

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci
nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

Odbor 23-07-8

strojárenská technológia

nameranie

strojárenská metalurgia

Katedra materiálov a strojárenskej metalurgie

IZOTERMICKÉ ŽIHANIE VÝKOVKOV Z CEMENTAČNEJ OCELE
ČSN 16 231 A JEHO VPLYV NA ŠTRUKTÚRU

Dušan Jankovič

DP-ST-1581/80

Vedúci práce: Ing. Jiří Horyna, CSc /VŠST Liberec/

Konzultant: Ing. Ladislav Sáddecký /Považské strojárne,
koncernový podnik
Považská Bystrica/

Resumé práce a príloh

Počet strán: 69

Počet príloh

a tabuliek: 2

Počet obráskov: 29

Liberec, 14. 5. 1980

KHH DM

Vysoká škola:

Katedra:

Fakulta:

Školní rok:

DIPLOMOVÝ ÚKOL

pro

obor

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu:

Pokyny pro vypracování:

Autorské právo se řídí směnicí
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 2
772/62-III/2 ze dne 13. června
1962/Čestník MŠK XVIII, sešit 24 z
dne 31.8.1962 §19 aut. z. č. 115/53 Sb.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIDSKÝ 1, STUDENTSKÁ 8
FSC 461 17

Vysoká škola: strojní a textilní
v Liberci
Fakulta: strojní

Katedra: materiálu a strojírenské
metalurgie
Školní rok: 1979/80

DIPLOMOVÝ ÚKOL

Dušan J A N K O V I Č

pro

obor

strojírenská technologie

Protože jste splnil..... požadavky učebního plánu, zadává Vám vedoucí katedry ve smyslu směrnic ministerstva školství a kultury o státních závěrečných zkouškách tento diplomový úkol:

Název tématu: Izotermické žihání výkovků z cementační oceli
ČSN 16 231 a jeho vliv na strukturu

Pokyny pro vypracování:

1. Porovnání způsobů žihání výkovků.
2. Návrh zkoušek izotermického žihání pro porovnání obrobitelnosti a návrh zařízení pro použití tohoto procesu.
3. Rozbory jednotlivých zkoušek, metalografické šetření a porovnání obrobitelnosti.
4. Zhodnocení výsledků a návrh na širší realizaci.

Autorské právo se řídí směrnice
MŠK pro státní záv. zkoušky č.j. 3
727/62-III/2 ze dne 13. června
1962-Věstník MŠK XVIII, sešit 24 z
dne 31.8.1962 §19 aut.z.č.115/53 Sb.

V 36 / 1980 S

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

Rozsah grafických laboratorních prací:

Rozsah průvodní zprávy: 40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

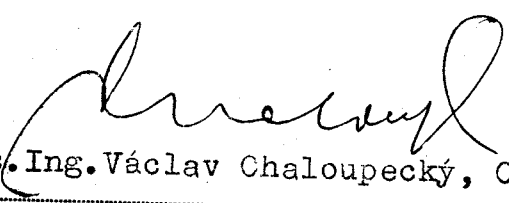
- Ing.K.Švejda: Výzkum tepelného zpracování ocele ČSN 14 220 z hlediska dosažení optimální obrobitelnosti
Výzkumná zpráva SVÚM Praha, listopad 1970
Paur - Skočovský : Konstrukční materiály
Budaj - Bekeš: Teoretické základy obrábění kovů, ALFA, Bratislava 1977
Švec: Řezné nástroje, ITP, Praha 1966
Výzkumná zpráva - SVÚM Praha, srpen 1975, č.2-75-3345
Wunning: Verfahrenstechnik des Isotermhlumens, fy Aichelin 1976
Kalinin, Tihonov: Termičeskaja obrabotka na volžskom avtomobilnom zavode, č. 9, 1973

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Horyna, CSc

Konsultanti: Ing. Ladislav Sádecký, Povážské strojárny.p.

Datum zahájení diplomové práce: 8.10.1979

Datum odevzdání diplomové práce: 23.5.1980


Doc. Ing. Václav Chaloupecký, CSc

Vedoucí katedry




Doc. RNDr, Bohuslav Stříž, CSc

Děkan

v Liberci dne 5.10. 79

Miestoprísahažné prehlásenie

Miestoprísahažné prehlasujem, že som diplomovú prácu
vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

V Liberci dňa 14. 5. 1980

Dávid Jankovič

ZOZNAM POUŽITÝCH ZNAČIEK

C_v	- konštanta závislosti $T - v$	
D	- stredný polomer zrna	/nm/
e	- základ prirodzeného logaritmu	
ΔG	- voľná entalpia preskoku	/J.kg ⁻¹ /
ΔH_A	- aktivačná entalpia preskoku	/J.kg ⁻¹ /
h	- Planckova konštanta	/kg.m ² .s ⁻¹ /
k	- Boltzmanova konštanta	/J.°K ⁻¹ /
K_v	- relatívna kinetická obrobiteľnosť	
K_{v0}	- koeficient obrobiteľnosti pôvodného mat.	
K_{vz}	- koeficient obrobiteľnosti nového materiálu	
m	- konštanta úmernosti	
n	- otáčky pri obrábaní	/ot.min ⁻¹ /
N_{c1}	- celkové náklady pre stávajúcu technológiu	/Kčs.rok ⁻¹ /
N_{c2}	- celkové náklady pre novú technológiu	/Kčs.rok ⁻¹ /
N_{I1}	- investičné náklady na zariadenie stávajúce	/Kčs.rok ⁻¹ /
N_{I2}	- investičné náklady novej technológie	/Kčs.rok ⁻¹ /
N_{m1}	- mzdové náklady na stávajúce zariadenie	/Kčs.rok ⁻¹ /
N_{m2}	- mzdové náklady na novú technológiu	/Kčs.rok ⁻¹ /
N_{p1}	- prevádzkové náklady na stávajúce zariadenie	/Kčs.rok ⁻¹ /
N_{p2}	- prevádzkové náklady na novú technológiu	/Kčs.rok ⁻¹ /
N_{r2}	- režijné náklady pre novú technológiu	/Kčs.rok ⁻¹ /
N_{s2}	- náklady na sociálne dávky pre novú technológiu	/Kčs.rok ⁻¹ /
R	- polomer zakrivenia hranice zrna	/nm/
r_o	- stredný polomer častice	/nm/
ΔS_A	- aktivačná energia	/J.kg ⁻¹ .°K ⁻¹ /
s	- posuv	/mm/
T	- trvanlivosť nástroja	/min/
T	- absolútna teplota	/°K/
U_1	- úspory nákladov za rok pre TS	/Kčs.rok ⁻¹ /
U_2	- úspora na náradí za rok	/Kčs.rok ⁻¹ /
V	- molárny objem kovu	/m ³ .mol ⁻¹ /
v	- rýchlosť migrácie	/m.sec ⁻¹ /
v	- rezná rýchlosť	/m.min ⁻¹ /
λ	- stredná dráha preskoku častice z jednej strany hranice na druhú	/nm/
φ	- objemový podiel častí cudzej fázy	/m ³ /
σ	- povrchová energia hranice zrna	/J.kg ⁻¹ /

O B S A H

1.	ÚVOD	str. 1
2.	VPLYV IZOTERMICKÉHO ŽIHANIA NA ŠTRUKTÚRU OCELE 16 231	5
2.1	Základná charakteristika ocele 16 231	5
2.2	Štruktúra ocele 16 231 vzhľadom na TS	6
2.3	Technika izotermického žihania	11
2.4	Použitie zariadení pre izotermické žihanie	13
2.5	Dostupné výsledky izotermického žihania z literatúry	19
3.	PRAKTICKÉ SKÚŠKY NA SKÚŠOBNÝCH VZORKÁCH	28
3.1	Výber skúšobných vzoriek pre sledovanie štruktúry a obrobitelnosti	28
3.2	Návrh skúšok tepelného spracovania	28
3.3	Návrh metodiky skúšok obrobitelnosti	30
3.4	Skúšky tepelného spracovania	32
3.4.1	Chemický rozbor	33
3.4.2	Metalografické šetrenie základného materiálu	33
3.4.3	Tvrdosť základného materiálu	33
3.4.4	Tepelné spracovanie	33
3.4.5	Tvrdosť tepelne spracovaných vzoriek	35
3.4.6	Štruktúra tepelne spracovaných vzoriek	37
3.5	Skúšky obrobitelnosti	45
4.	Ekonomické vyhodnotenie navrhovanej technológie	64
4.1	Úspory pri tepelnom spracovaní	64
4.1.1	Náklady na žihanie výkovkov - deposit používaný spôsob	65
4.1.2	Náklady na izotermické žihanie - navrhovaný spôsob	65
4.2	Úspora na náradí	66
4.3	Celková úspora	67
5.	ZÁVER	68

1. ÚVOD

Vedecko - technická revolúcia a z nej vyplývajúci prudký rozvoj strojárnskej výroby kladie stále rastúce nároky na technickú úroveň výrobkov, ich kvalitu, životnosť a hospodárnosť. Tieto zásady potvrdil v svojich záveroch i XV. sjazd KSČ, ktorý vysdvihol do popredia najmä prepojenie jednotlivých etáp technického rozvoja a skrátenie doby na realizáciu vedeckých a vývojových prác.

Veľmi výraznou súčasťou výroby je výroba náradia, na ktoré sa kladú stále zvyšujúce sa nároky, najmä čo sa týka životnosti a trvanlivosti náradia v súvislosti na získaní optimálnej kvality vyrábaných súčiastok.

Podiel náradia na cene výrobku neustále rastie, zvlášť pri zavádzaní nových druhov strojov, ktoré pracujú s veľkými výkonmi.

V tejto práci sa z nástrojov budem zapodievať najmä reznými nástrojmi, ktorých životnosť sa snažím zvyšovať zlepšením obrobitelnosti materiálov. Rezné nástroje majú vo výrobe veľký význam, lebo sú neodmysliteľnou súčasťou sústavy stroj - nástroj - obrobok. Prenášajú v tejto sústave užitočnú prácu obrábacieho stroja, v čom je vidieť ich najväčší spoločenský význam, lebo sa podieľajú na tvorbe hodnoty. Toto sa veľmi zvýrazní pri hromadnej výrobe, kedy sa prejaví každé zlepšenie podmienok obrábania.

Hodnotenie obrobitelnosti je možné previesť z rôznych hľadísk, avšak tento pohľad je dôležitý najmä z pohľadu tepelného spracovania.

Pred mechanickým opracovaním sa všetky za studena a za tepla tvárnené súčiastky z ocele, pre zlepšenie obrobitelnosti, žihajú. Stav materiálu sa definuje podľa spôsobu tepel-

ného spracovania, rozsahu pevnosti, druhu materiálu a triedy obrobiteľnosti.

Tepelné spracovanie pre zlepšenie obrobiteľnosti sa delí na :

- normalizácia
- žihanie k zhrubnutiu zrna
- sušičenie
- žihanie na mätko
- izotermické žihanie.

Nakoľko z predchádzajúceho vidieť, že spôsobov tepelného spracovania je veľa, preto pre spôsob tepelného spracovania je nutné zvažovať nasledovné hľadiská:

1. Chemické zloženie súčiastky
2. Spôsob výroby ocele a polotovaru /odliatok, výkovok, vývalok a iné/.
3. Obrábacie operácie nasledujúce po tepelnom spracovaní /sústruženie, frézovanie a pretahovanie/.

Chemické zloženie ovplyvňuje s daným tepelným spracovaním požadovanú štruktúru a tým i mechanické vlastnosti. Toto je možné pozorovať priamo, kde zmena prísadového prvku mení obrobiteľnosť, či už prísadový prvok vytvára tuhé roztoky alebo karbidy, prípadne posúva hranice oblasti premeny a má vplyv i na rýchlosť premeny. Zvyšovaním obsahu legúry sa môžu dosiahnuť i opačné výsledky.

Proces výroby ocele má podstatný vplyv na obsah zbytkových prvkov a to predovšetkým na obsah síry, fosforu, kyslíka a dusíka. Počas tavenia a desoxidácie dochádza k tvorbe vrastkov nezávisle na riadení procesu, ktorých množstvo a povaha závisí na obsahu legujúcich prvkov a oceli spracovávaných elementov. Spôsob desoxidácie ovplyvňuje i veľkosť austenitických elementov.

nitického zrna a určuje teplotu prahu hrubnutia tohoto zrna. Vplyv má i tuhnutie ocele. Anizotermické tuhnutie v kokile spôsobuje, že počas tuhnutia dôjde v objeme ingotu k makrovyceďovaniu a v objeme dendritov k vzniku mikrovyceďovania. Je možné zaznamenať, najmä u veľkých ingotov, rozdiel v chemickom zložení ako i rozdiel v mechanických hodnotách a obrábateľnosti. Vycedeniny vytvárajú pri tvárnení a tepelnom spracovaní chemickú nerovnorodosť, ktorá sa prejaví pri pozorovaní štruktúry ako riadkovitosť /7/.

Ak je v technologickom procese zaradená obrábacia operácia až po konečnom tepelnom spracovaní, tak vlastnosti súčiastky sú predpísané a obrábanie sa musí prispôbiť tomuto stavu. V tom prípade ak tepelné spracovanie je zaradené po skončení obrábania, je možné pred obrábanie zaradiť vhodný druh žihania a tým získať pre obrábanie priaznivú štruktúru. Prvý zo spomínaných prípadov sa deje u ocelí používaných v súšlachtenom stave a druhý sa používa u konštrukčných a nástrojových ocelí, kde sa vyžaduje vyššia tvrdosť. Do tejto oblasti spadá väčšia časť ocelí, ale najmä ocele pre výrobu ložísk, k cementovaniu, rýchloresné ocele a časť nástrojových ocelí.

