- 1.7 Normalizační žíhání výlisků
- 1.8 Otryskání výlisků
- 1.9 Opracování úkosů pro svar na třístranném jednoúčelovém stroji JÚS z TOS Kuřim
- 1.10 Kontrola
- 1.11 Značení tvarovek
- 1.12 Povrchová úprava máčením
- 1.13 Skladování tvarovek

2.1.1 Popis tvářecího centra

Základní částí tvářecího centra je speciální hydraulický lis a jeho hydraulický pohon. Čerpadlové agregáty a nádrže pohonu jsou umístěny v odděleném prostoru pod podlahou, bloky ventilových rozvodů a akumulátor jsou umístěny nad úrovní podlahy ve skříních, které navazují bezprostředně na lis.

Elektronický řídicí systém celého tvářecího centra je proveden kompaktně včetně začlenění řídicích systémů prostředků pracoviště operační manipulace. Elektrorozvaděč je propojen rámem na podlaze s ovládacím pultem a společně s ochranným štítem je tak vytvořeno hlavní ovládací stanoviště obsluhy. Pro usnadnění obsluhy celého tvářecího centra při různých činnostech jsou účelně vytvořena další ovládací místa. Manipulaci s materiálem na vstupní straně lisu zajišťuje průmyslový robot PR 32 E, který odebírá polotovary z palety a zakládá je do tvářecího nástroje, umístěného v pracovním prostoru lisu. Tento robot též odebírá dopravní přepážky z palety polotovarů a ukládá je do palety přepážek. Na výstupní straně lisu je umístěn druhý průmyslový robot PR 32 E, který odebírá výlisky z nástroje, provádí vylití tvářecí kapaliny do vany před lisem a odložení výlisků na odbavovací dopravník. Výměna nástrojů je u tvářecího centra prováděna mechanizovaně ze strany vyjímače. Manipulační prostor před i za lisem je z bezpečnostních důvodů ohraničen zábranami. Prostor pod lisem, ve kterém jsou umístěny hydraulické pohony, je vybaven zvukovou izolací pro zabezpečení maximální hladiny hluku v hale.

2.1.2 Užití tvářecího centra

Tvářecí centrum CYT 630 bylo vyvinuto v ŽĐAS Žďár nad Sázavou speciálně k automatizované výrobě výlisků tvarovek technologií tvářením za studena v elastickém prostředí. Automatizovaný provoz technologického procesu zajišťuje následující tok materiálu:

- vyjmutí polotovaru z gravitační palety
- odložení polotovaru do nástroje průmyslovým robotem PR 32E
- tváření materiálu
- vyjmutí výlisku z nástroje průmyslovým robotem PR 32E

- vylití tvářecí kapaliny z výlisku a odkapání
- uložení případného zmetku do palety

Konkrétní tvary výlisku jsou dány řešením nástroje a funkčními možnostmi lisu, které jsou charakterizovány maximální možností výroby výlisku typu "kříž". Typickým představitelem těchto výlisků je potrubní tvarovka "T".

Nástroj tvoří horní uzavírací část, spodní část s vanou pro tvářecí kapalinu, dva axiální tvářecí trny a brzdící trn. Výchozí stav nástroje před vložením polotovaru je s horní uzavírací částí v horní poloze a vana spodní části nástroje je naplněna tvářecí kapalinou. Po vložení polotovaru následuje sevření horní části nástroje a tváření axiálními tvářecími trny. V průběhu tvářecího procesu je řízena velikost tlaku tvářecí kapaliny uvnitř polotovaru a brzdící síla brzdícího trnu.

Po ukončení tváření jsou přesunuty axiální tvářecí trny do polohy rozevření a horní část nástroje do horní polohy. Výlisek je vysunut do odebírací polohy brzdícím trnem, který má funkci vyhazovače.

Nová technologie výroby tvarovek tvářením v elastickém prostředí za studena je značným přínosem pro uživatele z ekonomického hlediska. Oproti průměrným hodnotám současného způsobu výroby kováním, svařováním, odléváním a obráběním zvyšuje využití materiálu o 78 %, snižuje energetickou náročnost výroby o 85 % a pracnost o 95 %.

2.1.3 Odmašťování

Chemické odmašťování se provádí ve dvou vanách o obsahu 2 295 l v přípravku RADALOD (výrobce Bal Uhříněves). Vany jsou vybaveny elektrickým ohřevem s regulací teploty. Pracovní teplota je 70 - 90°C, doba ponoru 10 - 15 minut. Po odmaštění následuje dvoustupňový oplach vodou ponorem 2 x 1 minuta a odkapání na závěsném stojanu. Tvarovky projdou linkou na speciálních plochých paletách, velké díly na závěsných háčích.

2.1.4 Kontrola

Kontrola výchozího materiálu je prováděna po vyložení trubek z vagónu. Kontrola je vizuelní a současně jsou odebírány vzorky materiálu pro zkoušky, které se provádí v laboratoři v oddělení metalurgie. Po opracování úkosů pro svar je prováděna rozměrová kontrola.

Způsob provádění defektoskopické kontroly:

Po navezení tvarovek na pracoviště se vybere vždy 5 ks ze skupiny, kdy skupina je max. 200 ks. Defektoskopické zkoušky budou probíhat tak, že tvarovky z feromagnetických materiálů budou zkoušeny magnetickou metodou polévací, elektromagnetickým zkoušecím přístrojem PU. Zkoušeným předmětem protéká magnetický silový tok, jehož průtok kladou vady materiálu odpor. Nad místem vad se magnetické silokřivky zhušťují, vystupují na povrch materiálu a vytváří tak magnetické pólové efekty. Zkoušený předmět se polévá metalizovaným olejem pomocí čerpadla. Jemné železné částičky vytvoří okamžitě nános zobrazení vady. Tvarovky z neferomagnetických materiálů budou zkoušeny kapilární zkouškou, metodou barevné indikace na pracovním stole.

2.1.5 Značení tvarovky

Štítky, kterými jsou značeny jednotlivé kusy tvarovek, se razí na lisu LEN 10C a jsou připevňovány pomocí jednoúčelové svařovací soupravy z VUZ Bratislava, na které se štítky bodovými svary přivažují na tvarovku. Toto značení je používáno pro tuzemské odběratele.

Pro exportní zakázky jsou tvarovky značeny ražením po obvodu tvarovky na speciálním stroji.

2.2 Zvýšení spolehlivosti výroby na CYT 630

Od ledna 1988 byla zahájena sériová výroba tvarovek dočasně na 1 směnu. Na dořešení a odstranění nedostatků byl vypracován úkol, který měl tyto 4 části dle okruhů problematiky:

1. Řešení zlepšení stavu při mazání tvarovek v nástroji během lisování

2. Optimalizace kvality povrchu vzhledem ke zlepšení mazání polotovarů při lisování
3. Ověření jakosti materiálu a tepelného zpracování hlavně výchozích polotovarů
4. Návrh optimalizace tvářecích parametrů

Zmetkovitost při lisování tvarovek se pohybovala u zakázek v období 1/88 - 12/89 v rozmezí 15 - 40 % dle jednotlivých dodaných taveb výchozího materiálu trubek.

2.2.1 Optimalizace mazacího systému včetně návrhu vhodného maziva

Jako jeden z hlavních požadavků z hlediska snížení zmetkovitosti při lisování na tvářecím centru CYT 630 bylo zlepšení mazacích poměrů mezi tvářeným polotovarem a nástrojem.

V původním provedení byl u centra realizován pouze jeden olejový okruh. Tento okruh byl společný jak pro vlastní pohon lisu, tak i pro tváření tvarovek a byl zaplněn hydraulickým olejem OTH 4 (max. 9 000 l). Pro vlastní pohon lisu bylo uvedené řešení vyhovující, ale olej OTH 4 však nevyhovoval z důvodu nedostatečného mazání polotovarů v průběhu vlastního tváření. Jednotný hydraulický systém byl rozpojen a byly vytvořeny 2 samostatné a oddělené okruhy - jeden pro pohon a druhý stejně velký pro tvářecí olej. Jako tvářecí olej byl vybrán Ejektol.

Pro zlepšení mazacích vlastností oleje v době, kdy dojde k vychladnutí zásobníků oleje byly osazeny obě olejové nádrže dvěma topnými tělesy typu Elektropraga Hlinsko číslo 440990110, 220 V, o výkonu 1 250 W. Tyto tělesa udržují stálou teplotu 60°C v nádržích.

2.2.2 Optimalizace kvality povrchu

Povrch byl otryskáván na tryskači TM 150 pomocí zušlechťeného granulátu. Konstrukce tryskače nedovoluje tryskání přířezů o menších průměrech než 100 mm tak, aby byly otryskány i uvnitř, proto byl tento tryskač z výrobního programu vyřazen. Povrch trubek je nyní upravován na tlakovzdušném průběžném tryskači a vnitřní povrch na zařízení VACU-BLAST.

Po těchto dvou operacích byly trubky děleny na technologické délky.

2.2.3 Ověření jakosti materiálu a tepelné zpracování

Při rozbořech prasklých tvarovek, prováděných ve spolupráci s SVÚM Praha, bylo prokazatelně zjištěno, že materiál trubek z oceli 12022.1 tuzemské výroby se pro lisování tvarovek nehodí. Zejména pro svoji nízkou tvařitelnost a vysokou anisotropii mechanických vlastností, zejména tažnosti. Tyto negativní vlastnosti jsou způsobeny především vysokým obsahem sirníků manganu a dále zvýšenou mírou zpevnění, které je způsobeno tzv. řízeným válcováním bez následného normalizačního žíhání.

Doporučené vlastnosti materiálu tř. 11 a 12 pro výrobu výchozích trubek je snížený obsah vměstků /zejména mangansulfidů/. Trubky musí být objednány ve 3. jakostní třídě dle ČSN 42051 a měly by být fyzicky normalizačně žíhány.

U ocelí tř. 15 a austenitických ocelí tř. 17 by měla postačit jakost z normální produkce dle ČSN.

Tepelné zpracování je nutné jen když nejsou výchozí trubky ve stavu žíhaném. Z důvodu bezokujného tepelného zpracování a případně i možnosti odstranění tryskání tvarovek, byla zakoupena pec s ochrannou atmosférou AICHELIN. Jako ochranná atmosféra byla zvolena atmosféra N_2 jako kompromis mezi endoatmosférou a štěpným plynem z důvodu dostupnosti, bezpečnosti a nutnosti zpracování jak uhlíkových, tak i nerezových materiálů s obsahem uhlíku pod 0,03 %.

Tepelné zpracování vylisovaných tvarovek

- a) ocel 11369.1, 11419.1, 12021.1, 12022.1, St35.8 a St45.8
vylisované tvarovky se normalizačně žíhají v elektrické odporové peci Aichelin
režimem $910 \pm 10^\circ\text{C}/20 \text{ min}$ / ochlazování v peci v atmosféře N_2
- b) ocel 15110.5 a 15128.5
vylisované tvarovky se normalizačně žíhají a popouštějí v elektrické odporové peci Aichelin
režimem $960 - 990^\circ\text{C}/20 \text{ min}$ / ochlazení v peci v atmosféře N_2 ,
pak $680 - 720^\circ\text{C}/1 \text{ hod}$ / vzduch

Tvarovky z oceli 17248.4 a 17348.4 se zatím běžně nevyrábí. Předpokládané tepelné zpracování těchto tvarovek je: vylisované tvarovky se podrobí rozpouštěcímu žíhání v elektrické peci Aichelin v atmosféře N_2 režimem 1 040 - 1 060°C/20 min/ ochlazení ve vodní lázni.

2.3 Nástroje pro výrobu tvarovek

Součástí vyřešení a zavedení výroby tvarovek byla výroba nástrojů, v kterých jsou lisovány tvarovky. Nástroje jsou vyrobeny pro tyto rozměry DN 32, DN 50, DN 65, DN 100 a DN 125 x 125. Jsou vyráběny jako složené a vyměnitelnými spodními komorami.

Z výše uvedeného způsobu výroby tvarovek vyplývá způsob jakým je nástroj namáhán. Je snaha, aby při lisování byl stav napjatosti tříosý tlak, což je nejvýhodnější z hlediska tvárnosti. Ale přesto je potřeba zajistit na nástroji vysokou povrchovou tvrdost zároveň s houževnatostí celého nástroje, aby nedocházelo k jeho deformaci a tím k nekvalitní výrobě. Tepelné zpracování spočívá v homogenizačním a normalizačním žíhání, aby byla zabezpečena správná struktura a byly vyrovnány případné nedostatky, které mohou vzniknout při výrobě polotovarů. Dalším tepelným zpracováním je zušlechťení, které se skládá ze zakalení a následného popuštění. Tímto způsobem je nástroj připraven ke konečné operaci, která má zajistit vysokou povrchovou tvrdost. Podrobný technologický popis výroby nástroje uvádím v příloze č. 1. K zajištění dostatečné povrchové tvrdosti se nabízí několik možností tepelného zpracování, např. povrchové kalení, cementace, nitrocementace, nitridace nebo některý z novějších způsobů nanášení povlaků.

2.3.1 Možnosti povrchového zpracování nástroje

Povrchové kalení

Zvýšení tvrdosti pouze v povrchové vrstvě je dosahováno rychlým ohřevem povrchu předmětu a následujícím rychlým ochlazením. Tak vzniká v povrchové vrstvě tepelný spád, který umožňuje dosáhnout kalicí teploty jen do určité hloubky pod povrchem. Kalicí teplota musí být vzhledem k velkým rychlos-

tem ohřevu a krátké výdrži na teplotě podstatně vyšší než při ohřevu v peci.