Prvoradou úlohou pri výbere tepelného spracovania z hľadiska obrábania je spôsob obrábania, ktorý určuje požiadavky na optimálnu štruktúru pred obrábaním.

Pri obrábaní vyššími reznými rýchlosťami /sústruženie/, kedy sa požaduje maximálny výkon bez prílišného ohľadu na kvalitu povrchu. Pokiaľ sa jedná o obrábanie nižšími reznými rýchlosťami, aké sa používajú pri frézovaní, preťahovaní a obrábaní, tak vo väčšine prípadov sa hodnotí i kvalita opracovanej plochy. Zvlášť sa táto požiadavka uplatňuje u preťahovaných otvorov, kedy preťahovanie vzhľadom na zložitosť tvarov je konečnou operáciou. V tomto prípade tepelné spracovanie musí zabezpečiť takú štruktúru, ktorá zabezpečuje akost-

ný povrch obrábaného dielca s prijateľnou životnosťou nástroja /7/.

Pokiaľ sa jedná o výber ocelí pre izotermické žihanie, je situácia zaujímavá u ocelí pre automobilový priemysel, kde sa najviac používajú cementačné ocele, nakoľko sa jedná o prenos značných síl pri rôznych spôsoboch namáhania súčiastok /krut, ohyb, otláčenie a iné/. V tejto oblasti je splnená i požiadavka na veľké série, kde sa dá využiť linkové usporiadanie zariadení pre tepelné spracovanie.

Proces izotermického žihania pozostáva z vhodne voľenej austenitizácie a nasledovného rýchleho ochladenia do perlitickej oblasti, kde výdržou na tejto teplote prebehne izotermický rozpad podchladeného austenitu. Po tejto výdrži nasleduje ochladenie na voľnom vzduchu na teplotu okolia /1/.

Snahou krátkodobej austenitizácie je vznik nehomogénneho austenitu s obsahom svýžkov nerozpustných karbidických fáz, ktoré pôsobia ako kryštalizačné zárodky pri perlitickej premene. Takýto austenit má kratšiu inkubačnú dobu a transformuje na globulárnu perlitickú štruktúru /1/.

Jemnosť perlitickej štruktúry závisí na teplote rozpadu, pričom vyššie teploty dávajú hrubší zrnitý perlit. So znižujúcou sa teplotou rozpadu rastie disperznosť štruktúry a zvyšovanie tvrdosti.

Veľkou prednosťou izotermického žihania je možnosť riadenia procesu podľa požiadaviek na výslednú štruktúru.

Izotermické žihanie sa uplatňuje najmä u legovaných ocelí a nahrádza žihanie na mätko, ktoré vyžaduje veľmi dlhé doby výdrže pri pomalom ochladzovaní.

2. VPLYV IZOTERMICKÉHO ŽIHANIA NA ŠTRUKTÚRU OCELE 16 231

2.1 Základná charakteristika ocele

Oceľ 16 231 je chrómniklová oceľ určená k cementácii s nasledovným obsahom prvkov:

C = 0,19 - 0,24 %
Mn = 0,70 - 1,00 %
Si = 0,17 - 0,37 %
Cr = 0,80 - 1,10 %
Ni = 1,30 - 1,60 %
P = max. 0,035 %
S = max. 0,035 %

Vyrába sa tavením v elektrických oblúkových alebo Martinových peciach s dezoxidáciou hliníkom.

Dodáva sa v tvare predvalkov /podľa ČSN 42 5114 a ČSN 42 5121/, tyčí /ČSN 42 5515 a ČSN 42 5519/ a výkovkov kovových za tepla. V stave 16 231.3 /žihané na mätko/ dosahuje maximálnu tvrdosť 217 HB a v stave 16.231.4 je minimálna hranica tvrdosti 300 HB.

Teplota premeny: Ac_1 - asi 725°C
 Ac_3 - asi 785°C

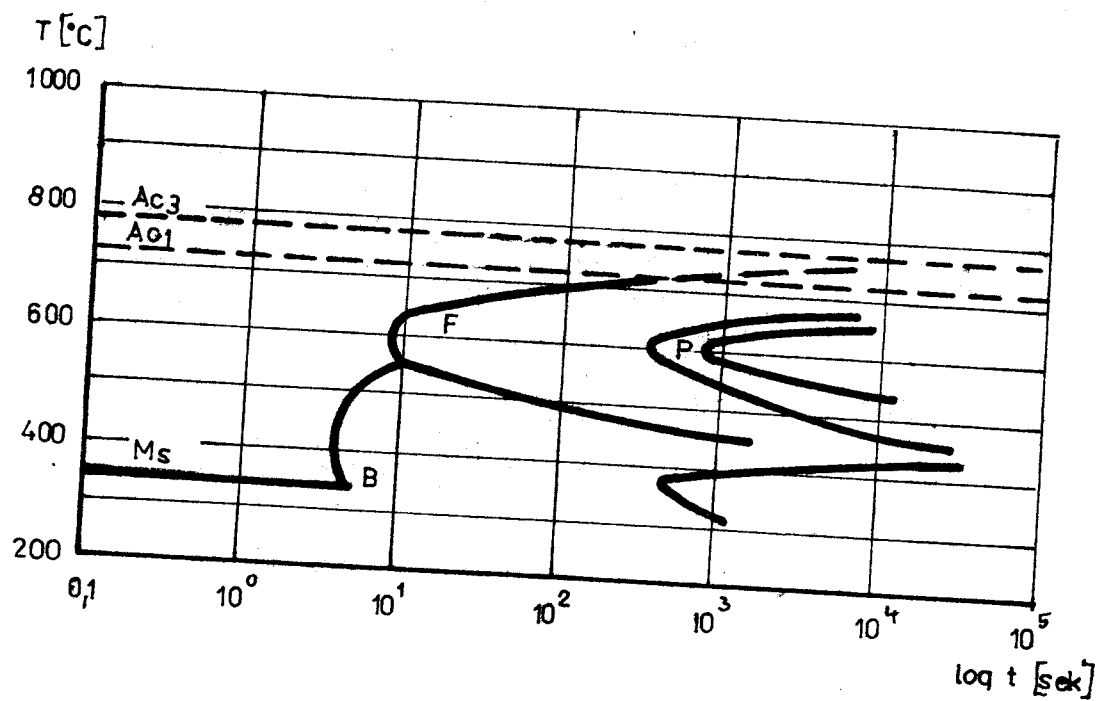
Teplota Ms asi 360°C

Oceľ je dobre tvárniteľná za tepla a v žihanom stave dobre obrobiteľná. Je vhodná pre veľmi namáhané strojné súčiastky s cementovaným povrchom a s vysokou pevnosťou jadra. Ak sa vyžadujú hladké plochy je požadovaná pevnosť materiálu 700 - 900 MPa. Oceľ pri obrábaní má sklon k vzniku svarov s nástrojom, ktoré značne ovplyvňujú akosť povrchu.

2.2 Štruktúra ocele 16 231 vzhľadom na tepelné spracovanie

Pri tepelnom spracovaní ocele 16 231 je nutné uvažovať s predĺžením inkubačnej doby premeny austenitu v perlitickej oblasti, pretože pre obrábanie podutektoidných cementačných ocelí sa za najvhodnejšiu štruktúru považuje diferencovaná, bez_riadková, feriticko - perlitická štruktúra. Prechod z mäkkých /feritových/ a tvrdších /perlitových/ častí štruktúry vedie k hladkým povrchom s krátkymi trieskami. Najvýhodnejšou pevnosťou sa javí pevnosť 550 - 650 MPa. Riadkové usporiadanie feritu v podutektoidných oceliach vzniká ako následok nevyhnutných segregácií a pôsobí nepriaznivo na kvalitu povrchu, hlavne pri pozdĺžnom opracovaní.

Kritická rýchlosť ochladzovania je tak nízka, že u výrobkov s menšou hrúbkou steny môže dôjsť pri ochladzovaní na vzduchu k vytvoreniu bainitu alebo martenzitu, vedľa feritu a perlitu. Stanovenie teplotnej oblasti, maximálnej rýchlosti je možné previesť buď pomocou skúšok alebo podľa diagramu pre izotermický rozpad austenitu. Takýto diagram pre ocel 16 231 je uvedený na obr. 1. Podľa tohto diagramu sa začína tvorba feritu a premena v bainitickej oblasti veľmi rýchlo, zatiaľ čo pre tvorbu perlitu sú nutné dlhšie časy. Najvyššiu rýchlosť premeny je možné dosiahnuť pri teplote okolo 620°C /7/. Ideálny prípad čistého izotermického spracovania je možný len pri malých dielcoch. Pri tepelnom spracovaní väčších kusov sa musí predpokladať, že pri ochladzovaní na teplotu premeny dochádza k vylučovaniu feritu. Perlit získaný izotermickým žíhaním je lamelárny, táto štruktúra je požadovaná. Preto, aby vznikol lamelárny perlit je nutná dostatočne vysoká austenitizačná teplota, ktorá umožní úplnú homogenizáciu. Voľba austenitizačnej teploty sa riadi požadovanou veľkosťou zrna. Veľkosť zrna priamo vplýva na obrábateľnosť, preto sa



Obr.č. 1 Diagram izotermického rozpadu austenitu
ocela ČSN 16 231

väčšinou požaduje pre zlepšenie obrobitelnosti hrubozrnná feriticko - perlitická štruktúra. Táto štruktúra aj znižuje feritickú riadkovitosť. /7/

Jemnozrnné cementačné ocele majú teplotný rozsah pre tvorbu rovnomerných hrubých zŕn vysoko nad teplotou premeny a pohybuje sa nad teplotou 950°C /8/. Je nutné pri získavaní hrubozrnej štruktúry vyvarovať sa teplotnej oblasti, ktorá umožňuje vznik zmiešaného zrna /7/. Táto oblasť nie je u každej tavby rovnaká a je veľmi závislá na veľkosti primárneho zrna /vzniká v liatom stave/. Deliacou hranicou u ocelí desoxidovaných hliníkom je obsah Al = 0,015 %.

K týmto výsledkom sa možno dopracovať i teoreticky na základe výsledkov Ewinga, Rosenhaina, Benedicksa a Bragga, ktorí uvádzajú, že hnacou silou rastu zŕn je rozdiel voľnej povrchovej entalpie hraníc zŕn, ktoré sú v polykryštalickej matici vždy zakrivené.

K fyzikálnemu popisu migrácie hranice zŕn sa použije teória aktivovaného komplexu, kde rýchlosť migrácie hranice zrna je priamo úmerná frekvencii preskoku častíc cez zakrivenú hranicu zrna. Túto závislosť je možné vyjadriť rovnicou:

$$v = e \cdot \frac{k \cdot T}{h} \cdot \lambda \cdot \frac{\Delta G}{RT} \exp\left(-\frac{\Delta S_A}{R}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta H_A}{RT}\right) \quad (1)$$

Voľná entalpia preskoku ΔG_A je podľa Burkeho a Turbula daná rovnicou:

$$\Delta G = \text{konšt.} \cdot \sigma V \cdot \frac{1}{r} \quad (2)$$

Po dosadení (2) do (1) dostaneme:

$$v = e \cdot \frac{k \cdot T}{h} \cdot \lambda \cdot \text{konšt.} \cdot \sigma \cdot V \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{1}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta S_A}{R}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\Delta H_A}{RT}\right) \quad (3)$$

Z tejto rovnice, ktorá predstavuje konkrétny fyzikálny popis migrácie zrna, sú zrejme základné zákonitosti tohoto deja. Je vidieť, že rýchlosť migrácie sa znižuje so zväčšujúcim sa polomerom zakrivenia hranice zrna. Pretože stredný polomer zakrivenia je v prvom priblížení úmerný priemeru zrna platí, že rýchlosť migrácie sa musí znižovať so zväčšujúcou sa strednou veľkosťou zrna. Napríklad pri izotermickom raste má za následok, že rýchlosť rastu zŕn sa časom znižuje. Beck a spol. sa pokúsili odvodiť časovú závislosť izotermického rastu zŕn na základe priblíženia, keď polomer zakrivenia hranice je približne rovný strednému polomeru zrna D . Rýchlosť migrácie $\frac{dD}{dt}$ je daná:

$$\frac{dD}{dt} = \text{konšt.} \cdot \frac{1}{D}, \quad (4)$$

kde po integrácii dostaneme pre časovú závislosť rastu zŕn parabolický vzťah:

$$D^2 - D_0^2 = \text{konšt.} \cdot t \quad (5)$$

Pretože experimentálne bolo dokázané Beckom, Burkom a Millerom, že u kovov a zliatin táto rovnica nevyhovuje, tak ju nahradili vzťahom:

$$D^2 - D_0^2 = \text{konšt.} \cdot t^n, \quad (6)$$

kde "n" má hodnotu menšiu ako 1 a u rôznych zliatin sa podstatne rozlišuje.

Z rovnice (3) je vidieť, že migrácia závisí na povrchovej energii hranice, ktorú však v polykryštáloch považujeme za konštantnú. Rovnica (3) tiež poukazuje na závislosť rýchlosti migrácie od strednej dráhy preskoku. U polykryštálov stredná dráha preskoku mení disorientáciu už len málo, takže

túto veličinu možno považovať za stálu. Teplotná závislosť rýchlosti migrácie je daná teplotným členom:

$$\exp. \left(- \frac{\Delta Q_A}{RT} \right),$$

kde na teplote závisí len povrchová energia, ktorej zmena s teplotou je malá a nepresahuje teplotný koeficient 0,08% . grad. ⁻¹. Teda teplotné zmeny povrchovej energie je možné zanedbať.

Podľa Zenerovej teórie brzdia migráciu hraníc zŕn aj disperzné častice a to silou:

$$P = \frac{3 \cdot \rho}{4 r_0} \quad (7)$$

Voľná entalpia migrácie zŕn a tým aj jej rýchlosť sa znižuje a to tým viac, čím je v matici väčší objemový podiel cudzích častíc a čím menší je ich stredný polomer - teda, čím sú disperznejšie.

Migrácia sa pri určitom množstve častíc môže zastaviť úplne, pokiaľ sa brzdiaci účinok disperzných častíc vyrovná rozdielom voľnej povrchovej entalpie konkavnej a konvexnej strany hranice /6/.

U ocelí využívame pre zaručenie jemnozrnnosti disperzných karbidov alebo nitridov. Z karbidov sa používajú karbidy niobu, titanu a vanádu. Z nitridov najmä disperzný nitrid hliníka, ktorý sa tvorí pri dezoxidácii ocele hliníkom.

Disperzné častice bránia rastu austenitického zrna len potiaľ, kým vplyvom vysokých teplôt nedôjde k ich rozpusteniu. Disperzný nitrid hliníka udržiava jemné zrno do teplôt až 1 020°C a to v závislosti na obsahu kovového hliníka v matici a na aktivite dusíka v kove /6/.

Po prekročení uvedených teplôt bude i pôvodne jemnozrnná oceľ vykazovať v celom objeme zhrublé zrnó. Jemnozrnnosť a hrubozrnnosť sa u cementačnej ocele určuje cementačnou metódou pri presne stanovených podmienkach podľa ČSN 42 0463.

Konečné sekundárne zrnó sa vytvorí pri ochladzovaní a rozumie sa ním veľkosť zrn feritu a perlitu po devršení premeny v austenitickej oblasti.

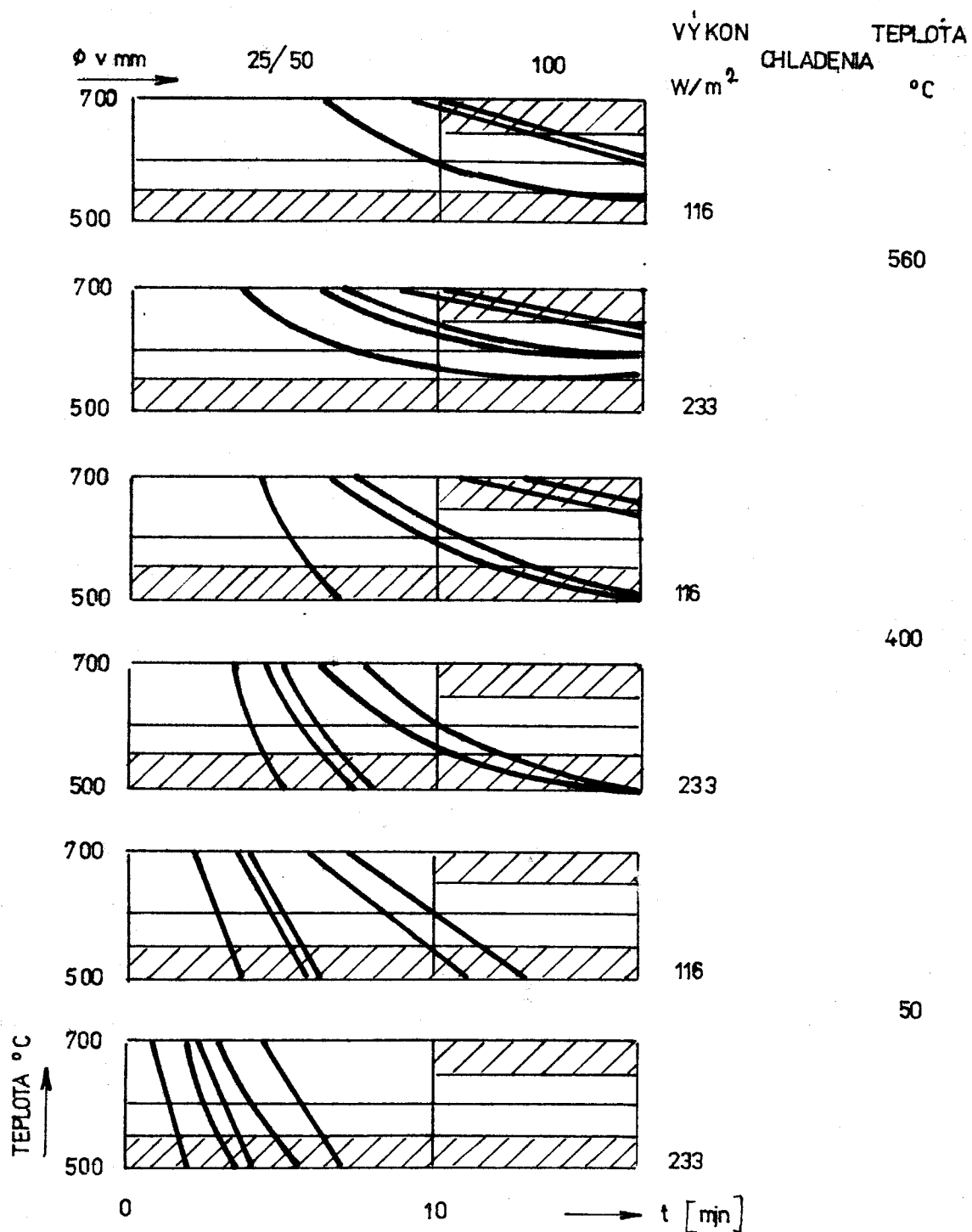
2.3 Technika izotermického žihania

Izotermické žihanie sa od ostatných technológií žihania odlišuje najmä v tom, že tepelný spád medzi austenitizáciou a premenou na perlit má prebiehať veľmi rýchlo, ale bez podchladenia. Priebeh tohoto medziochladenia závisí od troch veličín:

- od rozmeru súčiastky
- od koeficientu prechodu tepla
- od rozdielu medzi teplotou austenitizácie t_A a teplotou chladiaceho média alebo okolia t_K .

Pre tyčovú oceľ s priemerom "d" je ochladenie vypočítané a znázornené na obr. č. 2 /8/. Teplota austenitizácie je 950°C bez ohľadu na teplotu premeny. Z dvojitéh čiar platí dolná pre teplotu povrchu a horná pre teplotu jadra, takže sa dajú spoznať rozdiely teplôt v súčiastke. Medzi žrafevanými областami nad 650°C a 10 minutami /tvorenie riadkov/ a pod 550°C /medzistupeň/ zostáva úsek, do ktorého majú ústiiť krivky teploty.

Podchladeniu sa dá zabrániť tým, že sa teplota chladiaceho média nastaví na 550°C - podľa prvej časti obrázku. Ako je vidno, i pri tejto vysokej hodnote ochladzovania klesne teplota súčiastok do 10 minút pod 650°C len do ϕ 70 mm.



Obr. 2 Priebek chladnutia valcových oceľových súčiastok v oblasti perlitu

Metóda má tú výhodu, že premena môže prebehnúť v chladiacej komore bez nebezpečia vytvorenia medzistupňov, ale je obmedzená len do malých priemerov.

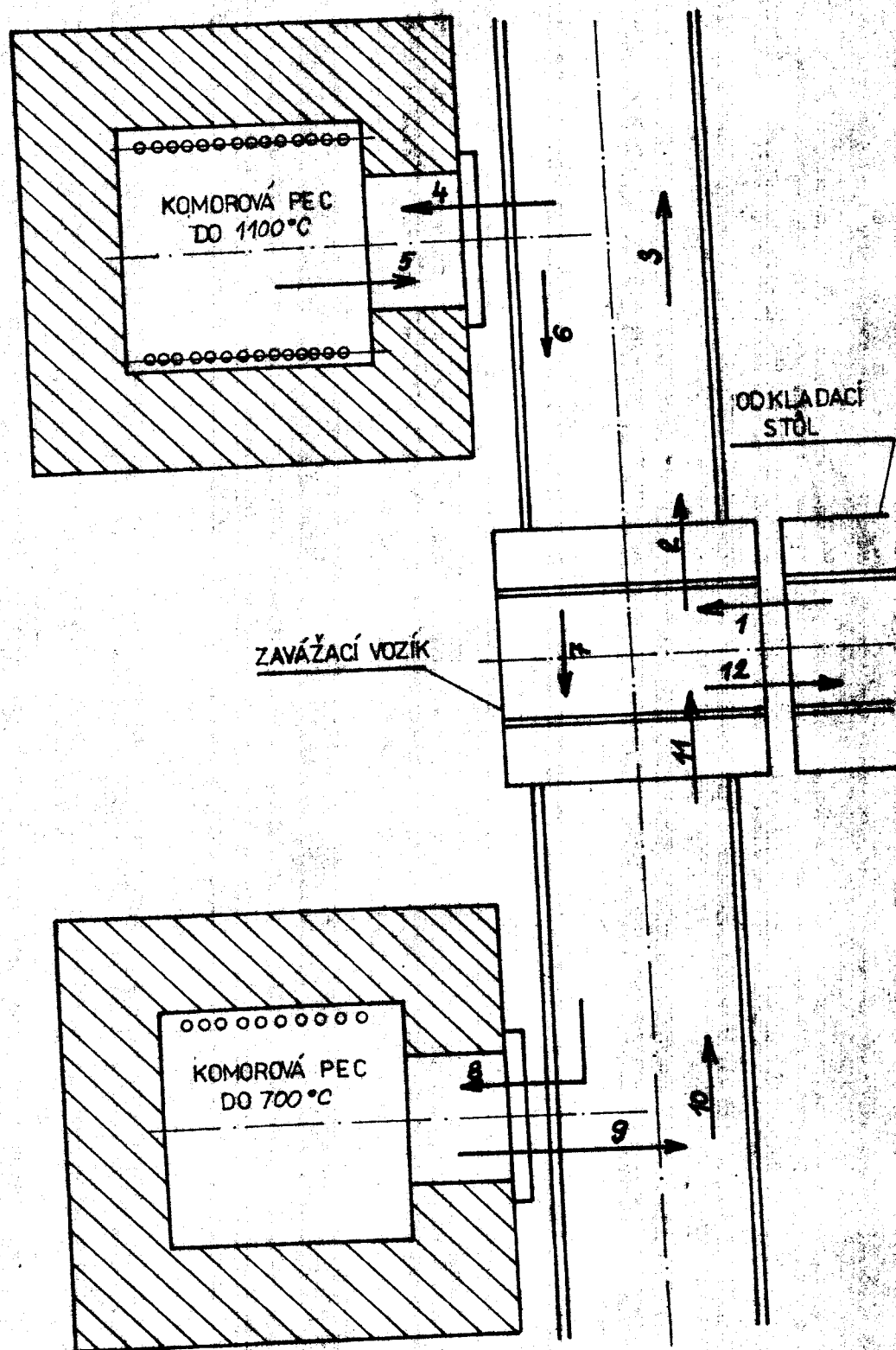
S teplotou chladiaceho média 400°C podľa strednej časti obrázku sa dá ochladzovať rýchlejšie, ale proces vzhľadom na priemer sa musí v určitom čase prerušiť, ak nemá dôjsť k podchladeniu. Žihany materiál sa musí v tomto prípade roztriediť podľa priemerov na skupiny a mimo toho je treba súčiastky rovnomerne zavážať, aby prechod tepla vo všetkých súčiastkach bol rovnaký.

Tieto pravidlá sú ešte výraznejšie pre teplotu chladiaceho prostredia 50°C /v dolnej časti obrázku/. Prakticky sa dá použiť len u drôtu, tyčoviny, rúrok, plechu alebo súčiastok s malými rozdielmi prierezov.

2.4 Použitie zariadení pre izotermické žihanie

Zariadenia pre izotermické žihanie sa vyberá podľa druhu žihaného materiálu a podľa priebežného výkonu zariadenia. Pri hrúbkach steny nad 100 mm sa izotermické žihanie nedá použiť, pretože dochádza k vzniku feritových riadkov /8/.