Cementování

Cementování je sycení povrchu ocelového předmětu uhlíkem obsaženým v tuhém, kapalném nebo plynném prostředí při teplotě nad A_{C3} . Obsah a rozložení uhlíku v povrchové vrstvě závisí na použitém cementačním prostředí, na cementační teplotě, na době výdrže na této teplotě a na chemickém složení cementované oceli. Po cementaci musí následovat kalení a popuštění.

Nitridování

Nitridování je sycení povrchu ocelového předmětu dusíkem v plynném nebo kapalném prostředí při teplotě pod A_{C1} . Předmět je před nitridováním opracován a tepelně zpracován. Nitridováním se získá tenká, velmi tvrdá povrchová vrstva odolná proti otěru, která zvyšuje i odolnost součástí proti únavě a korozi. Zvýšení tvrdosti se výrazně projeví u ocelí obsahujících chrom a hliník. Optimální výchozí struktura před nitridováním je sorbit. Nitriduje se převážně plynným čpavkem. V solných lázních se nitridují především řezné nástroje. Tato technologie je ale velmi závažná z ekologického hlediska, neboť se jedná o velmi prudké jedy.

Nitrocementace

Povrchová vrstva se tvoří současnou difúzí uhlíku a dusíku v austenitu. Nitrocementace se provádí při teplotách okolo 800°C , nejčastěji při $840 - 860^{\circ}\text{C}$. Vrstvy vzniklé za těchto teplot mají vlastnosti podobné vrstvám cementovaným.

Nové způsoby povrchových úprav

Jedná se o způsoby vytváření vrstev TiN pomocí CVD a PVD metod nebo pomocí iontové implantace. Pro tento případ se nehodí, protože takto vytvořené vrstvy jsou velmi tvrdé a zároveň velmi tenké - jde spíše o povlaky.

2.3.2 Volba povrchového zpracování nástrojů

Z uvedených způsobů tepelného zpracování byla vybrána nitridace z důvodu dosažení vysoké povrchové tvrdosti při po-

měrně nízkých teplotách a z důvodu zlepšení odolnosti proti otěru. Ze zvoleného tepelného zpracování vyplývá i volba materiálu, který musí být pro nitridaci vhodný, ale též cenově dostupný pro daný účel. Podle technologických listů byla vybrána ocel 15340.

2.3.3 Porovnání různých způsobů nitridace

Nitridace lze provádět v plynu, v lázni a v plazmě. V současné době i u nás je dostupná nitridace v plazmě doutnavého výboje, tzv. iontová nitridace.

Nitridace v plynu

Provádí se při teplotě 500 - 600°C po dobu 25 - 60 hodin v peci při atmosférickém tlaku. Teplotní interval v němž je možné nitridaci provádět, je užší než při iontové nitridaci, rovněž výběr ocelí je omezenější. Difúze při iontové nitridaci je 2 - 5x rychlejší a rovněž pomocné časy jsou u iontové nitridace většinou kratší. Proto je proces iontové nitridace produktivnější a rovněž spotřeba elektrické energie je menší. Také spotřeba plynů je daleko menší, protože zařízení je vakuově těsné a pracuje při sníženém tlaku. Jakost povrchu se iontovou nitridací téměř nemění, objemové změny jsou do několika μm a deformace vznikají jen tehdy, bylo-li v současti již před nitridací vnitřní pnutí. Při nitridaci v plynu vzniká zpravidla dvoufázová vrstva nitridu γ' a ϵ . Naproti tomu iontová nitridace umožňuje provádět tzv. pro daný účel vhodné řízené procesy, při nichž je možné dosáhnout na většině ocelí pro daný účel vhodného složení povrchové vrstvy.

Nitridace v lázni

Provádí se ve vaně v tavenině uvolňující dusík ze solí např. dusičnanů nebo kyanidů (což jsou velmi prudké jedy a proto se postupně od této technologie upouští). Difúze probíhá velmi drasticky, rychleji než při iontové nitridaci. Povrchová vrstva bývá nekvalitní, ve vnější části pórovitá a je třeba ji proto často obrousit.

v tom, že se povrchové vrstvy oceli nebo jiných materiálů nasytí dalšími látkami. To má za následek kromě změny chemického složení povrchových vrstev i změnu struktury a mechanických vlastností. Výhodou těchto difúzních pochodů je dobrá homogenita vzniklých vrstev. Stále větší využití ve strojírenství nacházejí metody, které kromě vysoké tvrdosti mají i dobrou houževnatost a plasticitu.

Od šedesátých let se začalo intenzívně pracovat na využití elektrických polí. Při iontové nitridaci se vytváří elektrické pole mezi povrchem zpracovávané součásti jako jed-

3. Podstata a princip iontové nitridace

Iontová nitridace využívá k sycení povrchu součásti dusíkem anomální doutnavý výboj. Difúzní pochody spočívají v tom, že se povrchové vrstvy oceli nebo jiných materiálů nasytí dalšími látkami. To má za následek kromě změny chemického složení povrchových vrstev i změnu struktury a mechanických vlastností. Výhodou těchto difúzních pochodů je dobrá homogenita vzniklých vrstev. Stále větší využití ve strojírenství nacházejí metody, které kromě vysoké tvrdosti mají i dobrou houževnatost a plasticitu.

Od šedesátých let se začalo intenzívně pracovat na využití elektrických polí. Při iontové nitridaci se vytváří elektrické pole mezi povrchem zpracovávané součásti jako jednou elektrodou (nejčastěji katodou) a druhou, pomocnou elektrodou, kterou tvoří stěna recipientu. Prostředí mezi elektrodami tvoří v tomto případě silně zředěné směsi plynů. Po zapnutí stejnosměrného proudu s dostatečně vysokým napětím dojde k ionizaci částic zředěného plynu, kladné aktivní ionty jsou urychlovány směrem ke katodě, kolem které se vytvoří svítící doutnavý výboj. Vedle chemicko tepelného zpracování v pevném, kapalném nebo plynném prostředí vzniká další metoda, při níž aktivní prostředí tvoří ionizovaný plyn - plazma.

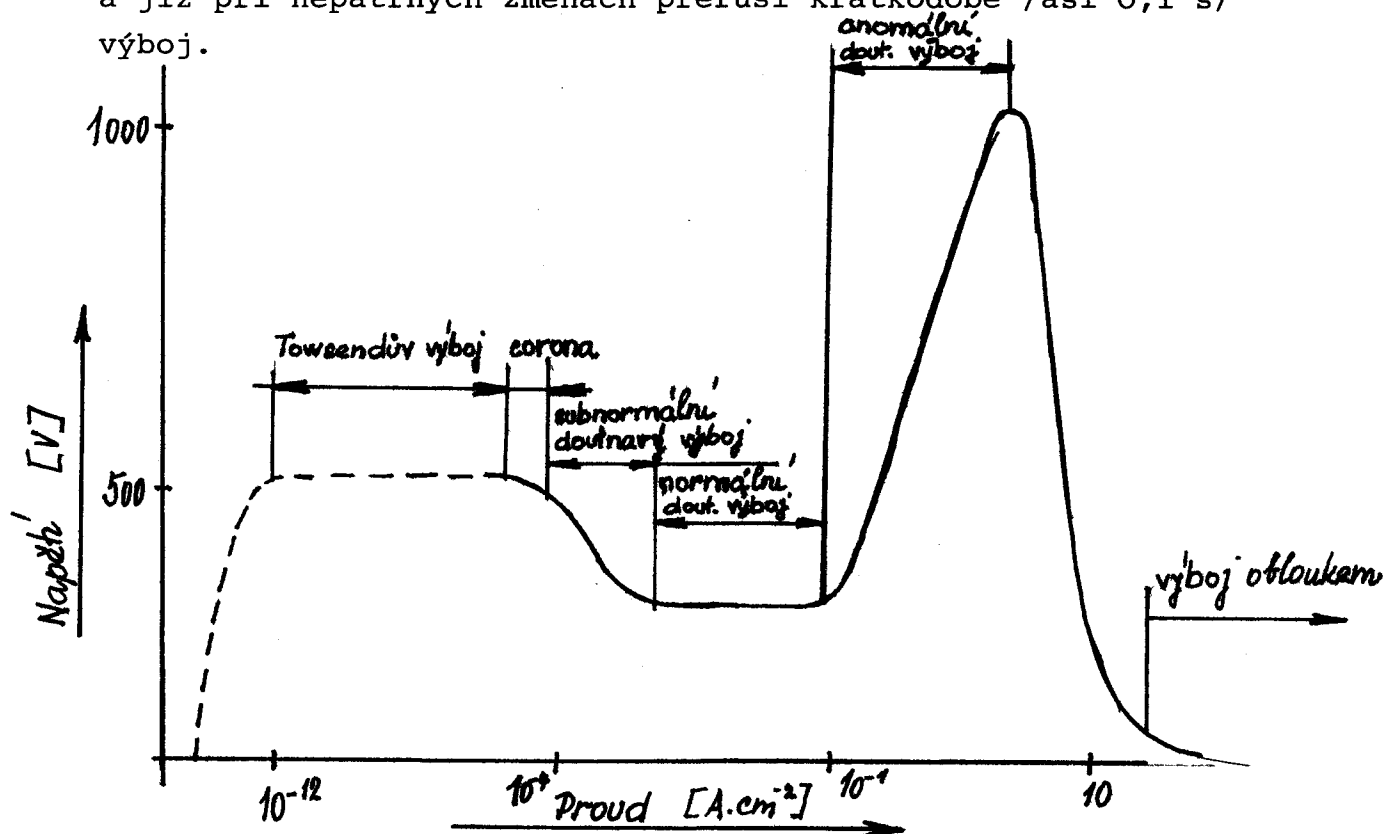
3.1.1 Vedení elektrického proudu v plynech

Snížíme-li mezi dvěma elektrodami /katodou a anodou/, připojenými k dostatečně vysokému napětí, tlak plynu, jsou molekuly plynu v elektrickém poli mezi elektrodami štěpeny a atomy ionizovány. Ionizací rozumíme odtržení /vyražení/ jednoho nebo více elektronů z obalu atomu, takže se částice plynu rozdělí na kladné ionty a volné záporné elektrony. V důsledku nárazů migrujících molekul a pohybu nosičů nábojů v elektrickém poli dochází neustále k dalšímu štěpení a ionizaci /nárazová ionizace plynu/. Vznikají stále nové nosiče nábojů, přičemž kladné ionty jsou urychlovány ke katodě a elektrony se pohybují směrem k anodě. Plyn se stane vodivým a obvodem začne proudit elektrický proud. Průchod proudu plynem se nazývá výboj. Výboje ve zředěných plynech

jsou zpravidla doprovázeny doutnavým světlem.

3.1.2 Využití doutnavého výboje v technické praxi

Na obr. 1 je schématicky znázorněna změna povahy výboje ve zředěném neónu v závislosti na přivedeném napětí a proudové hustotě. Iontová nitridace však vyžaduje vysokou proudovou hustotu a napětí 250 až 1 000 V. Je proto uskutečnitelná pouze v podmínkách výboje, který odpovídá anomální oblasti. V této oblasti je plošný doutnavý výboj bez dalších opatření nestabilní a má tendenci přejít do výboje lokálním světelným obloukem. Vznik oblouku je však u iontové nitridace nepřijatelný. Vyřešení plošné stability silnoprůdného doutnavého výboje bylo základním předpokladem pro jeho využití v technické praxi. Tímto problémem se zabýval a také ho vyřešil německý fyzik dr. Berghaus. Novými vynálezy v elektronice byly vytvořeny další předpoklady pro zlepšení ovládání a řízení plošných výbojů. Moderní elektronické rychlospínací systémy, které tisíckrát za sekundu čtou změny proudu a napětí $di:dt$ a $dU:dt$ a již při nepatrných změnách přeruší krátkodobě /asi 0,1 s/ výboj.