Pre kusový materiál a žihacie výkony do 500 kg . hod⁻¹ sa používajú komorové pece so zavážacím vozíkom na obr. 3, kde pece stoja vedľa seba. Jedna sa udržiava na austenitickej teplote a druhá na teplote izotermickej premeny. Zavážací vozík obsluhuje obidve pece. Tiež sa dá použiť dvojkomorová pec, vyrábaná fy Degussa, kde jedna komora je ohriata na vysokú teplotu s ochrannou atmosférou proti oduhliččeniu a druhá je bez ochrannej atmosféry pre teplotu izotermickej premeny. Výhodou zariadenia je predkomora, kde je inštalovaný

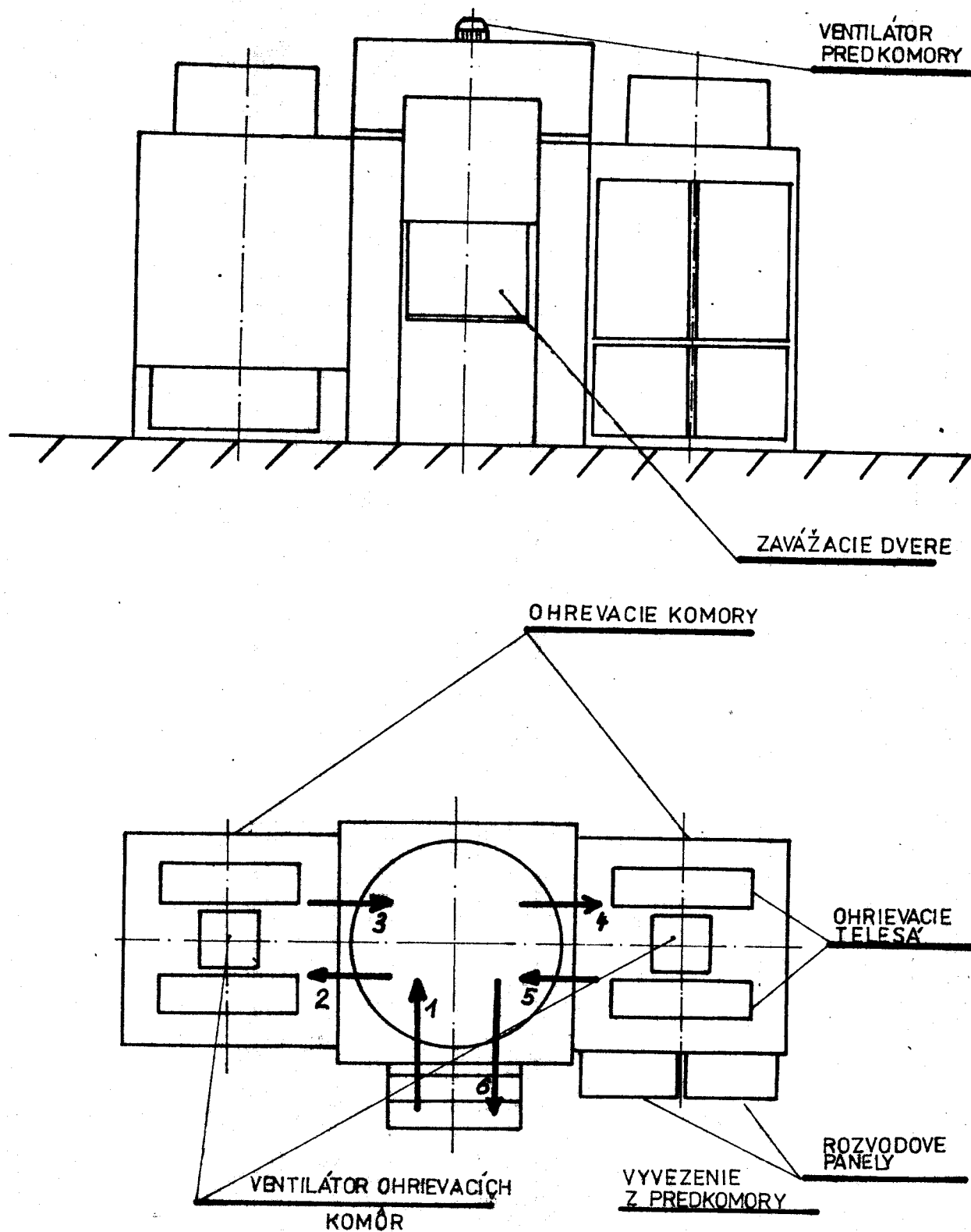


Obr. 8. 3 Izotermické žíhání v dvouh komorových pecích se svažáčním vozíkem

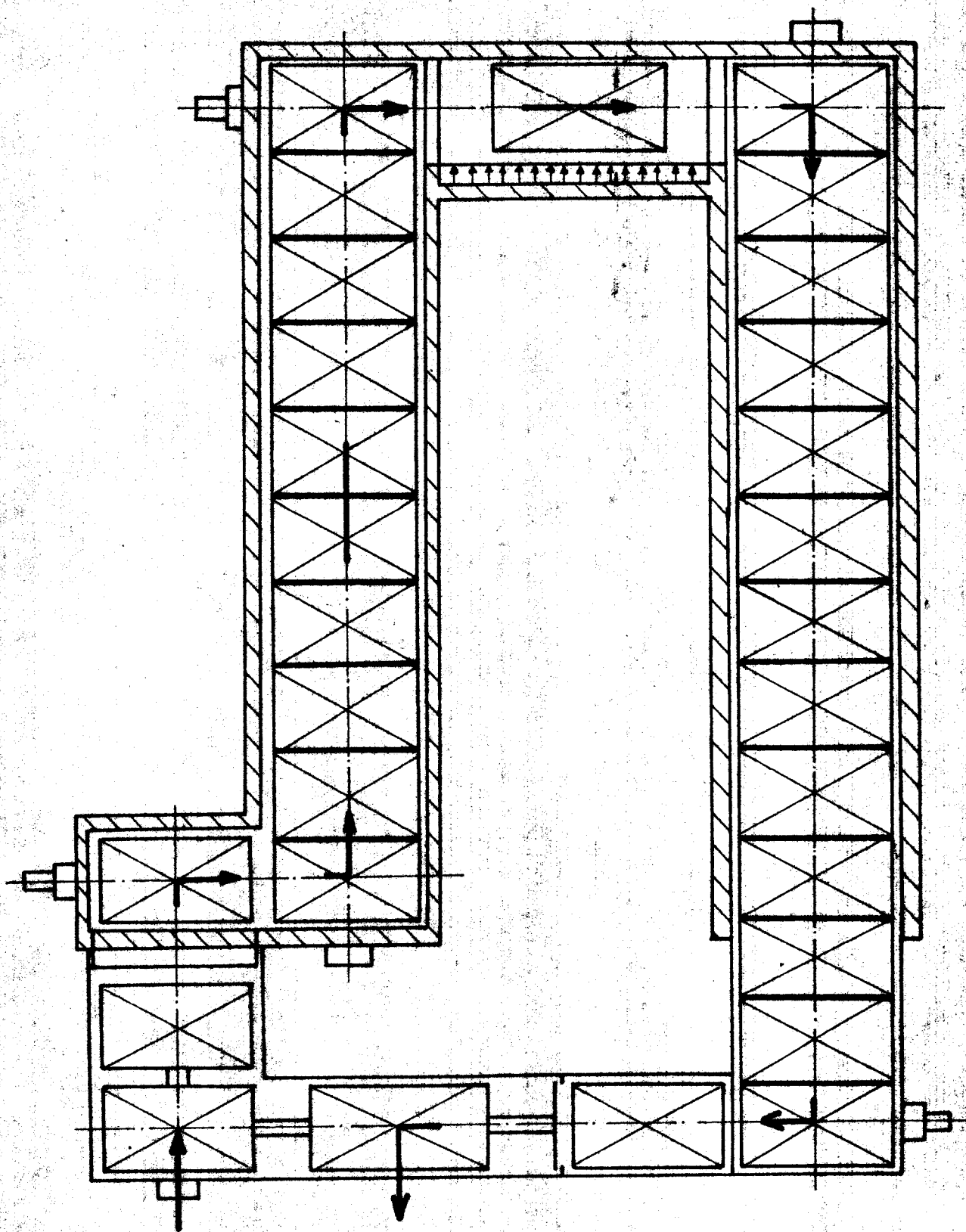
ventilátor a pri tomto spôsobe môže dôjsť k regulácii ochladzovania. Proces prebieha bez prístupu vzduchu a zariadenie umožňuje plnú automatizáciu. Pec je znázornená na obr. 4 /10/.

Pre výkony 500 - 1 500 kg.hod⁻¹ predstavujú najhospodárnejšie zariadenia priebežné linky, akou je narážacia pec na obr. 5 /11/ vyrábaná fy Aichelin alebo narážacia linka vyrobená v n.p. ZEZ Praha, prototyp tohoto zariadenia je uvedený na obr. 6 /9/. Ohrievacia pec je typu NNC 9.4/70-110 s nakladacím stolkom a chladiacim tunelom typu QOB 9.4/10. Zariadenie je stavané pre výkon o hmotnosti 900 kg.hod⁻¹ vyžíhanej vsádzky. Vzhľadom na to, že zariadenie bolo zakúpené do n.p. Považské strojárne pre izotermické žihanie výkovkov prevodoviek, uvádzam k tejto linke popis jednotlivých častí linky.

Linka je zložená z ohrievacej pece, chladiaceho tunela, priebežnej valčekovej pece pre izotermickú výdrž s čistočným ochladzovaním vsádzky. Ohrievacia pec na austenitizačnú teplotu pracuje pri vyhrievacom príkone 398 kW, pri menovitej teplote 1 100°C. Súčiastky sa majú ukladať na rošty, ktorých posuv je regulovateľný v rozmedzí 6 - 8 cm.s⁻¹, pri nožnej dobe zavážania 5 - 15 minút. Chladiaci tunel nadväzuje na výstup ohrievacej pece a slúži k rýchlemu ochladeniu vsádzky na udržiavaciu teplotu. Je vybavený reťazou včítane zapínacieho a vypínacieho zariadenia pre vyberanie dopravných roštov z vyhrievacieho priestoru, zavezenia do chladiacej časti a ďalšieho vyvezenia na valčekovú dráhu, ktorá je spojená rýchloposuvom s udržiavacou pecou. Chladiaca časť tunelu je tepelne izolovaná. Ochladzovanie vsádzky zabezpečujú dva ventilátory typu RNC. Rýchlosť a intenzitu chladenia je možné regulovať vypínaním ventilátora.



Obr. 4 Dvojkomorová pec pre izotermické žihanie



Obr. 5 Isotermické šíňanie v priebežnej linke
fy Aichelein

Priebežná valčeková pec slúži k udržiavaniu vsádzky na teplote izotermickej premeny a je typu VNB 9.4/90-70. Do tejto pece prichádzajú dopravné rošty z podávacieho chladiaceho tunela. Pec má cirkuláciu vzduchu a teploty zabezpečenú pomocou 8 ventilátorov. Regulácia teploty je zaistená pomocou dvojitych termoelektrických teplomerov umiestnených vo vymývateľných vložkách. Na konci pece sa nachádza chladiaca časť, kde sa vsádzka čiastočne ochladí z teploty izotermickej premeny a toto ochladzovanie je regulovateľné.

Podľa uvedeného pokusu sa jedná o zariadenie, kde spôsob ochladzovania je z teploty austenitizácie zabezpečovaný prúdením vzduchu od ventilátorov. Pokiaľ by sa jednalo o ukladanie materiálu len v jednej vrstve stačí použiť ochladenie sálaním, pričom vzdialenosť stredu súčiastok má byť asi 2d, aby čo možno najväčšia časť povrchu sa nachádzala vo vzájomnom sálaní s chladiacimi plochami. Toto riešenie sa vzhľadom na malé využitie zariadenia dá použiť len pri skúškach na vzorkách, lebo k lepšiemu využitiu pece je treba súčiastky ukladať na seba. Pri tomto stohovaní súčiastok je nutné vypracovať šaržovací plán a tento musí obaľuha dodržiavať, pričom k zostaveniu plánu sa musíme riadiť pravidlom, že sa naraz nachádzajú len rovnaké súčiastky, prípadne s minimálnymi rozdielmi v hrúbke steny. Je nutné zabezpečiť pri stohovaní súčiastok určitú teplotu ochladzovacieho vzduchu, aby pri okrajoch nedošlo k prílišnému podchladeniu. Toto sa zabezpečí ak teplota recirkulačného plynu sa pohybuje v rozmedzí teplôt 400 - 550°C /8/.

2.3 Dostupné výsledky izotermického žihania z literatúry

Podľa údajov A. T. Kalinina a A. K. Tichonova uvedených v Metallovedenii i termičeskoj obrabotke metallov [12/], je izotermické žihanie s úspechom zavedené vo VAZ-e, kde umožň-

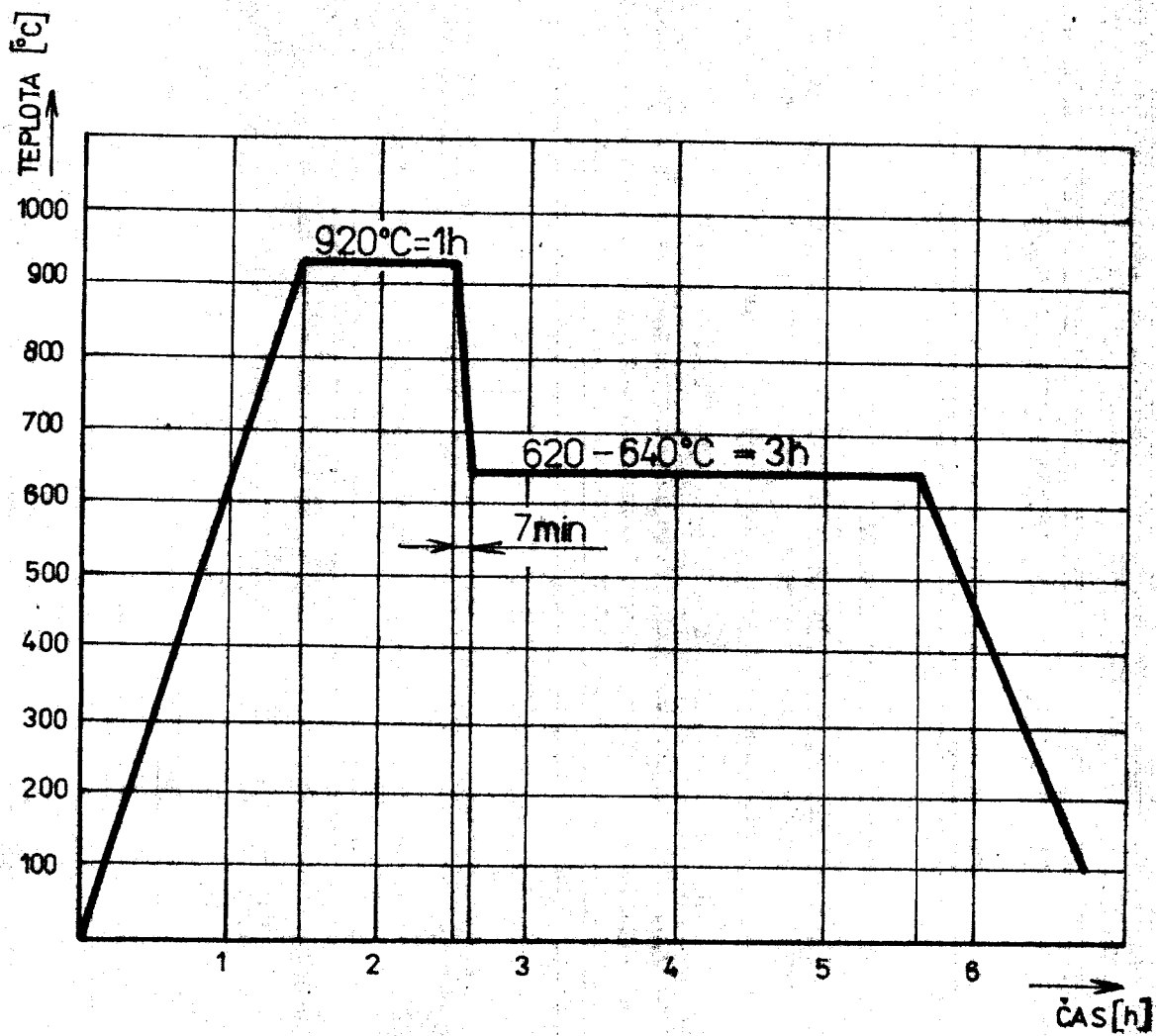
ňuje značne zvýšiť rýchlosti obrábania pri mechanickom opracovaní so súčasným zlepšením čistoty povrchu a zmenšením deformácií pri konečnom tepelnom spracovaní. Diagram teplota - čas je znázornený na obr. 7. Proces sa uskutočňuje v pecných narážacích agregátoch fy Stein et Roubaix /Francúzsko/. Každý agregát pozostáva z ohrievacej pece pre ohrev na teplotu austenitizácie $920 - 940^{\circ}\text{C}$, komory rýchleho ochladenia a pece pre izotermickú výdrž pri $600 - 640^{\circ}\text{C}$. Rýchle ochladenie výkovkov po austenitizácii na teplotu izotermickej výdrže sa prevádza v duchom vyhriatym na 350°C pri jeho intenzívnej cirkulácii v stenách chladiacej komory. Rovnomernosť ohrevu a ochladzovania po priereze vsádzky sa zabezpečuje malou hmotnosťou vsádzky na jeden prípravok, ktorá býva v priemere asi 120 kg. Výkon agregátu je $2\,000\text{ kg}\cdot\text{hod}^{-1}$. Po izotermickom žíhaní sa výkovky čistia otriskávaním. Dosahovaná tvrdosť cementačných ocelí je 187 - 202 HB.

V prospektovom materiáli fy Aichelin - výrobcu pecných zariadení z Rakúska /8/ - sa doporučuje na izotermické žíhanie použiť jednokomorové pece, dvojkomorové pecné zariadenia a linky s narážacou pecou. Po zvážení všetkých ekonomických ukazovateľov je doporučené žíhať /teplota austenitizácie/ pri 950°C . Teplotu izotermickej premeny doporučujú 650°C pre ocele chromnikové, chrommangánové, ktoré odpovedajú našich oceliam 16 231, 16 220, 14 220.

Izotermickým žíhaním ocele 14 220 sa v rámci štátnej výskumnej úlohy Z - 70 - 2 400 zaoberal aj SVÚM Praha, ktorý obširne zhodnotil dostupné podklady od zahraničných autorov a porovnal technológiu rôznych spôsobov žíhania vzhľadom na obrobiteľnosť pri rôznych rýchlostiach $80\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $160\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ /sústruženie/, $30\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ /frézovanie/ a 3 až $15\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ /pretahovanie/.

Zo spôsobov žíhania sa porovnávali nasledovné druhy:

- a/ normalizačné žíhanie
- b/ zušľachtovanie
- c/ vysoké žíhanie
- d/ žíhanie na mätko
- e/ izotermické žíhanie



Obr. 7 Izotermické žíhání výkovkov ve VAZE /ZSSR/

Izotermické žihanie

Pre skúšky boli vyhotovené vzorky podľa obr. 8. Austenitizácia bola prevedená v elektrickej komorovej peci a izotermická výdrž v soľnej peci. Ochladzovanie z teploty izotermickej premeny prebiehalo na voľnom vzduchu.

Teploty austenitizácie: 880°C , 950°C , $1\,000^{\circ}\text{C}$, $1\,050^{\circ}\text{C}$,
 $1\,200^{\circ}\text{C}$.

Doba na teplote austenitizácie: 1 hodina.

Zakladanie priamo na izotermickú teplotu 650°C s výdržou 1 hodina.

Z výsledkov je zaujímavé uviesť, že opätovne do teploty 950°C sa nezmenila veľkosť austenitického zrna a štruktúra bola zložená z feritu a perlitu, ktorý bol jemný, lamelárny.

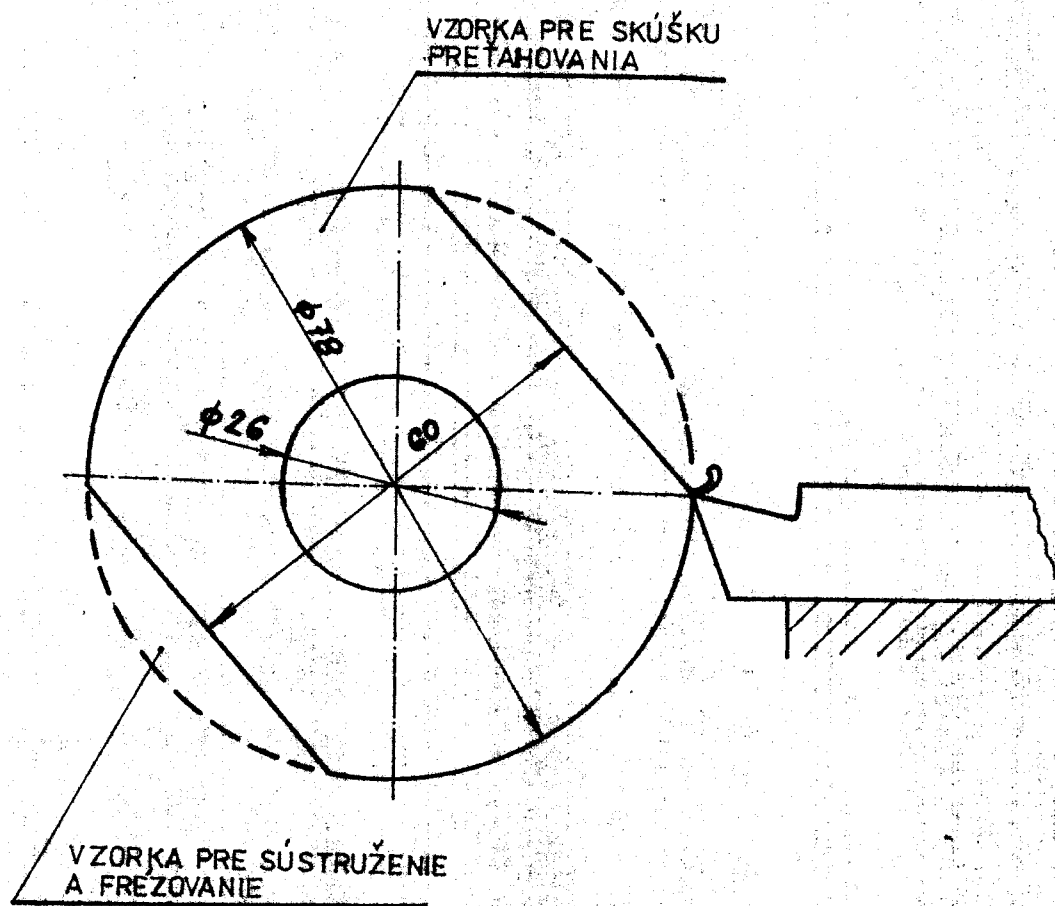
Nad teplotu $1\,000^{\circ}\text{C}$ vznikali zrná veľkosti 5 - 6 podľa ASTM, so zväčšovaním podielu globulárneho perlitu vznikajúceho v dôsledku rozpadu lamelárneho perlitu. Do $1\,050^{\circ}\text{C}$ je veľkosť zrna v štruktúre rozdielna a k vyrovnaniu veľkosti dôjde až po prekročení tejto teploty. Pri ďalších teplotách už nedochádza počas doby výdrže k zmene veľkosti oproti teplote $1\,050^{\circ}\text{C}$. Úplný globulárny perlit sa nedosiahol ani pri $1\,200^{\circ}\text{C}$.

Výdržou 4 hodiny na teplote izotermickej premeny sa nedosiahlo rozdielov tvrdosti a taktiež nemajú vplyv na tvrdosť ani rozdiely v teplote austenitizácie.

Čiastočný vplyv na tvrdosť má teplota izotermickej premeny, kde pri teplotách 600°C bola nameraná tvrdosť 183 HV a pri 700°C nameraná tvrdosť 204 HV.

Metalegrafické hodnotenie ukázalo nasledovné výsledky:

1. Do prahovej teploty hrubnutia austenitického zrna bola pri teplotách izotermickej premeny 600 a 700°C zaznamenaná štruktúra feriticko - perlitická veľkosti zrna 8.8



Obr. 8 Vzorok pre skúšky obrábiteľnosti vo vŕtani

- podľa ASTM. Pri teplote 700°C už bol zaznamenaný výskyt riadkovitosti a čiastočný rozpad lamelárneho perlitu.
2. Pri teplote $1\ 050^{\circ}\text{C}$ sa tvorí hrubozrnaná štruktúra, kde pri teplote izotermickej premeny bol zaznamenaný výskyt feritu vo forme sieťovia a veľkosť sŕn ohraničených sieťovím je rovný č. 2 až 3 podľa ASTM. Pri 700°C sa vyskytovala feriticko - perlitická štruktúra veľmi zhrubnutá, silne riadkovitá, so značným množstvom lístkovej štruktúry.
 3. Predĺženie izotermickej výdrž neprinieslo zmeny v štruktúre.

Ďalšími skúškami sa potvrdilo, že riadkovitosť pri teplote 700°C sa dá odstrániť podchladením z austenitickej teploty na 500°C a izotermickú výdrž vykonávať pri teplote 700°C .

Skúšky ošetrovateľnosti boli vykonávané vo VÚOSO Praha za účelom hodnotenia i ďalších vlastností, ako je tvorenie nálepov na brite sústružníckeho noža /napodobenie preťahovania/. Výsledky získané z týchto skúšok sú nasledovné:

1. Poradie použitých spôsobov tepelného spracovania hodnotených posúdkovým sústružením pri reznej rýchlosti $80 - 160\ \text{m.min}^{-1}$ s doštičkou S2, posuve $s = 0,313\ \text{mm.ot}^{-1}$ hĺbke rezu $t = 2\ \text{mm}$ a kritériu trvanlivosti - opotrebenie chrbta noža $a_h = 0,2\ \text{mm}$, je nasledovné:
 - a/ 1 hodina na $1\ 200^{\circ}\text{C}$
ochladenie na 600°C
izotermická výdrž 2 hodiny na 600°C
ochladnutie na vzduchu
 - b/ 1 hodina na 900°C
vybratie na vzduch - normalizácia
 - c/ 1 hodina na 900°C
ochladnutie v peci
2. Ďalším kritériom tepelného spracovania bolo hodnotenie frézovania ozubenia na sústružených vzorkách pri parametroch:

$v = 30 \text{ m.min}^{-1}$ - odvalovacia fréza

$s = 1,32 \text{ mm.ot}^{-1}$

frézovanie ozubeného kola s modulom $m = 3$

počet zubov $z = 28$

šírka $b = 25 \text{ mm}$

Ø odvalovacej frézy 80 mm

Obrobiteľnosť bola hodnotená opotrebením chrbta a_h frézy a drsnosťou obrábaného povrchu, po 25 a 50 kusoch, charakterizovaná priemernou hodnotou R_a .

Poradie najvhodnejších spôsobov tepelného spracovania je nasledovné:

- a/ 1 200°C ochladzovať v peci - vysoké žihanie
- b/ 900°C ochladzovať v peci - vysoké žihanie
- c/ 1 050°C vybrať na vzduch - normalizačné žihanie
- d/ 1 050°C ochladzovať v peci - vysoké žihanie
- e/ 1 200°C podchladit' na vzduchu a izotermická výdrž pri 600°C.

Výsledné hodnotenie tohoto spôsobu obrábania je v tom, že pri frézovaní ozubení nie je možné dosiahnuť nízke opotrebenie nástrojov a zabezpečiť najlepšiu kvalitu povrchu. Pri výrobe je nutné voliť kompromis a používať drsnosť po frézovaní 3,2 až 6,4 kde nasledujú ďalšie ševingovacie operácie pred konečným tepelným spracovaním alebo brúsne operácie po tepelnom spracovaní.

3. Posledným hodnotením metód tepelného spracovania je sústruženie vzoriek podľa obr. 8 pri rýchlostiach 3 až 15 m.min^{-1} , čo je metóda blízka pretahovaniu. Hodnotením bolo množstvo vzniknutých nálepor na ostí nástroja pri súčasnom sledovaní drsnosti povrchu. Sledovanie množstva nálepor sa zhodovalo so zmenou drsnosti povrchu a výsledok podľa vhodnosti tepelného spracovania je nasledovný:

a/ 1 hodina na 1 200°C

vybratie na vzduch

izotermická výdrž na teplote 600°C počas dvoch hodín

- b/ 1 hodina na 1 200°C
ochladenie v peci
- c/ 1 hodina na 1 050°C
preloženie do soli 650°C na dve hodiny
- d/ najhoršie sú vzorky sušľachtené a žíhané na mätko.