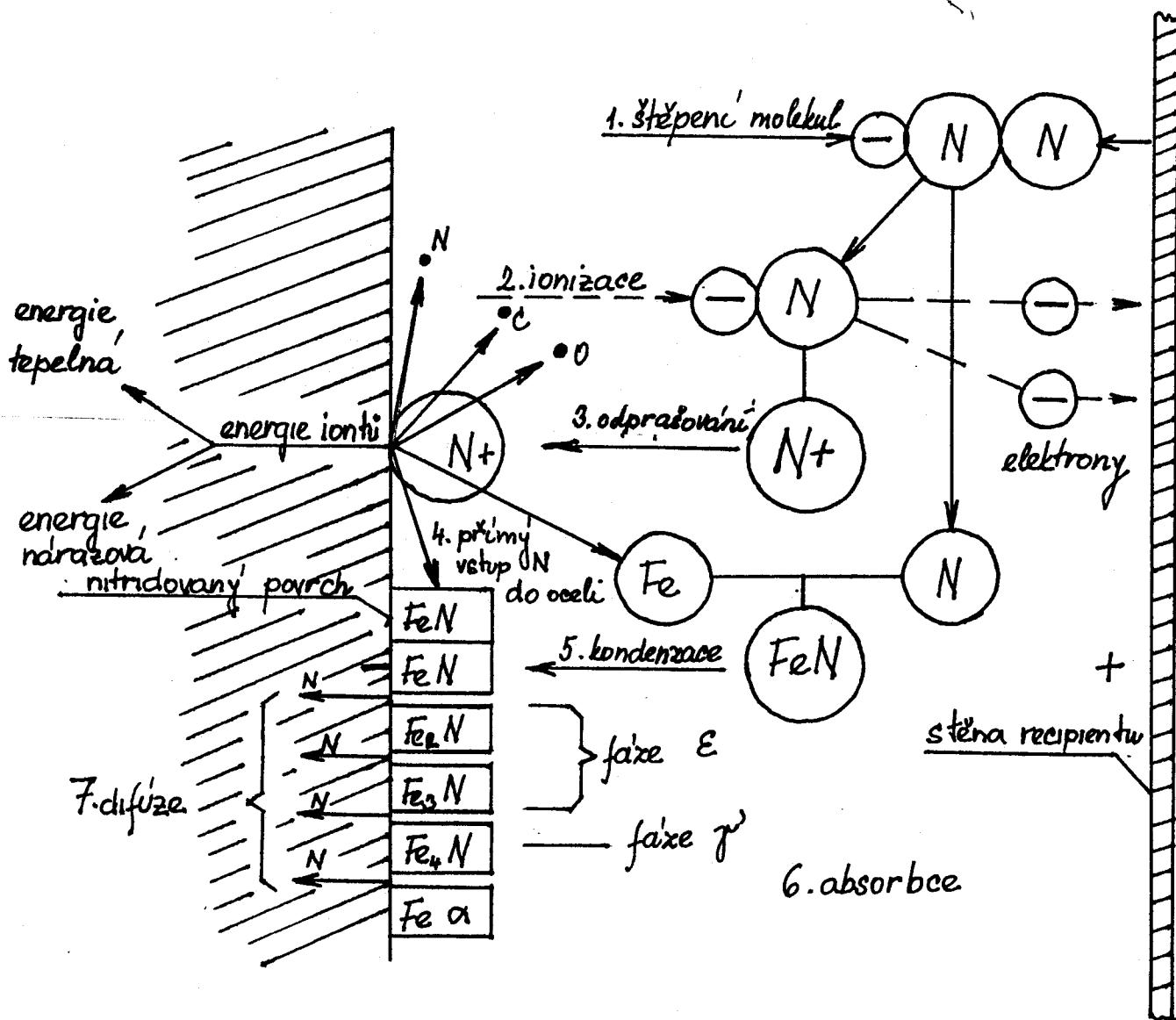


obr. č. 1. V - A charakteristika doutnavého výboje

3.1.3 Teorie vzniku iontově nitridovaných vrstev

Iontová nitridace je stejně jako jiné postupy nitridování podmíněna přítomností atomárního dusíku na povrchu kovu. Atomární dusík je schopný přes povrchovou a absorpční vrstvičku nitridů pronikat za zvýšené teploty do mřížky základního kovu a difundovat dále do oceli. Při iontové nitridaci jsou zpracováváné součásti uloženy izolovaně ve vakuové nádobě /recipientu/ a zapojeny jako katoda. Recipient je zapojen jako anoda a udržuje se v něm snížený tlak zředěné směsi plynů potřebných pro proces nitridace. Nejčastěji je to směs $N_2 + H_2$. Při připojení stejnosměrného proudu o napětí 400 až 1 000 V vznikne mezi stěnou recipientu (anodou) a povrchem součásti (kathodou) elektrické pole. Napětí, proud a tlak musí být nastaveny tak, aby odpovídaly oblasti anomálního výboje. Dochází k silné migraci molekul zředěného plynu a v důsledku nárazů pak k jejich štěpení a ionizaci. Kladné ionty jsou urychlovány směrem ke katodě - tj. na povrch nitridovaných součástí. V bezprostřední blízkosti povrchu dochází k prudkému nárůstu kinetické energie. Anomální výboj má proto plošný charakter a jeho svítící korona kopíruje povrch součástí. Na povrchu součásti se odehrává asi toto: kladné ionty neustále bombardují povrch součástí. Při dopadu se část jejich kinetické energie přemění v teplo a součásti jsou ohřívány. Kromě ohřevu vyražejí dopadající ionty z povrchu oceli atomy železa a dalších prvků. Tento jev se nazývá katodové odprašování. Dopad iontů na povrch součásti, jeho reakce s odprašenými atomy vede ke vzniku dusíkem bohatých nitridů železa a k jejich kondenzaci se vytváří povrchová absorpční vrstvička s vysokou koncentrací dusíku. Volením vhodných parametrů - napětí, plošná hustota proudu, tlak a složení atmosféry - lze v podstatné míře ovládat tvorbu povrchové vrstvičky nitridů. Odprašování oxidů má za následek dokonalou depasivaci povrchu oceli a tím i zlepšení podmínek nitridace, zvláště u vysoce legovaných ocelí. Základ vzniku iontonitridačních vrstev je nutno hledat ve vratných dějích: odprašování, vznik bohatých nitridů železa, kondenzace a absorpce dusíku uvolněného z povrchové vrstvy. V další části je proces iontové nitridace srovnatelný s klasickou nitridací v plynu. Povrchová vrstvička bo-

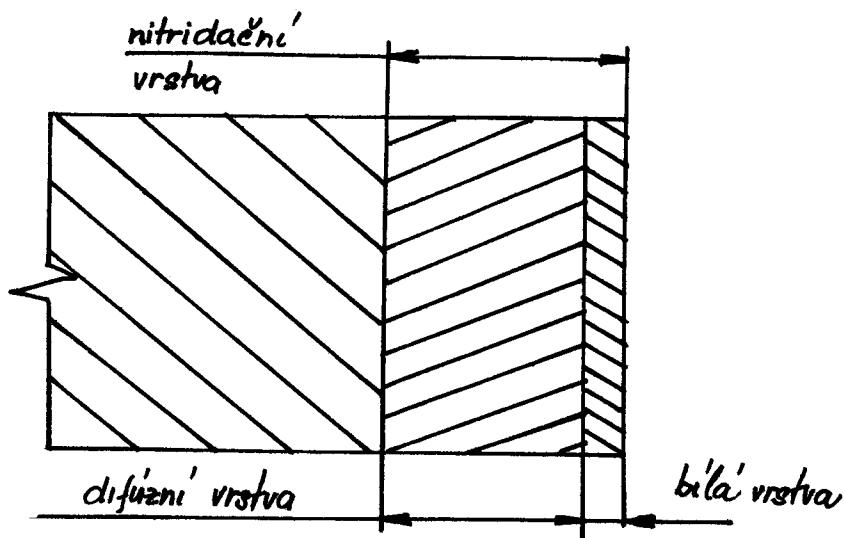
hatých nitridů se rozpadá na nižší složky podle schématu v dolní části obr. 2. Přitom část uvolněného dusíku proniká /difunduje/ dále do povrchu oceli a vytváří vazbou na nitridované prvky difúzní podpovrchovou nitridační vrstvu. Za rozhodující je považována přítomnost vodíku v nitridační atmosféře. Hlavní podíl nitridačního efektu je pak přisuzován vzniku ionizovaných molekul čpavku, které vstupují do povrchové vrstvičky nitridů.



obr. č. 2 Schéma dějů při iontové nitridaci

3.2 Vlastnosti iontově nitridových vrstev a součástí

Nitridační vrstva se skládá ze dvou vrstev /obr. č. 3/. Na povrchu je jen několik mikrometrů tlustá, tzv. "bílá vrstva", která je tvořena intermetalickou sloučeninou železa a dusíku /na metalograf. výbrusu - bílá barva/. Pod touto vrstvou je difúzní vrstva, která sahá do hloubky několika desetin milimetru - po naleptání nitalem se jeví jako tmavší.



obr. č. 3 Složení nitridační vrstvy

Bílá vrstva je tvořena disperzním nitridem železa. Její strukturu lze při iontové nitridaci ovlivňovat složením nitridační atmosféry

- při použití plynu, který neobsahuje žádný uhlík, se vytvoří rentgenem zjiitelná monofázová bílá vrstvička nitridu o tloušťce max. 8 μm . Fáze γ' je intermetalická sloučenina nitridu železa Fe_4N s mřížkou krychlovou, plošně středěnou /9/. Růst vrstvičky se po 6 hodinách zastavuje, je prosta pórů a je rovnoměrná. Má vysokou tvrdost a výbornou odolnost proti opotřebení a dobré antikorozi vlastnosti. U materiálů legovaných Al tvrdost této vrstvičky nitridů dosahuje až 1 500 HV /10/.
- přidáním přibližně 0,5 % C do nitridační atmosféry vzniká další monofázová bílá vrstva ϵ o tloušťce dle podmínek nitridace až do 30 μm . Tuto fázi ϵ tvoří intermetalická sloučenina nitridu železa Fe_{2-3}N se šesterečnou mřížkou. Tloušťka této vrstvičky se i po 50 hodinách nitridace dále

zvětšuje. Vrstvička je bez pórů a má výbornou odolnost proti zadíráání a výborné antikorozní vlastností /9/.

- další možnost je dosažení čistě difúzní vrstvy s úplným potlačením bílé vrstvičky. Této možnosti se využívá u součástí, u nichž je potřebné zvýšit mez únavy.

Monofázové složení bílé vrstvy a homogenní struktura nitridů mají zvláštní význam pro mechanické vlastnosti. Vícefázové bílé vrstvy vznikají např. při běžné nitridaci v plynu a jsou tvořeny heterogenní směsí fází γ' a ϵ . V takové vrstvě o různých mřížkových strukturách existují v přechodech těchto struktur vysoká vnitřní pnutí, která mohou vést ke vzniku mikroskopických trhlin na povrchu součásti /11/.

Po iontové nitridaci získá povrchová vrstva řadu velmi cenných vlastností:

- odolnost proti opotřebení, protože má vysokou tvrdost
- odolnost proti teplu, což je zvlášť významné u součástí pracujících a namáhaných třením při vyšších teplotách. Zatím co tvrdost cementové nebo kalené oceli klesá již po ohřevu na teplotu přes 200°C tvrdost nitridované vrstvy nepoklesne ani po ohřevu na 500 - 600°C
- větší odolnost proti korozi v mnoha prostředích, v normální atmosféře, v tlakové i mořské vodě a v přehřáté páře. Nitridované součásti mají v tomto prostředí přibližně stejnou odolnost jako součásti niklované.
- nitridováním se zvyšuje mez únavy výrobku. Nitridovaná vrstva je ve stavu vnitřních tlakových pnutí, které působí proti pnutím tahovým, jimiž vznikají únavové lomy.

Dále je známo, že nitridováním se odstraní citlivost součástí k vrubům, které jsou ohnisky únavových lomů.

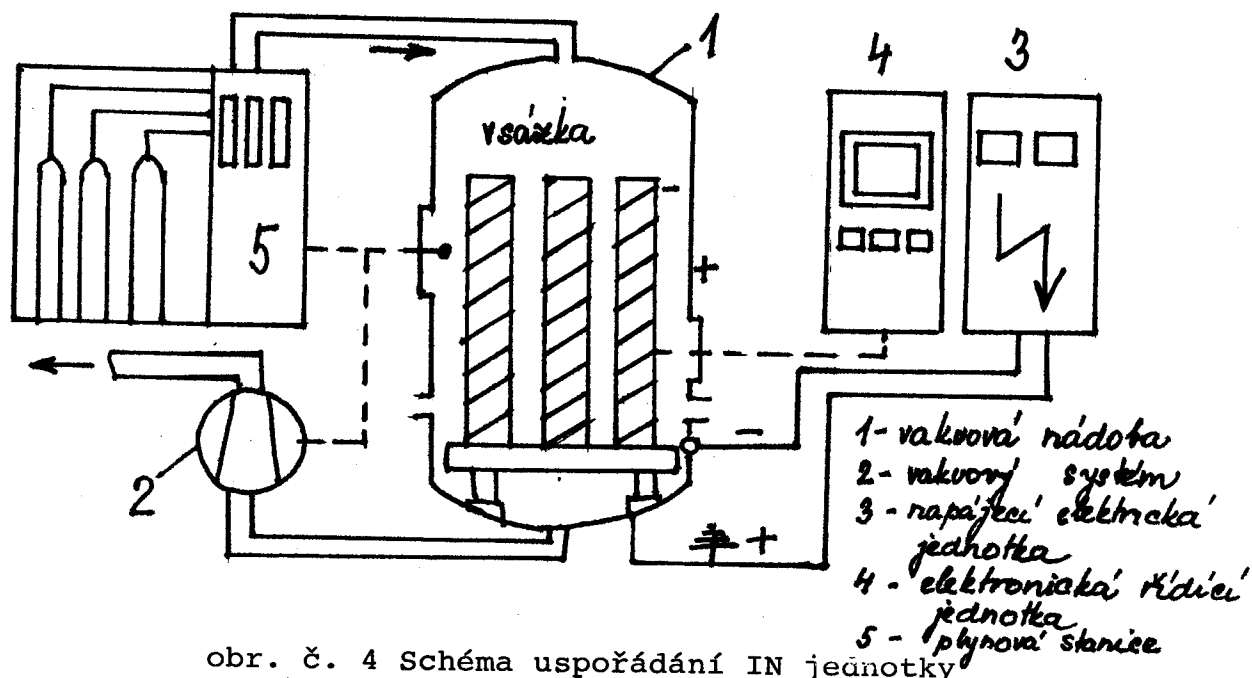
Nitridování je možné dělit podle účelu použití na tři skupiny

- nitridování pro zvýšení tvrdosti
- nitridování ocelí za účelem zvýšení meze únavy
- nitridování jako ochrana proti korozi

3.3 Zařízení pro iontovou nitridaci

Uspořádání iontonitridační jednotky

Základní části a jejich vzájemné spojení znázorňuje obrázek č. 4.



obr. č. 4 Schéma uspořádání IN jednotky

Vakuová nádoba - recipient - vakuová komora. Pro vznik elektrického pole musí být uvnitř recipientu dvě elektrody - katoda a anoda. Katodu tvoří zpracovávané součásti, které jsou uloženy izolovaně, zatímco anodou je samostatný recipient, respektive jeho vnitřní stěny.