Podľa autorov je poradie vhodnosti postupov tepelného spracovania pre všetky druhy obrábania a hodnotením podľa kvality povrchu nasledovné:

1. 1 hodina na 1 200°C s chladnutím na vzduchu
a izotermickou výdržou 600°C/1 hodina
2. 1 hodina na 1 050°C s ochladnutím na vzduchu
a izotermickou výdržou 700°C/1 hodina
3. 1 hodina na 1 050°C s chladnutím na vzduchu
a izotermickou výdržou 600°C/1 hodina.

Ak by sa súčiastky vyrábané z cementačných ocelí deli-
li na použité operácie, tak je doporučené používať nasle-
dovné tepelné spracovanie:

1. Pre rezné rýchlosti 80 m.min⁻¹ použiť normalizáciu ale-
bo žíhanie s chladnutím v peci.
2. Pre rezné rýchlosti 180 m.min⁻¹ používať normalizáciu
alebo sušľachtenie.
3. Pre obidve rezné rýchlosti používať normalizáciu vysoké
žíhanie s chladnutím v peci alebo izotermické žíhanie
s austenitizáciou pri 1 200°C a teplotou izotermickej pre-
meny 600°C.
4. Pre frézovanie pri rýchlostiach 30 m.min⁻¹ použiť žíhanie
s chladnutím v peci alebo normalizáciu.
Pokiaľ sa vyžaduje kvalita povrchu, použiť sušľachtenie.
5. Pre pretahovanie, kde je rozhodujúca drsnosť povrchu, pri
rýchlostiach 3 až 15 m.min⁻¹, použiť izotermické žíhanie
a vysoké žíhanie s hrubozrnnými štruktúrami.

Z uvedených dostupných údajov vychádza, že problematika
voľby vhodného tepelného spracovania pre zvýšenie životnosti

náradia pri dosiahnutí požadovanej kvality povrchu nie je jednoduchá a podnik zaoberajúci sa výrobou súčiastok z cementačných ocelí je nútený sa ňou dôsledne zapodívať, pričom musí brať do úvahy i ekonomické ukazovatele, ktoré so zvyšujúcou sa teplotou austenitizácie sú nepriaznivejšie.

V hromadnej výrobe predpokladám rozdeliť súčiastky podľa spôsobov obrábania a potom zabezpečiť nasledovné operácie tepelného spracovania pre zlepšenie obrobitelnosti:

1. Normalizačné žihanie - ak u súčiastky prevládajú sústružnícke operácie.
2. Zušľachtovanie - ak u súčiastky prevládajú frézarské operácie.
3. Izotermické žihanie - ak je zaradená operácia pretahovania, prípadne iná obrábacia operácia konečná pred tepelným spracovaním.

3. PRAKTICKÉ SKÚŠKY NA SKÚŠOBNÝCH VZORKÁCH

3.1 Výber skúšobných vzoriek pre sledovanie štruktúry a obrobitelnosti

Skúšobné vzorky pre izotermické žihanie a ďalšie druhy žihania, ktoré sa majú použiť pre vyhodnotenie štruktúry, tvrdosti ako i pre skúšky obrobitelnosti, sa musia v prvom rade navrhovať takého tvaru, aby vyhovovali pre skúšky obrobitelnosti, ale priemer /hrúbka/ musí zodpovedať diagramu na obr. 2, aby mohlo dôjsť k rýchlemu ochladeniu s austenitizačnej teploty bez vylúčenia feritu vo forme riadkov, alebo aby nevznikal bainit, prípadne martenzit.

Predpokladá sa skúšky obrobitelnosti prevádzkať skrátené, aby sa v prípade priaznivých výsledkov mohli použiť pre hodnotenie kvality izotermického žihania v podmienkach prevádzky. V tomto prípade a po zvážení všetkých ukazovateľov volím rozmery vzoriek:

Ø 80 x 50 mm.

Po prevedení tepelného spracovania som odobral časť vzorkov pre skúšky štruktúry a meranie tvrdosti. Zvyšok som použil pre skúšky obrobitelnosti.

3.2 Návrh skúšok tepelného spracovania

Z doposiaľ uvedených výsledkov z praktickej prevádzky zariadení na izotermické žihanie v sovietskom závode na výrobu automobilov VAZ ako i odporúčaní výrobcu pecných zariadení Aichelin z Rakúska a prihliadnutím k výsledkom skúšok v SVÚM a VÚOSO Praha, je nutné zaoberať sa nasledovnými spôsobmi žihania:

1. spôsob

- teplota austenitizácie 950°C/1 hodina
- ochladenie na voľnom vzduchu na 400°C
- založenie do pece na 650°C
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina

- ochladenie na voľnom vzduchu

2. spôsob

- teplota austenitizácie 950°C/1 hodina
- ochladenie na voľnom vzduchu na 600°C
- založenie do pece na 600°C
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- ochladnutie na voľnom vzduchu

3. spôsob

- teplota austenitizácie 950°C/1 hodina
- priame preloženie do pece na 650°C
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- ochladnutie na voľnom vzduchu

4. spôsob

- teplota austenitizácie 1 050 °C/ 1 hodina
- ochladenie na voľnom vzduchu 10 minút - teplota min. 600°C
- založenie do pece 650°C
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- ochladnutie na voľnom vzduchu

5. spôsob

- teplota austenitizácie 1 200°C/1 hodina
- ochladenie na voľnom vzduchu 10 minút - teplota min. 600°C
- založenie do pece na 650°C
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- ochladnutie na voľnom vzduchu

6. spôsob

- teplota austenitizácie 1 200°C/1 hodina
- ochladzovanie prúdom vzduchu 10 minút
- založenie do pece na 650°C
- výdrž v peci 650°C - 1 hodina
- ochladenie na voľnom vzduchu

Vzorky spracúvať v komorovej peci s ochladením na vzduchu.

Vzorky sa nebudú zabezpečovať proti oxidácii ani proti oduhličeniu povrchu, nakoľko v technologickom postupe spracovania súčiastok sa počíta s dostatočne veľkým prí-
davkom na opracovanie. Pred vlastnými skúškami odsústru-
žíme z čela 1 mm. Na vzorkách vykonávame nasledovné šetre-
nia:

- a/ chemický rozbor - vzorky sú z rovnakej tavby
- b/ skúšky tvrdosti, hodnotenie pred a po tepelnom spraco-
vaní
- c/ hodnotenie mikroštruktúry v priečnom i pozdĺžnom reze
- d/ skrátené skúšky obrobiteľnosti

3.3 Návrh metodiky skúšok obrobiteľnosti

Pod pojmom obrobiteľnosť materiálov rozumieme súhrn vlastností obrábaného materiálu a to ako mechanických, tak fyzikálnych, chemických a metalografických v závislosti na kvalitatívnych a ekonomických výsledkov procesu rezania. Dôležitý je i spôsob obrábania, použitý druh nástrojového materiálu, tuhosť stroja a geometria nástroja /2/.

Dôležitým faktorom obrobiteľnosti je hlavne jej rozp-
tyl, ktorý je jedným z limitujúcich faktorov hospodárnosti pružného systému. Široké pásmo rozptylu vedie k zbytočnému zmäkčovaniu rezaých podmienok a tým i zníženiu hospodárnosti. Rozptyl obrobiteľnosti je podobne ako obrobiteľnosť funkciou štruktúrne mechanických vlastností obrábaného materiálu a technologických podmienok rezného procesu /4/.

Metódy pre hodnotenie obrobiteľnosti možno deliť na:

- a/ Kinetická obrobiteľnosť
- b/ dynamická obrobiteľnosť
- c/ podľa deformácie a tvaru triesky
- d/ podľa drsnosti povrchu

Z týchto druhov, ktoré možno považovať za základné, sú pre hodnotenie tepelného spracovania najzaujímavejšie skúšky krátkodobé. Zameriavame sa najmä na kinetickú skúšku obrobitelnosti, ktorú navrhujeme realizovať podľa nasledujúceho postupu:

Kinetická obrobitelnosť sa určuje z hľadiska reznej rýchlosti pre nože z rýchloreznej ocele metódou čelného sústruženia.

Metóda spočíva v sústružení čela obrobku od stredu k okraju. Nôž sa otupí na určitom dostatočne veľkom polomere R_n . Pri rôznych otáčkach sa určia polomery R_n a výsledky sa vynesú do diagramu $R_n - n$ / v logaritmických súradniciach/. Zo sklonu získanej priamky sa určí exponent pre závislosť $T - v$. Jeho výpočet je nasledovný:

$$m = \frac{\operatorname{tg} \alpha + 1}{\operatorname{tg} \alpha - 1} \quad (8)$$

Konštantu závislosti $T - v$ určíme zo vzorca:

$$c_v = v_n \sqrt[m]{\frac{R_n}{s.n. (m+1)}} \quad (9)$$

Aby sa získali spoľahlivé výsledky, musí byť rozsah otáčok veľký:

$$\frac{R_{\max}}{R_{\min}} = 8 \text{ až } 10 \quad (10)$$

Zo skúšok možno napísať závislosť trvanlivosti od reznej rýchlosti:

$$v \cdot T^{\frac{1}{m}} = c_v \quad (11)$$

Relatívna kinetická obrobitelnosť materiálu potom bude:

$$K_v = \frac{v_T}{v_{Te}} = \frac{c_v}{c_{ve}} \cdot T^{1/me - 1/m} \quad (12)$$

Index "e" znamená hodnoty etalonového materiálu. Pokiaľ by exponenty "m" boli rovnaké pre etalonový a skúšaný materiál, tak relatívna kinetická obrábiteľnosť bude:

$$K_v = \frac{c_v}{c_{ve}} \quad (13)$$

Táto metóda nie je vhodná pre nože s doštičkami zo spekaných karbidov alebo z keramického rezného materiálu, lebo otupenie sa najvýraznejšie prejaví u rýchlořeznej ocele, prípadne iných nástrojových ocelí. Za kritérium kinetickej obrábiteľnosti sa berie v_{15} , pri kritériu otupenia chrbita = 0,3 mm, alebo pri vyšších rezných rýchlostiach sa použije v_4 pri = 0,2 mm. Potom relatívna kinetická obrábiteľnosť pri zvolenej trvanlivosti je daná pomerom rezných rýchlostí skúšaného a etalonového materiálu /2/.

$$K_v = \frac{v_T}{v_{Te}} \quad (14)$$

3.4 Skúšky tepelného spracovania

Príprava skúšobných vzoriek spočívala v narezaní z tyče $\varnothing 80 \times 2500$ na rozmer $\varnothing 80 \times 55$ na strojnej píle a zarovnanie čela na sústruhu na rozmer $\varnothing 80 \times 50$. Vzorky som naviazal na drôt a pre ohrev som použil dvojkomorovú pec: typ KRG 6/5, ktorá je vhodná do teplôt 1350°C, výrobca n.p. ZEZ Praha.

V prípade pomalého chladnutia vsádzka chladla na voľnom vzduchu, pri rýchlejšom chladnutí som použil stlačený vzduch z centrálného rozvodu. Pred tepelným spracovaním bol vykonaný chemický rozbor materiálu, metalografické šetrenie a tvrdosť základného materiálu.

3.4.1 Chemický rozbor

Pri skúškach chemického zloženia boli vykonané rozbor-
ry prvkov nachádzajúcich sa v materiále 16 231. C, P a S
boli zistené na základe spaľovacej analytickej metódy a sú
nasledovné:

C = 0,21 %

P = 0,013 %

S = 0,017 %

Ostatné prvky /Mn, Si, Cr, Ni/ boli zistené kvantometricky
a obsahy sú nasledovné:

Mn = 0,86 %

Si = 0,33 %

Cr = 0,97 %

Ni = 1,53 %

Al = 0,03 %

3.4.2 Metalografické šetrenie základného materiálu

Štruktúra je tvorená feritickým zrnom a karbidmi vylú-
čenými po priereze zrn. Karbidy sú jemné, ich rozloženie po
jednotlivých zrnách je nerovnomerné - výskyt zrn s hustým
a riedkym rozložením karbidov. Materiál je bez výskytu ne-
čistôt, s oduhliččením povrchu do hĺbky 0,15 mm.

3.4.3 Tvrdosť základného materiálu

Tvrdosť základného materiálu som určoval s troch meraní
a priemerná hodnota je HB = 165. Meranie som prevádzal Bri-
nellom pri zaťažení 30 000 N guľičkou priemeru $\varnothing$ 10 mm.