Vakuový systém je propojen s vnitřním prostorem recipientu. Jeho úkolem je odčerpání vzduchu z prostoru do takového vakua, aby zbylé stopy vzduchové atmosféry a v nich obsažené výpary neovlivňovaly další průběh procesu. Tomu odpovídá počáteční tlak 5 až 10 Pa. Jakmile začne být dávkována po zapnutí elektrického proudu do tohoto počátečního vakua nitridační atmosféra, zajišťuje vakuový systém udržování předepsaného tlaku. Při iontové nitridaci běžných součástí se hodnota tlaku pohybuje v intervalu 100 až 800 Pa.

Elektrická napájecí jednotka slouží k dodávce stejnosměrného proudu o napětí zpravidla 250 až 1 000 V pro zapálení a udržování doutnavého výboje. Její výkon je dán maxim. plochou povrchu katody /vsázky včetně přípravků/.

U známých zařízení se měrný výkon pohybuje v rozsahu 0,3 až 1 W.cm⁻² povrchu katody při plošné hustotě proudu 8 až 25 A.m⁻². Hlavní části napájecí elektrické jednotky jsou: transformátor, usměrňovač, regulace proudu a napětí a zařízení pro plošnou stabilizaci výboje.

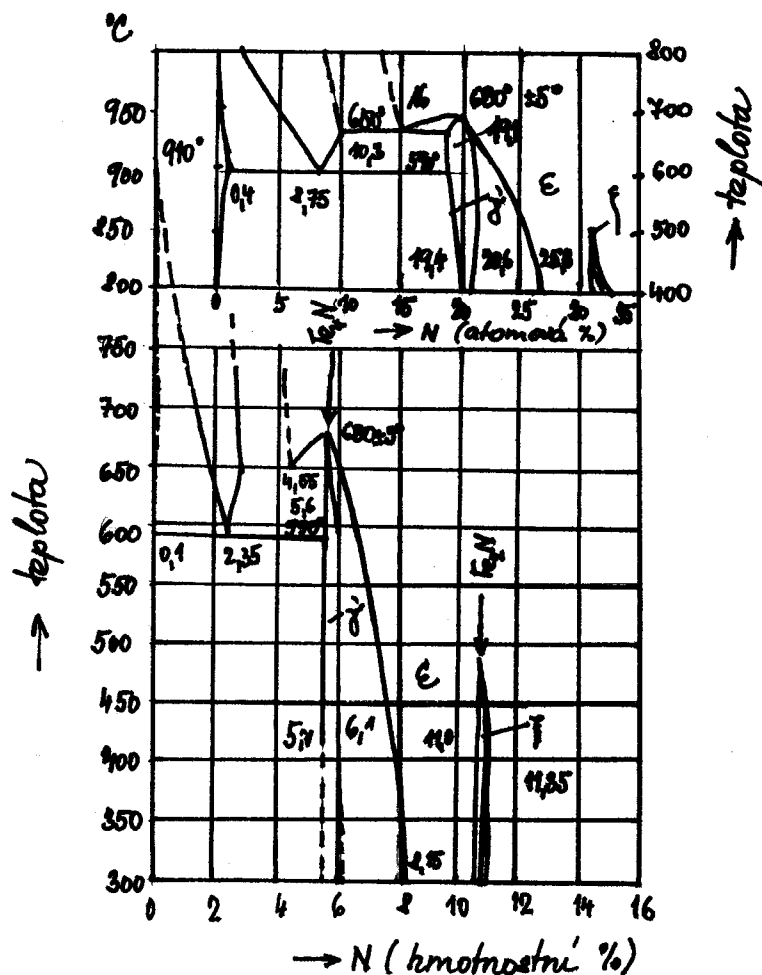
Elektronická řídící a kontrolní jednotka zabezpečuje průběh procesu podle nastavených parametrů a pomocí čidel chrání zařízení i nitridované součásti, aby nedošlo k jejich poškození při poruše, překročení teploty, při přerušení dodávky plynu nebo chladicí vody apod. Jednotka bývá vybavena vícebodovým zapisovačem, který registruje nejdůležitější parametry během nitridačního cyklu na záznamový pásek.

Plynová stanice slouží k přípravě nitridační atmosféry a dodává další plyny, např. vodík /argón/ pro depasivaci nebo dusík pro proplachování. Většinou je uspořádána jako samostatná část nitridačního souboru. Jsou-li na pracovišti dvě nebo i více nitridačních nádob, je ekonomicky i prostorově výhodné, aby byly zásobovány z jedné společné plynové stanice. Plynové stanice se skládají z těchto hlavních částí: tlakové láhve s plyny, redukční ventily, zařízení na štěpení čpavku, čištění a sušení plynů, směšovací zařízení a úprava výstupního tlaku.

3.4 Metalografie iontově nitridovaných vrstev

Nitridační vrstva se skládá ze dvou částí, jak je znázorněno na obr. č. 3 (viz výše). Přímo na povrchu je vrstva jen několik mikrometrů tlustá, tzv. bílá vrstva, která je tvořena intermetalickou sloučeninou železa a dusíku. Poněvadž na metalografickém výbrusu se tato vrstva jeví bílá, byl ji přiřazen tento název. V některé literatuře bývá též popisována jako lem nitridů. Pod touto vrstvou je difúzní vrstva, která sahá do hloubky několika desetin milimetru. Difúzní vrstva se jeví po naleptání nitemem jako tmavší.

Rovnovážný diagram železo - dusík podle V. G. Paranjpeho je na obr. č. 5, je v základě podobný diagramu soustavy železo - uhlík.



obr. č. 5 Diagram Fe-N

Uhlík i dusík rozšiřují oblast kubické, plošně centrické modifikace - austenitu. Zvyšují teplotu překrystalizační přeměny vysokoteplotní kubické, prostorově centrické modifikace - feritu δ a snižují teplotu překrystalizační přeměny nízkoteplotní kubické, prostorově centrické modifikace Fe - α . Relativní intenzita vlivu dusíku na snížení překrystalizační teploty Fe - α je menší než uhlíku.

Účinek obou prvků na rozšíření oblasti austenitu souvisí s tím, že jejich volná entalpie a aktivita v tuhém roztoku v austenitu je při odpovídající koncentraci podstatně menší než v tuhém roztoku ve feritu. S jejich rozpustností je tomu proto obráceně, je podstatně vyšší v austenitu než ve feritu. Rozpustnost uhlíku ve feritu dosahuje při teplotě A₁ soustavy železo - uhlík /723°C/ 0,02 %. V austenitu se při teplotě A₁ rozpustí 0,80 % uhlíku. Rozpustnost dusíku ve feritu i v austenitu je větší. Při teplotě A₁ soustavy

Fe - N /590°C/ se ve feritu rozpouští 0,10 % dusíku a v austenitu 2,35 % dusíku.

Další podobnost je v tom, že v obou soustavách dochází k eutektoidní reakci za vzniku lamelárního eutektoidu. Lamelární eutektoid v soustavě Fe-N - braunit je tvořen feritem a nitridem Fe_4N .

Kromě podobnosti však v obou soustavách existují i značné rozdíly, způsobené různými vlastnostmi sloučenin železa s uhlíkem a železa s dusíkem. Mezi železem a uhlíkem se vytváří jen jedna relativně stabilní sloučenina, cementit. Atomy železa v cementitu jsou uspořádány v ortorombickou mřížku o parametrech $a = 5,0787$; $b = 6,7297$; $c = 4,5144$. Atomy uhlíku jsou lokalizovány interstiticky, a to v největších mezerách mřížky železa /2/.

Cementit je stálý až do teploty tavení. U nadeutektoidních slitin krystaluje primárně z taveniny a v celém rozsahu teploty solidu určuje tvar diagramu soustavy železo - uhlík.

Reakcí mezi železem a dusíkem vzniká několik sloučenin - nitridů železa. Ve srovnání s cementitem se nitridy železa vyznačují mnohem vyšší metastabilitou.

Nitridační vrstva se obecně skládá ze dvou částí:

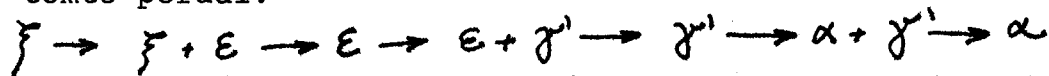
- z povrchové vrstvy nitridů obsahující fázi γ či fázi ϵ nebo směs $\epsilon + \gamma'$; tato vrstva bývá nesprávně nazývána spojovací vrstvou, lemem nitridů podle starších pramenů, nebo nejčastěji bílou vrstvou;
- z difúzní vrstvy, která leží pod bílou vrstvou; je z hlediska celkových vlastností nitridační vrstvy významnější a obsahuje fáze γ' a α .

Bílá vrstva je na výbrusu obvykle velmi výrazná a její tloušťka nebývá u běžných způsobů nitridace větší než 0,01 mm. Difúzní vrstva obsahuje dusík jednak v tuhém roztoku, jednak sloučený s železem a některými legurami. Nitridy vytvářejí síťové po hranicích zrn nebo jsou vyloučeny uvnitř zrn. Tvrdost difúzní vrstvy je nižší než tvrdost bílé vrstvy a klesá směrem k jádru. Tloušťka difúzní vrstvy je několik setin až několik desetin milimetrů.

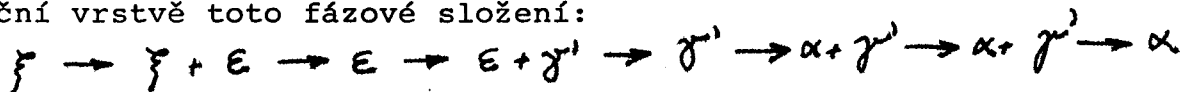
3.4.1 Fázové složení iontově nitridované vrstvy

Mikrostruktura nitridační vrstvy je s ohledem na rovnovážný diagram velmi složitá. Jednotlivé fáze jsou od sebe poměrně ostře odděleny. Vrstva je nehomogenní, fáze Fe_mN i nitridy legur mají v různých hloubkách vrstvy různou koncentraci dusíku.

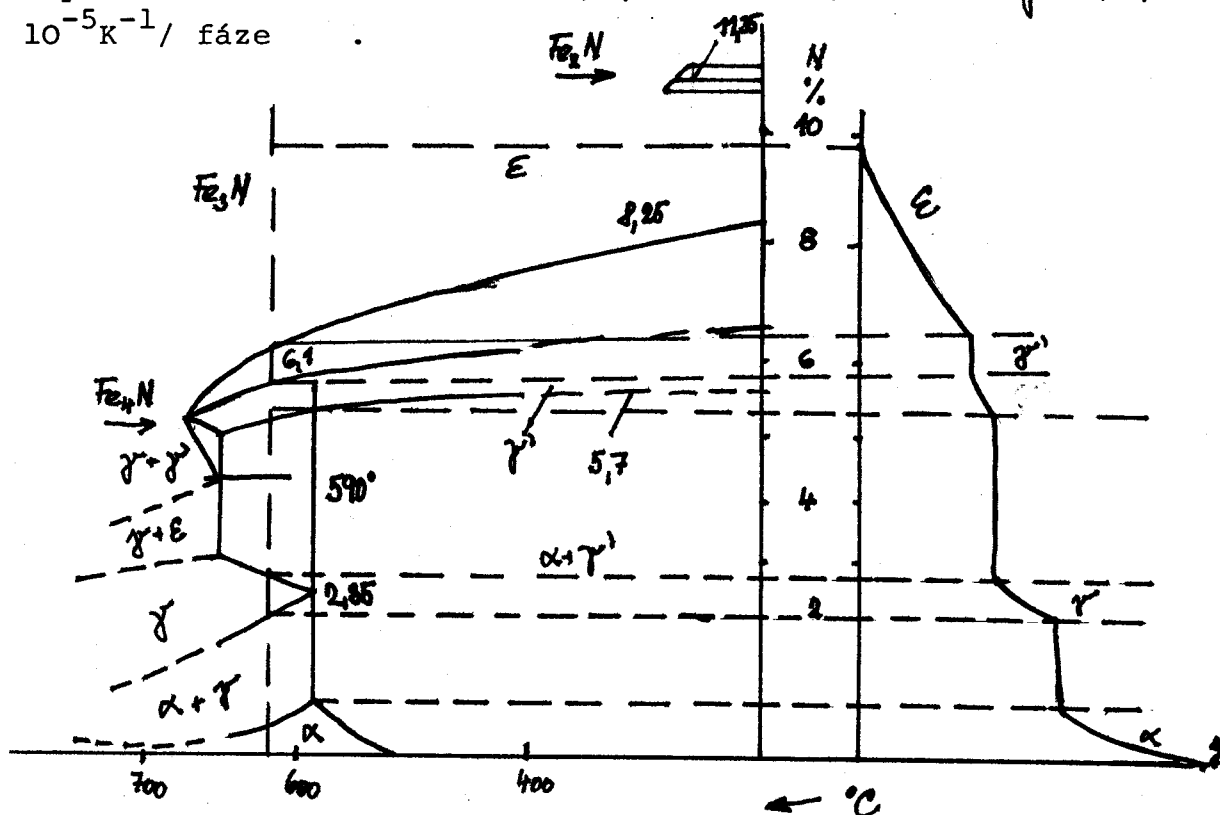
Pořadí fází ve vrstvě od kraje směrem k jádru je různé při podeutektoidním či nadeutektoidním sycení a mění se také v závislosti na rychlosti ochlazování. Při pomalém ochlazování z teploty sycení dusíkem jsou fáze uloženy směrem od povrchu v tomto pořadí:



Rychlým ochlazením z nadeutektoidní teploty se zachová v nitridační vrstvě toto fázové složení:

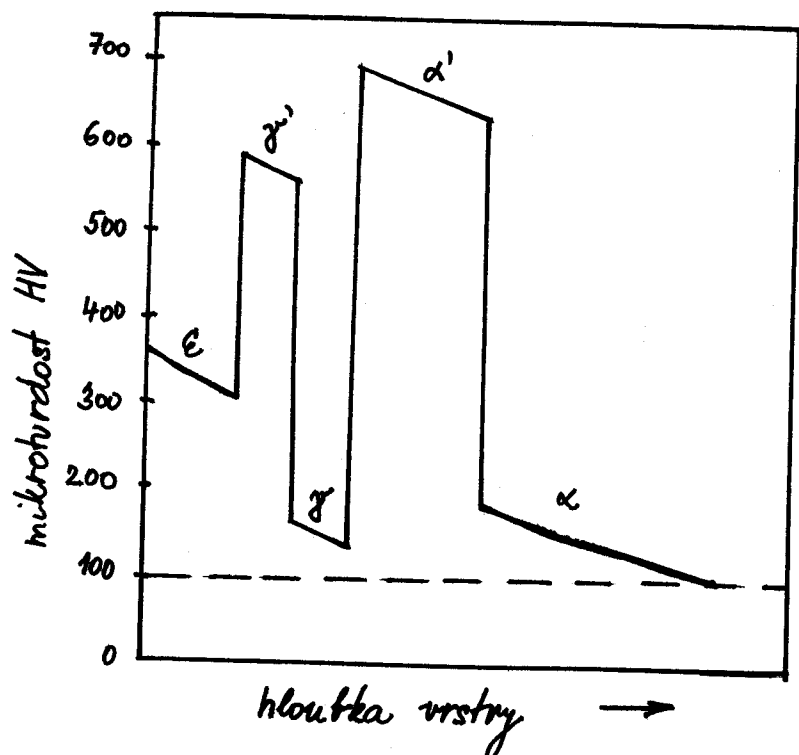


Na obr. č. 6 je uvedeno rozložení dusíku v nitridované vrstvě v návaznosti na rovnovážný diagram Fe-N. Nejmenší součinitel teplotní délkové roztažnosti $/0,79 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}/$ má fáze γ a $/1,33 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}/$ fáze ϵ .



obr. 6 Rozložení dusíku v nitridované vrstvě
v návaznosti na rovnovážný diagram Fe-N

Rychlost difuze dusíku ve fázi γ je padesátkrát nižší než u fáze α . Aktivační energie ve fázi γ je průměrně dvakrát větší než u fáze α [2]. Fáze ϵ , γ a α a produkty jejich rozpadu nemají vysokou tvrdost, obr. č. 7.



obr. 7 Tvrdost fází soustavy Fe-N

Nejnižší obsah dusíku má nitrid γ' , označovaný také Fe_4N . Atomy železa v nitridu γ' tvoří kubickou, plošně centrickou mřížku. Atomy dusíku zaujímají v této mřížce přibližně 1/4 oktaedrických interstititických poloh. Nitrid existuje v okolí teploty A_1 v rozmezí 5,3 až 5,75 % dusíku. Jeho mřížkový parametr roste s rostoucím obsahem dusíku. G. Paranjpe udává při 5,29 % dusíku $a = 3,783 \cdot 10^{-10}$ m a při 5,71 % dusíku $a = 3,793 \cdot 10^{-10}$ m [2]. Nitrid γ' je stálý pouze do teploty 670°C . Při této teplotě se přeměňuje v nitrid ϵ . Nitrid ϵ je stabilní i za teplot nižších než 670°C , avšak při vyšším obsahu dusíku. Atomy železa v něm obsahují uzlové body hexagonální mřížky, zatímco dusík zaujímá proměnlivou část interstititických poloh.

Ve srovnání s ostatními nitridy se nitrid ϵ vyznačuje velmi širokým rozmezím složení, které se značně mění s tep-

lotou. Podle G. Paranjpeho a spolupracovníků obsah N se při teplotě 670°C pohybuje v rozmezí 4,35 až 11,0 %.

Kromě nitridu ϵ existuje v soustavě železo - dusík ještě ortorombický nitrid ζ o přibližném složení Fe_2N . Nitrid ζ existuje v úzkém rozmezí 11,07 až 11,18 % dusíku. K. H. Jack udává jeho mřížkové parametry $a = 2,758 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, $b = 4,718 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ a $c = 4,416 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ /2/. Nitrid ζ je stálý v rovnováze se čpavkem v okolí 450°C. Za vyšších teplot se ve čpavkové atmosféře už při velmi malém obsahu vodíku rozkládá.

3.4.2 Tvrdost iontově nitridované vrstvy

Největší předností iontové nitridace vůči ostatním procesům je možnost změny struktury vrstvy a tím i jejích vlastností, které lze vhodně přizpůsobit charakteru namáhání součásti. Iontová nitridace se aplikuje především s cílem zvýšit povrchovou tvrdost vrstvy a tím zlepšit kluzné vlastnosti a otěrovzornost. Podstatně méně se již uplatňuje iontonitridační vrstva pro zvýšení meze únavy a korozní odolnosti.

U nelegovaných ocelí lze dosáhnout jen nižší tvrdosti difuzní vrstvy, a to do 500 HV, ale hloubka vrstvy může být i přes 1 mm. Středně a vysoce legované nitridační oceli mívají difuzní vrstvy velmi tvrdé, až 1 200 HV i vyšší, ale hloubka nepřesahuje 0,5 až 0,6 mm.

Z hlediska správné funkce iontově nitridované součásti nemůže být rozhodující pouze dosažená maximální povrchová tvrdost. Je nutné přihlížet také k hloubce vrstvy, k možnému zkřehnutí a k průběhu tvrdosti směrem do jádra, které ovlivňují praktické opotřebení i chování součásti při dynamickém zatížení, zejména dlouhodobém.

Při vzniku difuzních vrstev strojních součástí má podstatný význam stupeň zpevnění vrstvy a její křehkost.

Velké množství variací při použití technologie iontové nitridace umožňuje přihlídnout k oběma těmto požadavkům a téměř v úplné míře se přizpůsobit dosud používaným materiálům a očekávanému zatížení strojních součástí.

Vždy nepostačuje jen vysoká tvrdost na povrchu, ale důležitý je i průběh mikrotvrlosti směrem do jádra. Použitím krátké doby nitridace je dosaženo vysoké povrchové tvrdosti, ale její pokles směrem do jádra je příliš strmý. Při dlouhodobější nitridaci je tvrdost nižší, ale přechod směrem do jádra je příznivější.

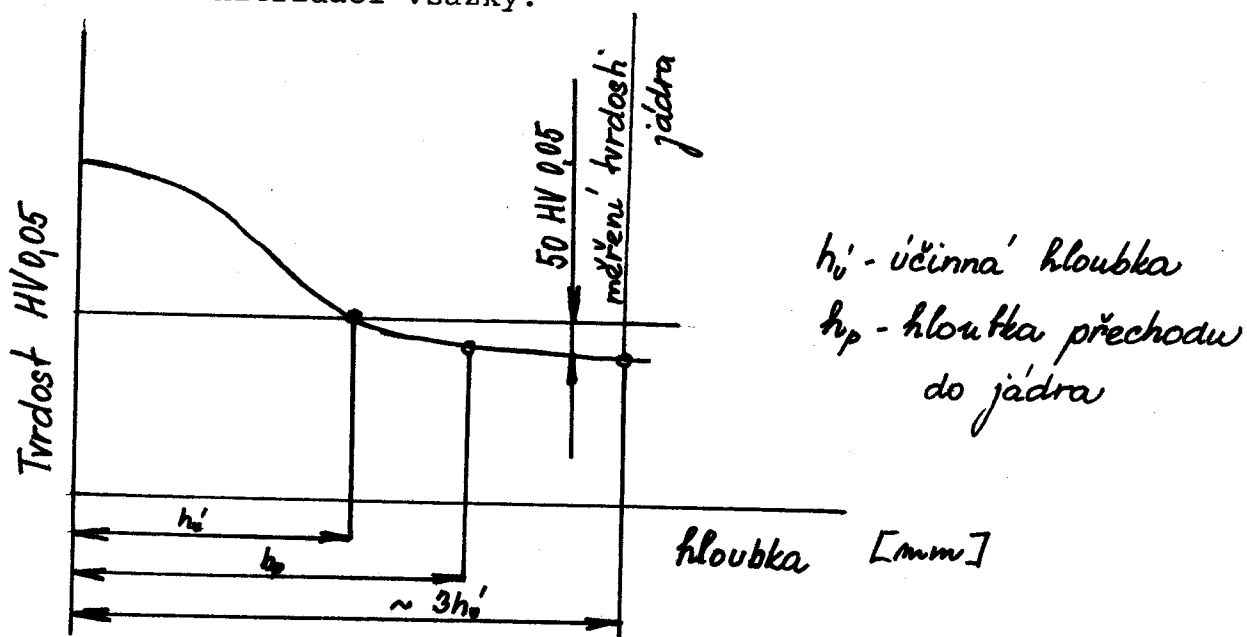
3.4.3 Hloubka iontově nitridované vrstvy

Přesnou hloubku nitridační vrstvy je možné stanovit pouze měřením průběhu mikrotvrlosti nebo tvrdosti podle uvedené normy DIN 50190. V tomto případě je hloubka vrstvy určena vzdáleností od povrchu až k ose vtisku, kde se dosáhne hodnoty tvrdosti předem stanovené. Na výkresech je zpravidla uváděna tvrdost nitridační vrstvy vztahující se k povrchu a hloubka v mm. Při hodnocení hloubky podle ČSN 42 0448-80 u takto definované vrstvy je považována za spodní hranici této hloubky daná tvrdost základního materiálu /jádra/. Tvrdost /pevnost/ jádra bývá na výkrese také uváděna jako požadavek po tepelném zpracování před vlastní nitridací.

Přechod nitridační vrstvy do jádra bývá často, zvláště u méně legovaných ocelí, velmi pozvolný. To může vést spolu s rozptylem měření mikrostvrlosti k rozporům při hodnocení hloubky nitridace až o několik desetin mm. Nehledě k tomu, že takové přechodové pásmo, lišící se od tvrdosti jádra je jen v desítkách jednotek HV, nemá již pro provozní namáhání nitridační vrstvy praktický význam.

Pro odstranění rozporů při hodnocení hloubky nitridační vrstvy lze doporučit následující postup. Za účinnou hloubku nitridační vrstvy (obr. č. 8) je považována kolmá vzdálenost od povrchu až k ose vtisku, kde je dosaženo tvrdosti vyšší o 50 jednotek mikrotvrlosti HV 0,05 nebo HV 0,3 až HV 1 než je skutečná tvrdost jádra. Za tvrdost jádra se považuje ta, která byla zjištěna jako průměrná hodnota HV 0,3 až HV 1 ze tří vtisků měřených ve vzdálenosti od povrchu rovnající se přibližně trojnásobné hloubce nitridace. Obdobně stanoví hloubku nitridační vrstvy například norma DIN 50190/74. Stanovení hloubky metalograficky je méně přesné u nízkolegova-

ných ocelí, u nichž je nitrídační vrstva méně viditelná. V nitrídační nádobě nemůže být vzorek uložen libovolně. Musí být na součásti, ke které se vztahuje a uložený tak, aby mohla být měřena jeho teplota a porovnávána s nitridovanou sledovanou plochou. Teplota vzorku musí být zaznamenána zvlášť do záznamu o nitridaci vsázky.



obr. 8 Hloubka nitridační vrstvy

V praxi se často používá kontrola hloubky nitridační vrstvy přímo na součásti odbrušováním na některé vedlejší ploše a měřením tvrdosti např. přístrojem SONODUR. Rovněž v tomto případě musí být měřené místo předem stanoveno a teplotně sledováno. Tvrdost je nejdůležitějším, ve většině případů jediným kontrolovaným ukazatelem správného výsledku iontové nitridace. Použité metody měření a přístroje musí být přizpůsobeny tenkým nitridačním vrstvám.

V praxi jsou značně rozšířené přenosné elektronické tvrdoměry SONODUR a MICRODUR firmy Krautkrämmer. Umožňující rychlé operativní měření tvrdosti drobných i největších součástí a nezanechávají na měřeném povrchu žádnou stopu.

3.5 Výběr materiálu na nástroje pro tváření

Na výrobu těchto nástrojů byly navrženy ocel 15230 a 15340, které patří do skupiny ocelí vhodných pro zušlech-

ťování. Mají střední obsah uhlíku a po kalení se popouštějí na vyšší teploty (až na teploty pod A_{C1}), aby se dosáhlo vysoké houževnatosti při zachování vhodné pevnosti.

Po určitém výběru byla zvolena ocel 15340 dle ČSN 415340 ve formě výkovků.

3.5.1 Vhodnost oceli 15340

Tavební analýza

C	0,35	-	0,42 %
Mn	0,30	-	0,60 %
Si	0,17	-	0,37 %
Cr	1,35	-	1,65 %
Mo	0,15	-	0,25 %
Al	0,17	-	1,10 %

Struktura

Při iontové nitridaci oceli jakosti 15340 vzniká na nitridovaném povrchu souvislá, převážně rovnoměrná kompaktní vrstva nitridů Fe a legujících prvků Cr, Al a Mo.