3.4.4 Tepelné spracovanie

Tepelné spracovanie som previedol podľa návrhu:

1. spôsob

- ohriatie pece na teplotu 950°C - nábeh za 4,5 hodiny
- nábeh na teplotu po založení vsádzky - 4 min.
- výdrž na teplote 950°C - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu do teploty 400°C - 12 min.
/kontrola termokriedou pre 400°C /
- založenie do pece na teplotu 650°C
- nábeh pece po založení vsádzky 3 min.
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu

2. spôsob

- založenie vsádzky na teplotu 950°C
- nábeh na teplotu - 4 min.
- výdrž na teplote 950°C - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu do teploty 600°C - 7 min.
/kontrola termokriedou pre 600°C /
- založenie do pece na teplotu 650°C
- nábeh pece po založení vsádzky 2 min.
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu

3. spôsob

- založenie vsádzky na teplotu 950°C
- nábeh na teplotu - 4 min.
- výdrž na teplote 950°C - 1 hodina
- preloženie do pece na 650°C /bez chladnutia/
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu

4. spôsob

- zvýšenie teploty pece na $1\ 050^{\circ}\text{C}$
- založenie vsádzky a nábeh na teplotu - 7 min.
- výdrž na teplote $1\ 050^{\circ}\text{C}$ - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu - 10 min. - teplota vzorku 650°C /kontrola termokriedou/

- založenie do pece na 650°C
- nábeh pece po založení vsádzky 2 min.
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu

5. spôsob

- zvýšenie teploty pece na $1\ 200^{\circ}\text{C}$
- založenie vsádzky a nábeh na teplotu - 12 min.
- výdrž na teplote $1\ 200^{\circ}\text{C}$ - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu - 10 min. - teplota vzorku 700°C /kontrola termokriedou/
- založenie do pece na 650°C
- nábeh pece po založení vsádzky 2 min.
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu

6. spôsob

- založenie vsádzky na teplotu $1\ 200^{\circ}\text{C}$
- nábeh na teplotu po založení vsádzky - 12 min.
- výdrž na teplote $1\ 200^{\circ}\text{C}$ - 1 hodina
- ochladzovanie prúdom stlačeného vzduchu zo vzdialenosti cca 0,6 m po dobu 10 minút - teplota vzorku 600°C /kontrola termokriedou/
- založenie do pece na 650°C
- nábeh pece po založení vsádzky 2 min.
- výdrž na teplote 650°C - 1 hodina
- chladnutie na voľnom vzduchu

3.4.5 Tvrdosti tepelne spracovaných vzoriek

Medzi jednotlivými spôsobmi tepelného spracovania nie sú, čo sa týka tvrdosti, výrazné rozdiely. Najvyššie tvrdosti, merané HB guľičkou $\varnothing 10\text{ mm}$ a sťažením silou 30 000 N, boli dosiahnuté pri izotermickom žíhaní podľa spôsobu 3. Hodnoty sú v rozmedzí 221 - 231 HB. Tvrdosti všetkých žíhaných vzoriek sú uvedené v tab. 1. Každý vzorek som meral 3x.

Druh tepel. spracovania	Tvrdost /HB/	Popis štruktúry	Vel. zrna ČSN
1	198 207 201	jemný lamelárny perlit	10
2	190 196 175	jemný lamelárny perlit	9
3	225 231 221	štruktúra heterogénna - perlit vo forme hrubých lamiel	6-8
4	190 190 185	hrubá feriticko-perlitická štruktúra, výskyt globu- lárneho perlitu	5-8
5	201 212 211	Widmānstedtttenova štruktú- ra, výrazná ihlicovitost' feritu	3
6	184 190 187	Heterogénna feriticko- -perlitická lamelárna štruktúra	3

Tab. 1

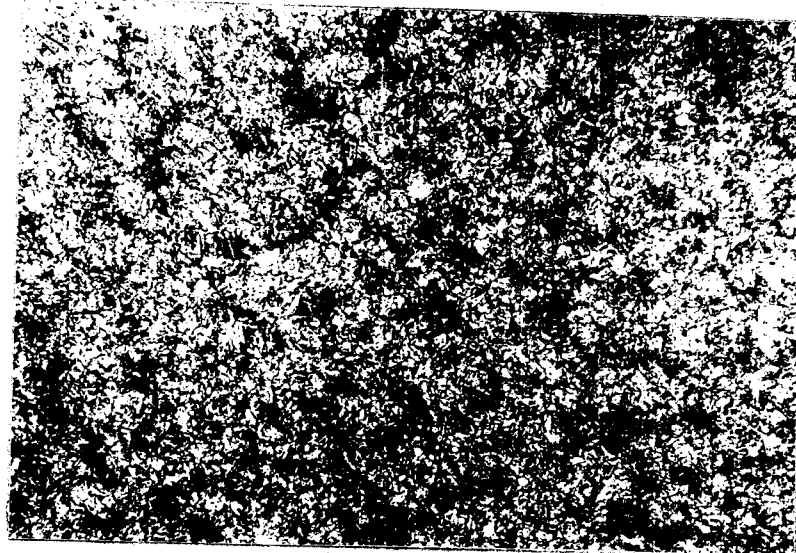
3.4.6 Štruktúra tepelne spracovaných vzoriek

Pri prvom spôsobe je štruktúra veľmi jemná, homogénna, nekovové vlnstky sú zanedbateľné. Štruktúra je tvorená zrnami feritu a perlitu s veľkosťou zrna rovnajúcou sa etalónu č. 10 podľa ČSN 42 0463. Pôvodné austenitické zrno nie je rozlišiteľné. Štruktúra v priečnom reze je zobrazená pri 100 - násobnom zväčšení na obr. 9 a a pri 500 - násobnom zväčšení na obr. 9 b.

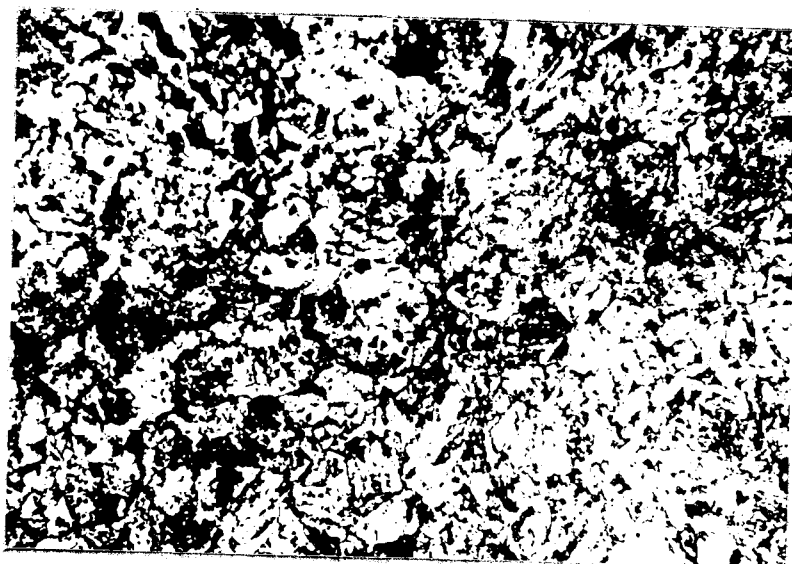
Štruktúra v pozdĺžnom reze je zobrazená pri 100 - násobnom zväčšení na obr. 9 c a pri 500 - násobnom zväčšení na obr. 9 d. Výrazná riadkovitosť viditeľná v štruktúre vzniká pri výrobe tyčí. Nie je spôsobená tepelným spracovaním a toto ju ani neovplyvňuje. Tento jav sa vyskytuje pri všetkých skúšaných druhoch tepelného spracovania a ďalej sa s ním nebudem zaoberať.

Druhý spôsob sa od prvého v štruktúre líši v tom, že zrno má veľkosť podľa etalónu č. 9. Je to spôsobené pomalším chladením z austenitizačnej teploty a tým i výskytom menšieho počtu zárodkov, okolo ktorých sa z austenitu vylučuje ferit a perlit. Perlit je vylúčený vo forme jemných lamiel. Štruktúra v priečnom reze pri 100 a 500 - násobnom zväčšení je na obr. 10 a, b. Štruktúra v pozdĺžnom reze je na obr. 10 c, d.

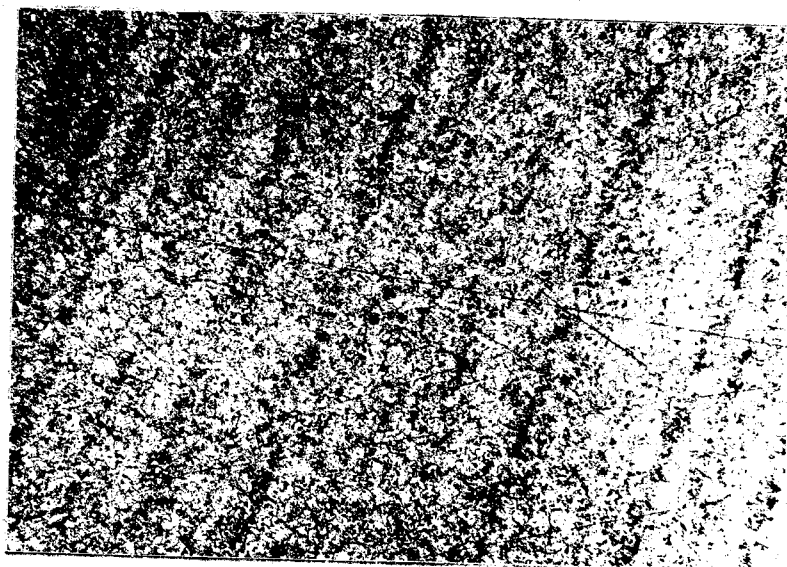
Pri treťom spôsobe je štruktúra tvorená nerovnomerne zhrubnutým zrnom. Na výbruse sú vedľa seba zrna o veľkosti podľa etalónu č. 6 a etalónu č. 8. Perlit je vylúčený vo forme veľkých lamiel. Vzniklá štruktúra je výrazne heterogénna, badať riadkovitosť, striedanie mäkkých /feritických/ a tvrdších /perlitických/ miest. Štruktúra v priečnom reze pri 100 a 500 - násobnom zväčšení je na obr. 11 a, b. Štruktúra v pozdĺžnom reze je na obr. 11 c, d.



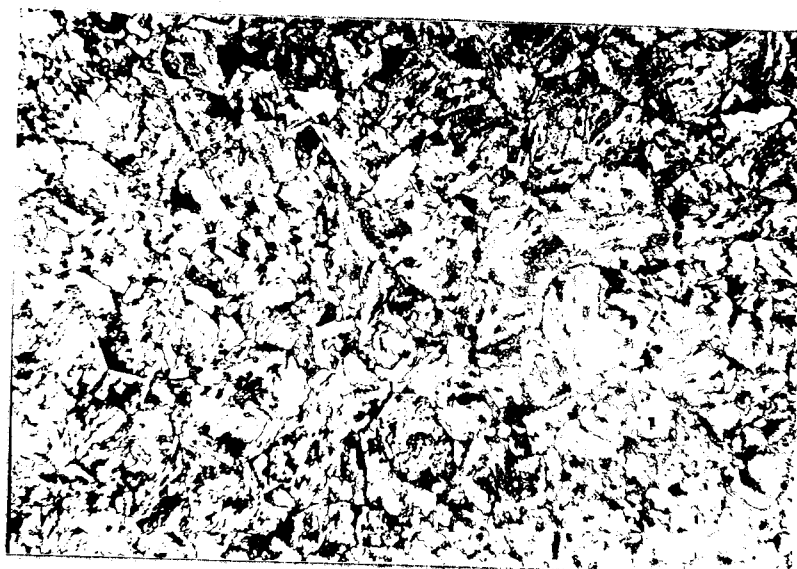
Obr. 9 a Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 1 pri zväčšení 100 x



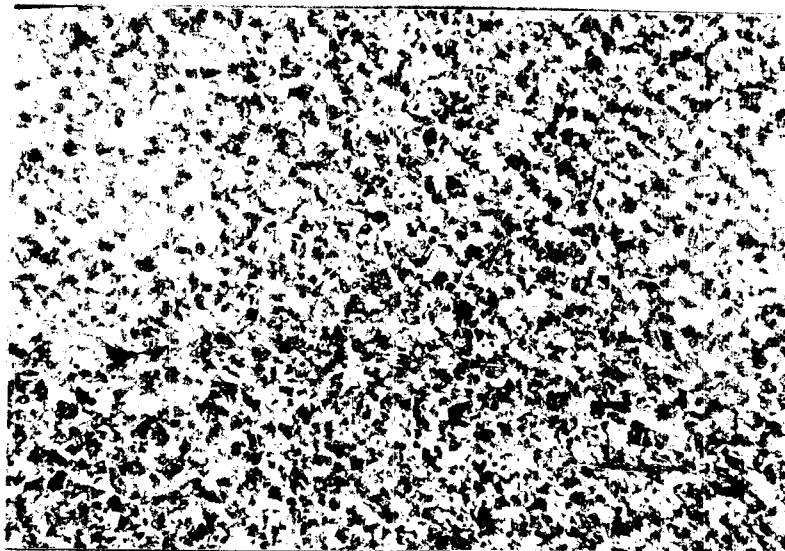
Obr. 9 b Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 1 pri zväčšení 500 x



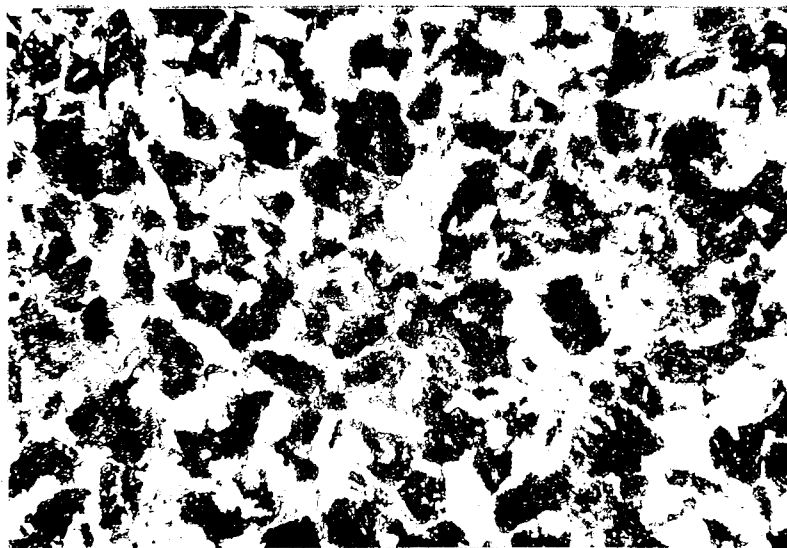
Obr. 9 c Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 1 pri zväčšení 100 x