Tloušťku povrchové vrstvy můžeme ovlivnit základními technologickými parametry. Vedle menších změn tloušťky vlivem nastaveného stupně vakua v recipientu, napětí a času a složení pracovní atmosféry. Např. při procesech, kdy se nitridační teplota pohybuje v rozmezí 450 - 470°C, lze předpokládat vznik poměrně slabé kompaktní vrstvy /o průměrné tloušťce 2 - 3 μm /, případně úplnou absenci této vrstvy. Naopak při teplotách procesu na hladině 530 až 550°C při průměrných zbývajících parametrech můžeme očekávat vznik povrchové vrstvy o průměrné tloušťce 7 - 8 μm . Vliv rozdílného složení nitridační atmosféry ilustrují následující příklady: U dvou procesu vedených při shodné teplotě 550°C bylo dosaženo výrazně rozdílných tloušťek povrchové vrstvy. Při poměru $N_2 : H_2 = 30 : 1$ /1. proces/ byla zjištěna tloušťka 10 - 12 μm , zatímco u druhého procesu s poměrem $N_2 : H_2 = 1 : 20$ nepřevýšila tloušťku povrchové vrstvy o hodnotu 4 μm . Současná aplikace vyššího stupně ředění atmosféry (např. $N_2 : H_2 = 1:4; 1:6; 1:7; \text{apod.}$) a nízké

nitridační teploty /do 470°C/ měla za následek absenci povrchové vrstvy /4/.

Charakteristickou vlastností oceli 15340 podobně jako u oceli 14340 je zakotvení kompaktní vrstvy do difuzní zóny v podobě jehlic pod úhlem cca 60° vzhledem k povrchu součásti.

Difuzní zóna se projevuje převážně pouze zvýrazněním hranic zrna bainiticko-sorbitického základního materiálu, způsobeným precipitací komplexních karbonitridů.

Povrchová vrstva

Ocel 15340 má při iontové nitridaci v normální atmosféře disociovaného čpavku sklon k tvorbě směsi $\epsilon + \gamma'$ s převahou ϵ , nebo k tvorbě monofázové vrstvy ϵ . Hlavním důvodem k tomu je přítomnost Al v této oceli. Hliník tvoří s dusíkem velmi stálý nitrid AlN, krystalující v šesterečné soustavě. Elementy AlN podporují hexagonalitu mřížky $Fe_{2-3}N$ a svou stálostí udržují vyšší obsah dusíku v komplexní nitridické fázi i při snížené sytící schopnosti nitridační atmosféry. S rostoucím časem procesu se často objevuje určitý podíl fáze γ' a monofázovost vrstvy ϵ je nutné zajistit přidávkou uhlovodíku k nitridační atmosféře.

Povrchová tvrdost

Tvrdost povrchu po iontové nitridaci stoupne průměrně o 800 až 900 jednotek HV 5 oproti tvrdosti před nitridací. Houževnatost této oceli vlivem obsahu Mo zůstane i po nitridaci na dobré úrovni.

Hodnoty mikrotvrdosti povrchu dosáhnou hladiny 1 200 až 1 350 jednotek HM 50. Gradient mikrotvrdosti se vyznačuje prudkým poklesem hodnot od hloubky 0,05 mm směrem do jádra, což je způsobeno brzdícím účinkem Al pro difuzi N do hlubších partií součástí. Přesto při cca 10-ti hodinovém procesu při teplotě nitridace 500°C lze dosáhnout difuzní hloubku 0,2 mm.

Vhodnost oceli k iontové nitridaci

Ocel 15340 dosahuje při iontové nitridaci vysokého stupně zpevnění povrchu při zachování dobré úrovně houževnatosti. Tato ocel je proto vhodná k iontové nitridaci značně namáhaných dílů jako jsou ojnicí čepy, hřídele, válce, součásti energetických zařízení a podobně.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1. Úvod

Úkolem experimentální části DP bylo zhodnocení výchozí technologie IN, kterou jsme navrhla v roce 1988 v první fázi tohoto úkolu, a její porovnání s upravenými technologiemi, které jsem na základě získaných zkušeností a dostupných údajů navrhla ve druhé fázi řešení. Parametry původně navržené IN jsou obsaženy v příloze č. 1 "Technologický postup výroby nástroje".

Zadání bylo vypracováno na podzim roku 1988, kdy byl zadán úkol "Zvýšení spolehlivosti výroby na CYT 630", a zajištění požadované kvality povrchové vrstvy se mělo stát součástí tohoto úkolu. Vzhledem k organizačním změnám nebyl tento problém řešen a byla ponechána původní technologie i pro výrobu další sady nástrojů podle normy ISO 4200.

Já jsem se k tomuto problému vrátila na podzim loňského roku, když už i druhá sada nástrojů byla v provozu. Mým úkolem byla optimalizace použité technologie iontové nitridace s ohledem na požadavky konstruktéra nástroje. V podniku ZVU Hradec Králové jsem si zajistila materiál /ocel 15340/. Na tomto materiálu byla provedena iontová nitridace podle mnou navržených technologií.

4.2. Výchozí stav

Materiál 15340 byl dodán výrobcem jako kovaná tyč o $\varnothing$ 300 mm. Při přípravě vzorku jsem se snažila, aby i na vzorku bylo provedeno stejné tepelné zpracování jako při výrobě nástroje. Z odříznutého materiálu jsem nechala vykovat hranol o rozměrech 50 x 100 x 300 mm.

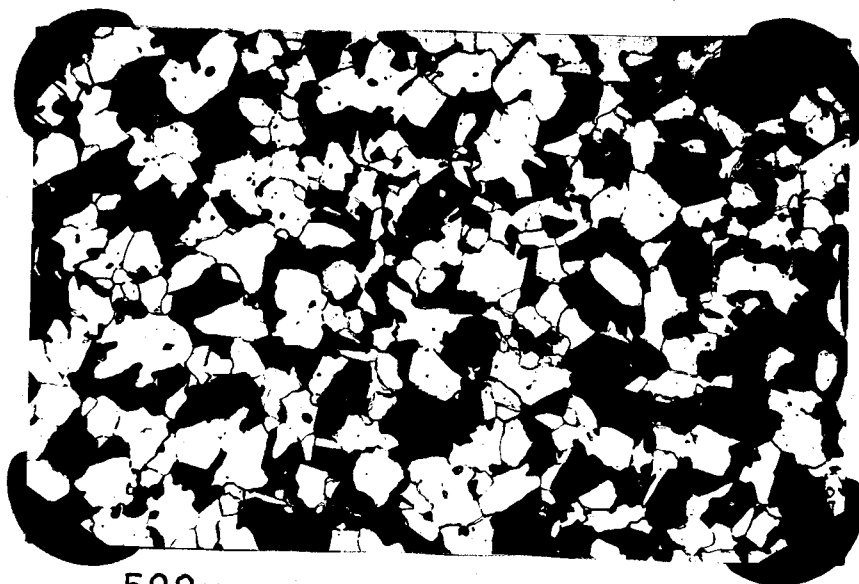
Pak následovalo žíhání na měkko režimem 700 - 740°C /4 hod/ pec. Mikrostrukturu po tomto zpracování zachycuje obr. č. 9, kde je možno vidět ferit a sbalené karbidy, mikrostruktura je značně nehomogenní.



500x

obr. č. 9

Další tepelné zpracování bylo normalizační žíhání režimem 880 - 900°C /45 min/ vzduch.
Na obr. č. 10 je vidět mikrostruktura po tomto zpracování, vyskytuje se v ní bainit, ferit a malý podíl perlitu.



500x

obr. č. 10

Konečné tepelné zpracování před iontovou nitridací je zušlechťení na 880 - 920 MPa. Tato operace se skládá z kalení 930 - 950°C /prohřátí/ teplá voda a popuštění dle tvrdosti po kalení režimem 680°C /1 hod/ voda nebo olej. Na obr. č. 11 zachycuje sorbitickou strukturu. Sorbit je orientovaný podle původních hrubších jehlic martenzitu. Hrubování při výrobě nástroje bylo u vzorku nahrazeno frézováním.



500x

obr. č. 11

4.3 Parametry iontové nitridace

Po seznámení s podstatou iontové nitridace a s vlastnostmi takto vytvořených vrstev jsem podle technologických listů navrhla dva technologické postupy.

Je výhodné měnit teplotu a čas procesu IN, neboť tyto parametry mají největší vliv na tloušťku, tvrdost a kvalitu vrstvy. Čím nižší teplota tím lze dosáhnout většího podílu fáze a při nižší teplotě též vzniklá vrstva je kompaktnější. Čas byl odvozen z grafu závislosti hloubky vrstvy na teplotě. Pro vznik vrstvy o tloušťce 0,4 mm udává dobu nitridace 20 hodin a více. V druhém návrhu jsem se snažila tuto dobu zkrátit.

Vzorek č. 1

Čas	Teplota	Tlak	Napětí	Proud	H ₂	N ₂	NH ₃
hod	°C	Pa	V	A	cm ³ .min ⁻¹		
6	520	350	560	13	175	60	
8	510	320	540	11	162	59	
24	510	550	440	25			600

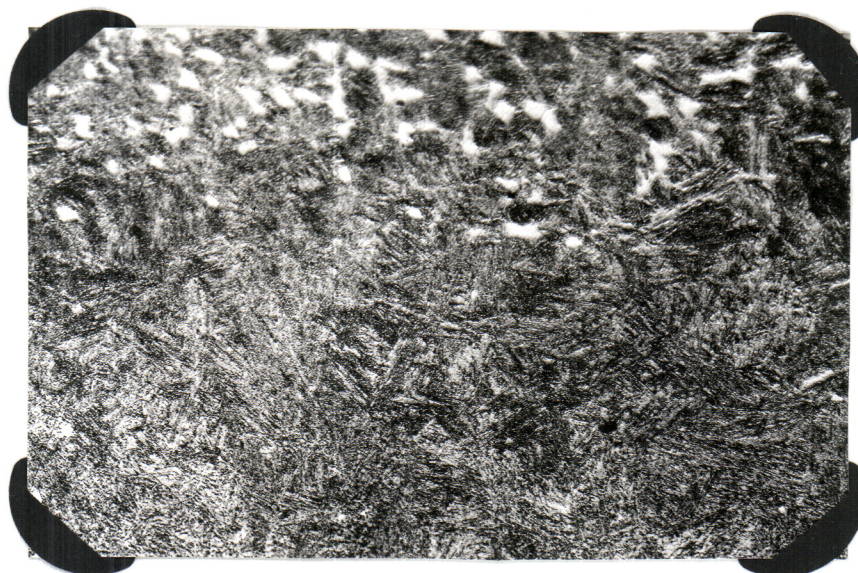
Vzorek č. 2

Čas	Teplota	Tlak	Napětí	Proud	H ₂	N ₂	NH ₃
hod	°C	Pa	V	A	cm ³ .min ⁻¹		
6	520	350	560	13	175	60	
8	510	320	540	11	162	59	

4.4 Metalografické hodnocení IN vrstev

Pro vzorky z iontově nitridovaných součástí nelze použít metodu zalévání do dentakrylu, aby nedošlo k zaoblení okrajových částí výbrusu, protože potřebujeme sledovat právě povrchovou část.

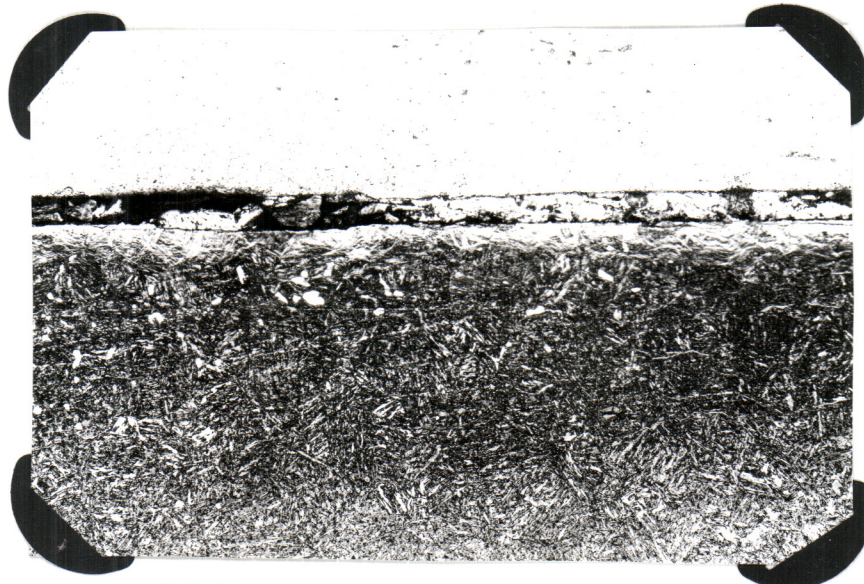
Já jsem tedy vzorky upevnila do mosazných držáčků a postup byl stejný jako při přípravě jiných vzorků, jen při broušení a leštění bylo nutné dbát na směr otáčení kotoučů. Vzorky jsem naleptala nitalem. Pozorování vzorků č. 1 je zachyceno na obr. č. 12, 13 a 14.



500x

obr. č. 12

Obrázek č. 12 zachycuje mikrostrukturu jádra na rozhraní oblasti homogenního a nehomogenního sorbitu. Další obrázky 13 a 14 ukazují už iontově nitridovanou vrstvu při zvětšení 200x a 500x. Je zde možné rozeznat bílou a difúzní vrstvu a zakotvení bílé vrstvy ve tvaru jehlic s úhlem cca 60° k povrchu.



200x

obr. č. 13



500x

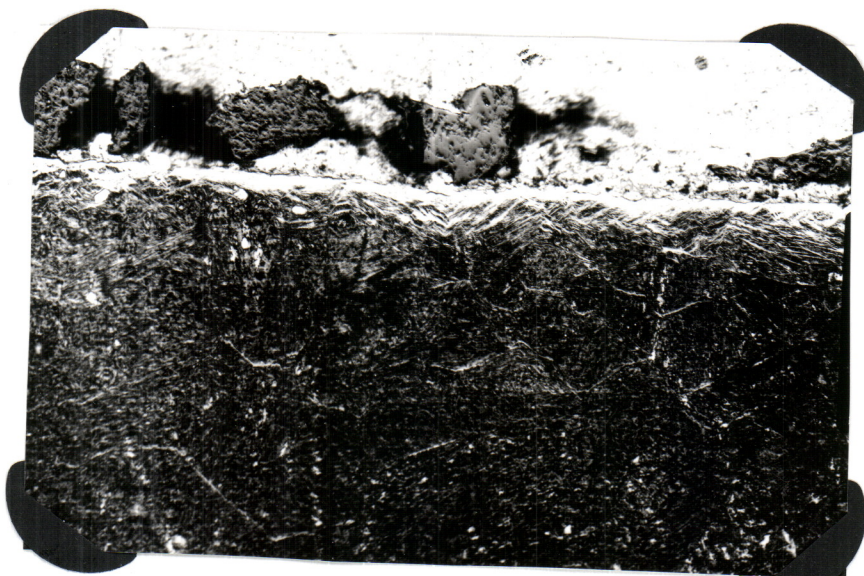
obr. č. 14

Na obrázcích č. 15 a 16 je zachycena vrstva, která vznikla podle druhého technologického postupu. Při zvětšení 200x na obr. č. 15 je viditelná bílá a difúzní vrstva. Na obr. č. 15 při zvětšení 500x lze pozorovat ukotvení bílé vrstvy ve tvaru jehlic s úhlem 60° k povrchu.



200x

obr. č. 15



500x

obr. č. 16

4.5 Měření povrchové tvrdosti a mikrotvrdosti

Tvrdost byla měřena metodou podle Vickerse, kdy tvar vnikacího tělíska je pravidelný čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem 136° . K měření mikrotvrdosti byl použit přístroj ZWICK 3212, který má také jako vnikací tělísko pravidelný čtyřboký jehlan s diamantovým hrotem. Pro měření mikrotvrdosti povrchu bylo použito zatížení 0,5 N (0,05 kg), 2 N (0,2 kg) a 10 N (1 kg).

Vzorek č. 1

tab. č. 1

Tvrdost po IN

HV 0,2	HV 1	HV 30	Jádro HV 0,2
1 051,1	1 241,8	998,8	271,2

Naměřené hodnoty

Měření povrchu

HV 0,2	HV 1	HV 30
1 051,0	1 258,0	966
1 163,0	1 218,0	934
966,4	1 026,0	1 052
1 033,0	1 257,0	1 043
1 042,0	1 100,0	
	1 507,0	
	1 307,0	
Ø 1 051,1	Ø 1 241,8	Ø 998,8

Jádro

HV 0,2

246,9
261,2
308,3
253,4
298,8
284,9
226,4
291,5
269,3
∅ 271,2

Vzorek č. 2

tab. č. 2

Tvrđost po IN

HV 0,2	HV 1	HV 30	Jádro HV 0,2
1 034,8	1 140,8	943	253,42

Naměřené hodnoty

HV 0,2

1 105,0
1 144,0
992,8
1 090,0
957,8
942,2
995,4
982,0
1 104,0
∅ 1 034,8

HV 1

1 263,0
1 104,0
1 031,0
1 135,0
1 171,0
∅ 1 140,8

HV 30

905
966
958
∅ 943

Jádro

HV 0,2	
	238,7
	247,7
	248,7
	228,8
	247,1
	247,2
	262,8
	282,3
	280,6
	250,3
Ø	253,42

4.6 Měření tloušťky vrstvy

Tloušťka iontově nitridované vrstvy se měří nejčastěji podle německé normy DIN 50190/74. Podle této normy je hloubka nitridační vrstvy stanovena jako kolmá vzdálenost od povrchu v mm až k ose vtisku, který reprezentuje tvrdost vyšší o 50 jednotek HV 0,05 než je skutečná tvrdost jádra. Jako tvrdost jádra se uvažuje průměrná hodnota HV 1 ze tří vtisků měřených ve vzdálenosti od povrchu rovnající se přibližně trojnásobné hloubce nitridace.

U nás pro předepisování iontové nitridace do technické dokumentace by měla v současné době platit oborová norma SZN 013145 ze Šmeralových závodů v Brně.

Tab. č. 3

Měření tloušťky vrstvy
u vzorku č. 1

Vzdálenost od povrchu /mm/	Mikrotvrdost HV 0,05
0,0118	1 066,0
0,0362	1 104,0
0,0722	945,8
0,0960	798,4
0,1222	823,0
0,1450	805,9
0,1776	764,3
0,1958	762,6
0,2328	449,3
0,2604	457,3
0,3050	364,3
0,3430	364,3
0,3810	306,6
0,4120	320,2
0,4452	311,9
0,4822	314,5
0,5320	237,0
0,6354	243,1
0,6836	249,1

Tab. č. 4

Měření tloušťky vrstvy
u vzorku č. 2

Vzdálenost od povrchu /mm/	Mikrotvrdost HV 0,05
0,0078	1 068,0
0,0296	1 260,0
0,0638	960,3
0,0934	711,7
0,1332	936,3
0,1660	662,9
0,2032	893,1
0,2354	536,0
0,2600	927,0
0,2892	639,7
0,3158	350,5
0,3372	430,4
0,3744	457,3
0,4078	456,5
0,4382	326,9
0,4844	318,8
0,5234	245,6
0,5398	306,1
0,5798	349,9

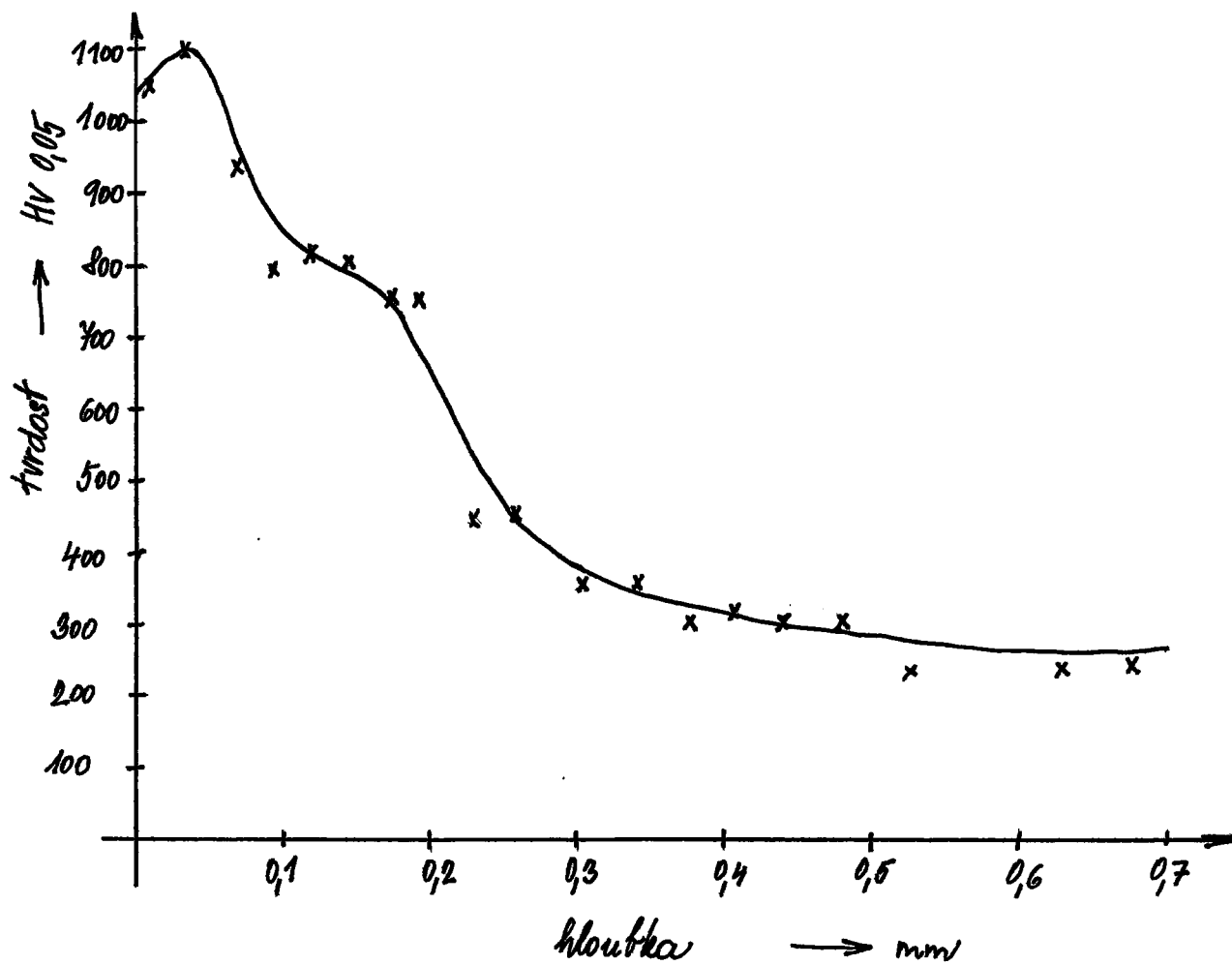
Tvrdost jádra

Vzorek 1 HV 1

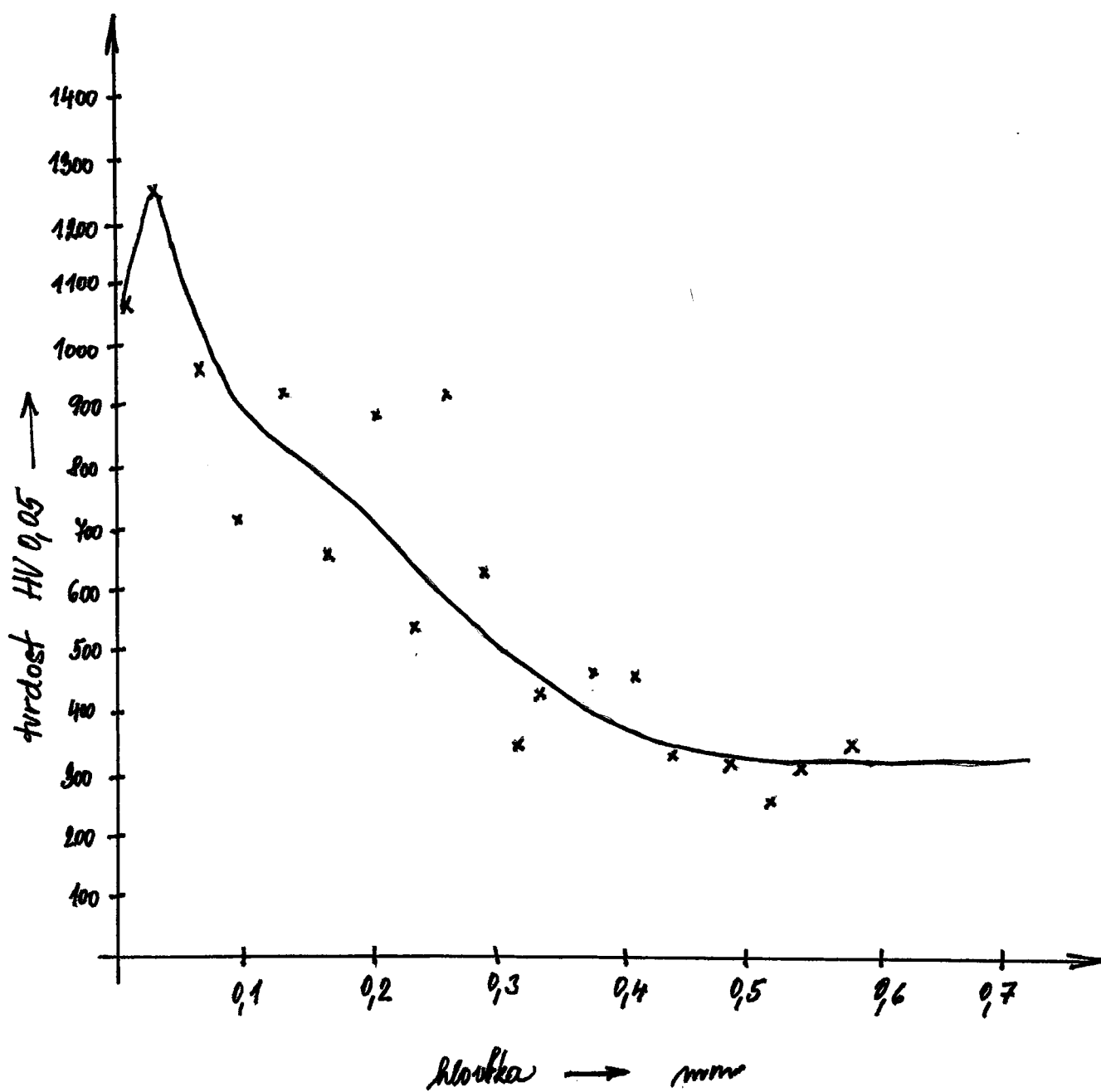
243,8
225,8
276,9
∅ 248,8

Vzorek 2 HV 1

264,3
265,7
283,9
∅ 271,3



obr. č. 17 Graf závislosti mikrotvrdości na vzdálenosti od povrchu pro vzorek 1



obr. č. 18 Graf závislosti mikrotvrdosti na vzdálenosti od povrchu pro vzorek 2

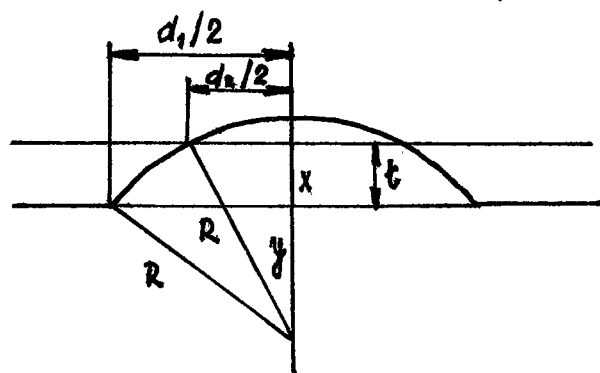
4.7 Metody kontroly IN na nástrojích

V této kapitole bych se chtěla vyjádřit ke čtvrtému bodu zadání, k navržení vhodné metody kontroly iontové nitridace na zápustkách.

Nejvíce používané způsoby měření mikrotvrdosti a tloušťky vrstvy jsem podrobně popsala v kapitolách 3.4.2 a 3.4.3. Protože se jedná o nástroje, na kterých probíhá výroba, nelze na nich provádět jakékoliv destruktivní zkoušky, tedy ani metalografický výbrus.

K změření vrstvy by bylo možné použít jeden z přístrojů MIKRODUR nebo SONODUR, které pracují na principu odrazu ultrazvukových vln, ale tyto přístroje podnik ZVU Hradec Králové nevlastní. Ani toto měření není zcela objektivní, je ovlivněno kvalitou povrchu.

Dále se chci zmínit o novém způsobu, jak změřit tloušťku povrchové vrstvy za pomoci probroušení kulového vrchlíku - kaloty. Tato metoda se nazývá kalotest. Zkušebním tělískem je vyleštěná kalená kulička daného průměru, která rotuje na povrchu vzorku a po určitém čase se probrousí až na substrát. Vyrobí se na povrchu materiálu - kulový vrchlík - kalotu. V mikroskopu vidíme mezikruží na kulovém vrchlíku a změříme velikost obou průměrů d_1 a d_2 . Tloušťka vrstvy se určí podle odvozeného vztahu - viz obr. č. 19. Fotografie laboratorního přístroje pracujícího na tomto principu je v příloze č. 2.



$$\begin{aligned}t &= x - y \\x^2 &= R^2 - \left(\frac{d_2}{2}\right)^2 \\y^2 &= R^2 - \left(\frac{d_1}{2}\right)^2 \\t &= \sqrt{R^2 - \left(\frac{d_2}{2}\right)^2} - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d_1}{2}\right)^2}\end{aligned}$$

obr. č. 19 Kalotest

4.8 Zhodnocení

Z grafů na obr. č. 17 a 18 a z tab. 1 a 2 vyplývá hloubka naměřené vrstvy. Pro vzorek č. 1 byla dosažena hloubka 0,4452 mm a u vzorku č. 2 byla dosažena hloubka 0,4078 mm. Na výkrese je požadavek konstruktéra, aby hloubka nitridované vrstvy byla 0,4 mm. Oba vzorky tedy vyhovují tomuto požadavku, ale vzorek č. 2 s kratší dobou nitridace těsně a přechod z vrstvy do jádra u tohoto vzorku strmější, což by mohlo způsobit snadnější poškození vrstvy. Z toho lze usoudit, že dobu nitridace nelze zkrátit bez rizika, že nebude dodržena předepsaná hloubka a strmý gradient způsobí snadnější prolomení povrchové vrstvy.

Též povrchová tvrdost vyhovuje předpisu na výkrese a je u vzorku č. 1 vyšší než u vzorku č. 2. Dosažené hodnoty jsou v tabulkách č. 1 a 2. Provedená iontová nitridace odpovídá výsledkům dosahovaným u těchto materiálů v Unitermu Liberec jak z hlediska povrchové tvrdosti, tak z hlediska hloubky nitridované vrstvy i z hlediska struktury.

5. ZÁVĚR

Podle technologického postupu uvedeného v příloze č. 1 byly vyrobeny dvě sady nástrojů dle čs. rozměrové normy a dvě sady nástrojů dle normy ISO. Při návrhu byla uvažována životnost nástroje 50 000 ks vylisovaných tvarovek. Ani u jednoho nástroje nebylo zatím požadovaného počtu kusů dosaženo, a proto nelze zatím uzavřít hodnocení životnosti nástrojů.

Na životnost nástroje má vliv:

- volba materiálu nástroje
- tepelné zpracování nástroje, podklad pod nitridovanou vrstvou
- optimální povrchová vrstva - její hloubka, tvrdost a struktura
- vlastní materiál lisované tvarovky - jeho způsob předúpravy (jde-li o austenitický materiál nebo obyčejný černý materiál)
- vlastnosti použité tvářecí kapaliny - její mazací schopnost a udržení její čistoty
- celkový technický stav stroje
- tvar nástroje
- vliv tvaru hotového výlisku (egální - neegální, tvarovka - přechod)

Nástroje se opravovaly zatím jen pouze v podniku, když na výlisku byly objeveny defekty (např. v dělící rovině), zaviněné špatným výchozím materiálem nebo se dostala nečistota mezi lisovaný kus a nástroj. K opravě bylo použité jemného broušení a lapování. Pouze nástroj pro rozměr DN 89

- egální, na kterém bylo vyrobeno 25 000 ks byl dán na celkovou opravu do SVÚM Praha. Nitridační vrstva byla ohřevem rozmyta a zkušebně byla použita vrstva TiN, která se neosvědčila, tyto vrstvy jsou pro daný účel příliš tvrdé a tenké.

Na nástrojích dle ČSN bylo odlisováno přibližně 35 000 ks tvarovek, z nichž většina je na skladě. Výroba tvarovek dle ČSN byla zastavena z důvodu nedostatečné poptávky.

Veškerá současná produkce je na nástrojích dle normy ISO 4200 pro kontrakt s německou firmou BUSH a KUNZ, která si dodává výchozí materiál St 35.8/I dle DIN 17175. Na jednotlivých nástrojích bylo prozatím odlisováno maximálně 20 000 ks tvarovek a tedy ani životnost sady těchto nástrojů není ukončena. Pro tento kontrakt bylo celkem vyrobeno cca 90 000 ks tvarovek.

Též byla vyzkoušena výroba přechodů, ale v současné době se nevyrábí z důvodu nulové poptávky.

Během výroby se dále upravuje výrobní zařízení - lis, provádí se vylepšení a zdokonalení technologie a neustále jsou sjednávány s výrobcem lisovacího centra CYT 630 nové možnosti zlepšení.

Probíhající výroba je důkazem, že volba iontové nitridace jako povrchové úpravy nástroje pro výrobu tvarovek byla správná. V této práci se snažím optimalizovat původní technologii. Moje návrhy se liší od původního především snížením teploty a zvýšením tlaku, což by mělo přispět k zlepšení kvality vrstvy. Složení atmosféry je obdobné.

Předpokládám, že životnost takto vyrobených nástrojů se ještě zvýší nebo bude minimálně stejná jako životnost stávajících nástrojů.

Bude-li odbyt a výroba bude pokračovat předpokládá se dosažení počtu 50 000 ks tvarovek za 1,5 až 2 roky a potom bude nutné vyrobit další sady nástrojů, na kterých se uplatní mnou navržená optimalizace technologie iontové nitridace.

Příloha č. 1

Technologický postup pro výrobu nástroje pro tvarovku "T"

V následujícím technologickém postupu jsou zcela podrobně pouze operace tváření za tepla (kovářské operace), operace tepelného zpracování a operace vlastní iontové nitridace. Postupy pro další způsoby zpracování použité při výrobě těchto nástrojů jsou uvedeny ve zjednodušené (zestručněné) formě v této práci. Ve výrobních podkladech ZVU Hradec Králové jsou uvedeny podrobně jedna po druhé v plném znění. Jedná se především o operace obrábění, které zde nejsou uvedeny.

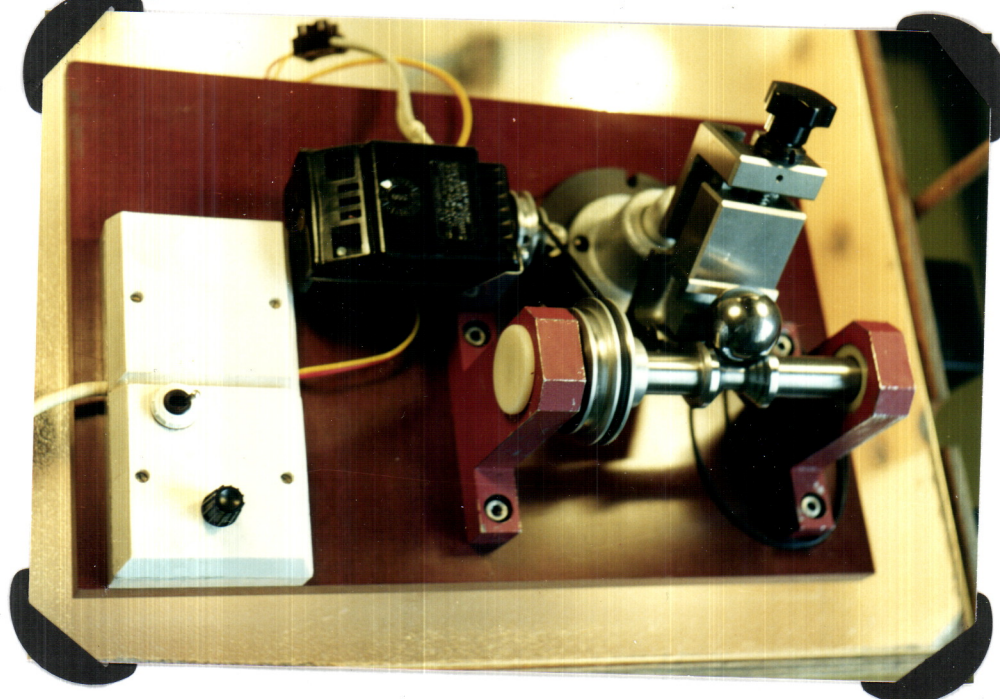
Vlastní postup výroby:

1. Ohřev na kovací teplotu
2. Kovat na rozměr podle výkresu
rozsaah kovacích teplot 1 150 - 830°C
3. Výkovek žíhat na měkko 15340.3
režimem 700 - 740°C (minimálně 4 hod) pec
4. Kontrola rozměru a tvrdosti maximálně 231 HB
5. Hrubování s přídavkem 5 mm na plochu
6. Zkouška ultrazvukem dle ČSN 015042 předepsaná skupina II, stupeň 1, od 3. 8. 1988 platí nová norma, která předepisuje skupina 2 stupeň 1
7. Dokončení hrubování
8. Žíhat normalizačně 880 - 900°C /100 min/ vzduch
9. Kontrola registrace diagramu teplota - čas
10. Zušlechťení na 880 - 920 MPa
 - a) kalení režimem 930 - 950°C (prohřátí) teplá voda
kontrola tvrdosti po kalení
 - b) popuštění dle tvrdosti po kalení režimem 680°C /1 hod/
/voda nebo olej/
11. Kontrola tvrdosti konečné 269 až 282 HB
12. Obrábění načisto (částečné)
13. Zkouška ultrazvukem (viz bod 6)
14. Dokončení obrábění načisto a slícování obou částí nástroje
15. Iontová nitridace dle parametrů

Parametry IN

Čas	Teplota	Tlak	Napětí	Proud	Složení atmosféry
hod	°C	Pa	V	A	
1	520	300	450	70	H ₂
12	520	300	450	70	H ₂ - N ₂ 3 : 1
24	540	300	450	70	H ₂ - N ₂ 3 : 1

Příloha č. 2



Přístroj pro měření hloubky
vrstvy na principu kalotestu

Seznam použité literatury

- / 1/ Holemář, A. - Hrubý, V.: Iontová nitridace v praxi
STNL, Praha 1989
- / 2/ Hrubý, V. - Holemář, A.: Katalog technologických listů
iontová nitridace
Brno 1991
- / 3/ Stanislav, J., Kubíček,
V., Kučerová, H., Hüb-
ner, P., Daňourek, K. : Materiálové listy iontové
nitridace
Liberec 1987
- / 4/ Daňourek, K., Kubíček,
V., Kučerová, H., Hüb-
ner, P., Stanislav, J. : Úvod do technologie iontové
nitridace
Liberec 1987
- / 5/ Jech, J. : Tepelné zpracování oceli
SNTL Praha 1983
- / 6/ Přenosil, B. : Nitrocementace
SNTL Praha 1964
- / 7/ Edenhofer, B. : Physikalische und Metallkundli-
che Vorgänge beim Nitrieren
im Plasma einer Glimmentladung
- / 8/ Ryš, P. : Nauka o materiálu
Praha, Academia 1975
- / 9/ Jonášová, B. : Současný stav vývoje zařízení
pro IN
Sborník konference ČSVTS,
Bratislava 1980

/10/ Hrubý, V.

: Zhodnocení dosavadních poznatků o nitridaci doutnavým výbojem
Brno, VAAZ 1982

/11/ Musil, J.

: Nitridování
Praha, Práce 1956

/12/ Podnikové zprávy ZVÚ

: Zajištění výroby tvarovek
- technologie výroby

Zvýšení spolehlivosti a intenzifikace výroby na CYT 630