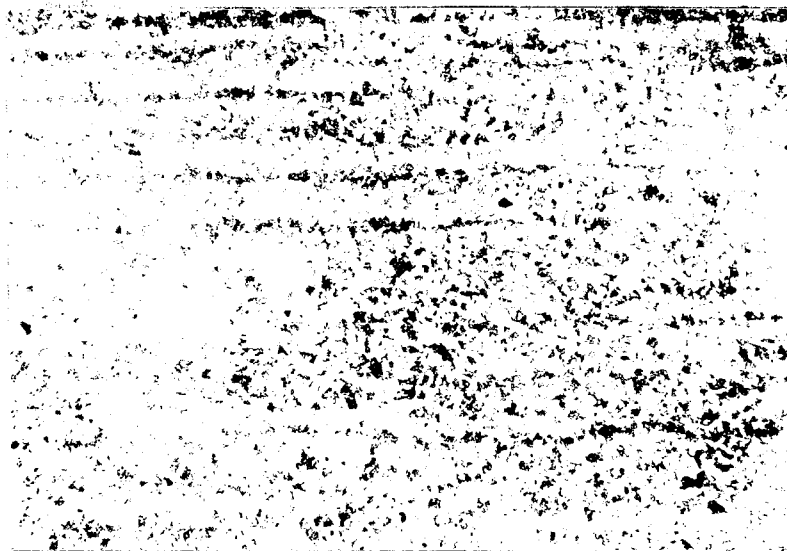
Obr. 9 d Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 1 pri zväčšení 500 x



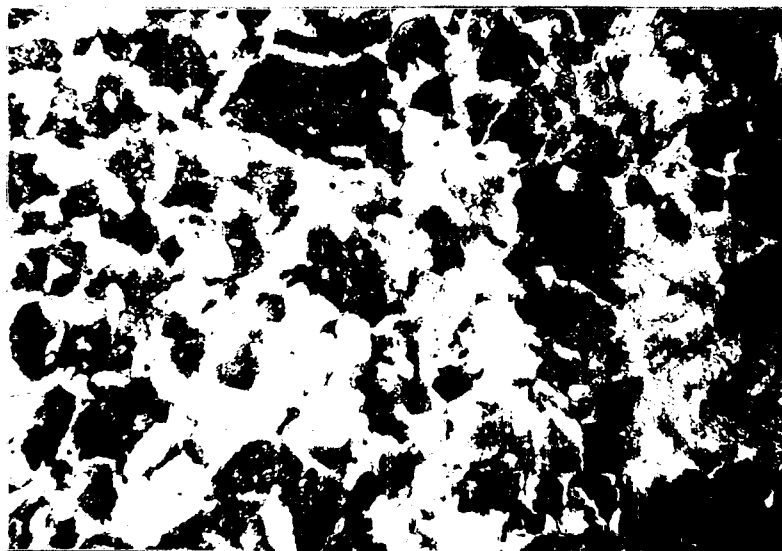
Obr. 10 a Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 2 pri zväčšení 100 x



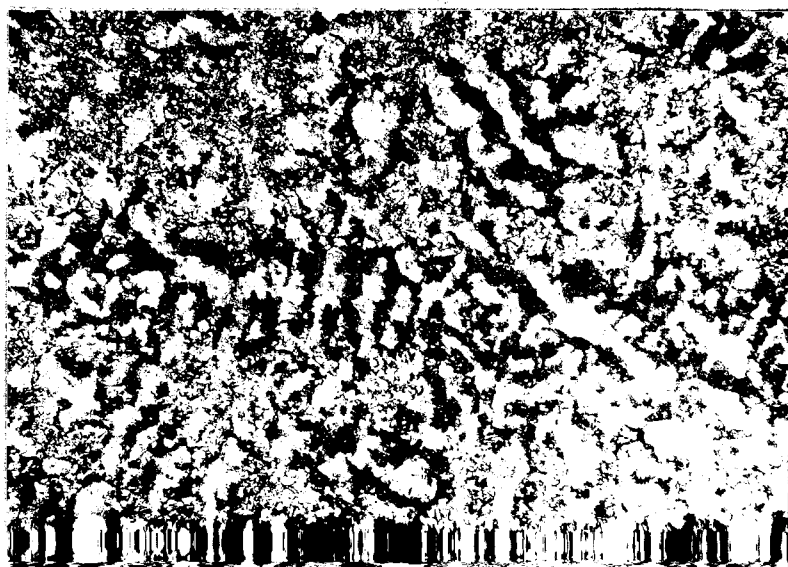
Obr. 10 b Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 2 pri zväčšení 500 x



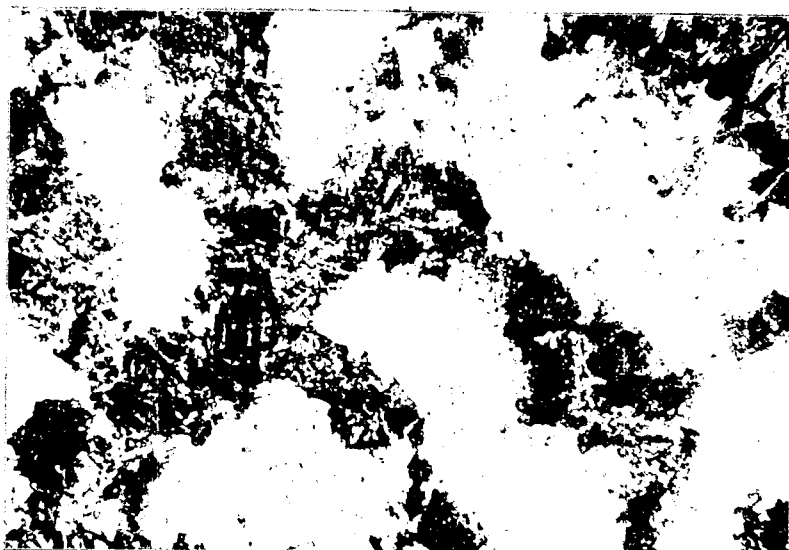
Obr. 10 c Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 2 pri zväčšení 100 x



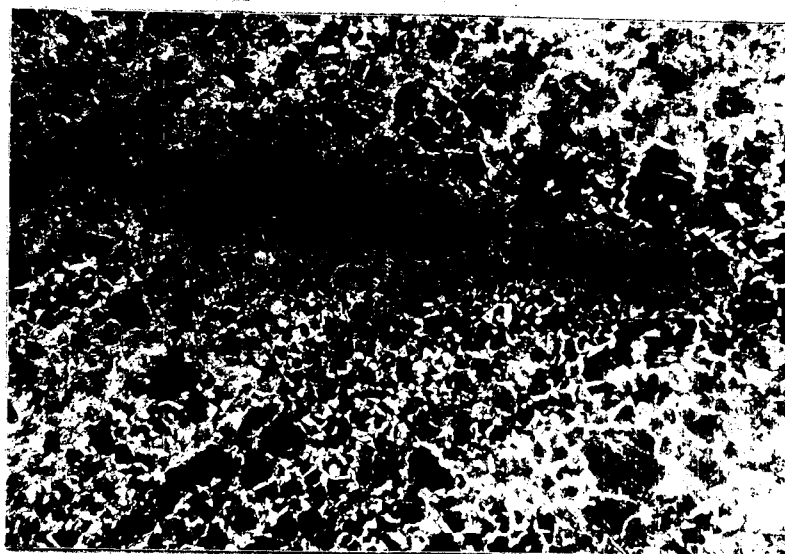
Obr. 10 d Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 2 pri zväčšení 500 x



Obr. 11 a Štruktúra izotermicky žihanej vzorky
podľa spôsobu 3 pri zväčšení 100 x



Obr. 11 b Štruktúra izotermicky žihanej vzorky



Obr. 11 c Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 3 pri zväčšení 100 x



Pri štvrtom spôsobe bola austenitizačná teplota nad prahom hrubnutia zrna ale vzhľadom^{k/}prítomnosti Al zrno nehrublo rovnomerne. Na výbruse sú vedľa seba zrná o veľkosti podľa etalónu č. 5 a etalónu č. 8. Výskyt globulárneho perlitu potvrdzuje správnosť realizácie navrhnutého spôsobu tepelného spracovania, ktoré sa dá hodnotiť prakticky ako varianta mäkkého žihania. Pri tom lamelárny perlit však ukazuje, že pokiaľ by mala byť dosiahnutá globulárna perlitická štruktúra, bolo by nutné žihanie pri teplote 1 050°C buď predĺžiť alebo uvedenú teplotu zvýšiť. Štruktúra v priečnom reze pri 100 a 500 - násobnom zväčšení je na obr. 12 a, b. Štruktúra v pozdĺžnom reze je na obr. 12 c, d.

Austenitizáciou pri vysokej teplote podľa piateho spôsobu, došlo k vzniku hrubozrnej štruktúry. Taktiež došlo k vylúčeniu voľnej feritickej fázy po hraniciach pôvodných a austenitických zŕn. Hodnotením z hľadiska vlastnej akosti materiálu nemôžem toto tepelné spracovanie doporučiť, lebo prispieva k nehomogénosti materiálu a bezpochyby sa prejaví v znížených mechanických hodnotách. I ochladenie z hľadiska materiálu zhoršuje jeho akosť, lebo bolo dosiahnuté podmienok vzniku Widmanstättenovej štruktúry, teda výraznej ihlicovitosti feritu, ktorá vedie k zníženiu mechanických vlastností. Štruktúra v priečnom reze pri 100 a 500 - násobnom zväčšení je na obr. 13 a, b. Štruktúra v pozdĺžnom reze je na obr. 13 c, d.

Pri šiestom spôsobe austenitizáciou pri vysokej teplote podobne ako v predchádzajúcom prípade došlo k zhrubnutiu zrna i k zvýšeniu heterogenity v štruktúre, čo môžeme považovať za nevyhovujúci stav. Po prevedení perlitickej premeny na 650°C - 1 hodina sa však už nevytvoril stav ako v predchádzajúcom prípade, to znamená podmienky vzniku Widmanstättenovej štruktúry. Hodnotením iba z tohoto hľadiska je tento stav priaznivejší. Zhrubnutie materiálu je však takého rozsahu, že tento spôsob tepelného spracovania nemôžem doporučiť.

Štruktúra v priečnom reze pri 100 a 500 - násobnom zväčšení je na obr. 14 a, b. Štruktúra v pozdĺžnom reze je na obr. 14 c, d.

3.5 Skúšky obrobiteľnosti

Čelná skúška obrobiteľnosti bola vzhľadom na priemer $\varnothing 80$ mm skrátená s použitím vysokých rezných rýchlostí, aby na tomto priemere došlo k otupeniu ostria nástroja. Kritérium otupenia bolo zbortenie reznej hrany.

Skúšky sústruženia boli vykonané na stroji SV18RD. Je to sústruh s plynulou zmenou otáčok a blokom konštantnej reznej rýchlosti. Pre prevedenie skúšok neboli tieto doplnky využité, lebo sa pracovalo pri rovnakých otáčkach. Rezné podmienky pri sústružení boli stanovené nasledovne:

otáčky n - 500 ot.min⁻¹
1 000 ot.min⁻¹
1 500 ot.min⁻¹
2 000 ot.min⁻¹
2 500 ot.min⁻¹

hrúbka triesky $t = 1$ mm

posuv $s = 0,20$ mm

Pre obrábanie boli použité vymeniteľné doštičky materiálu RO 19 830 s 8 reznými hranami, ktoré sa upevňujú do nožového držiaka Harex 25 x 25 PN 3850.1. Geometria doštičky bola nasledovná:

$$\gamma_0 = 8^\circ$$

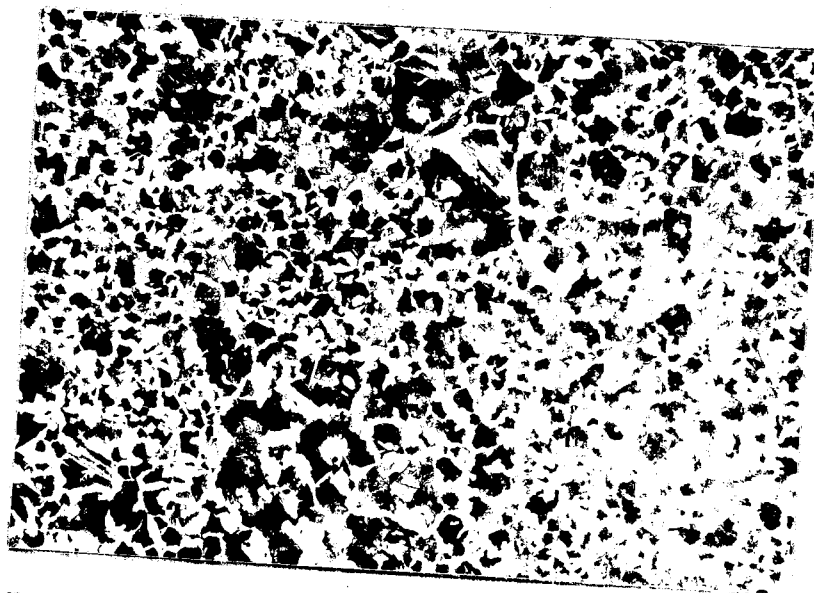
$$\alpha_0 = 6^\circ$$

$$\lambda_0 = -4^\circ$$

$$\gamma_r = 75^\circ$$

$$\gamma_r' = 15^\circ$$

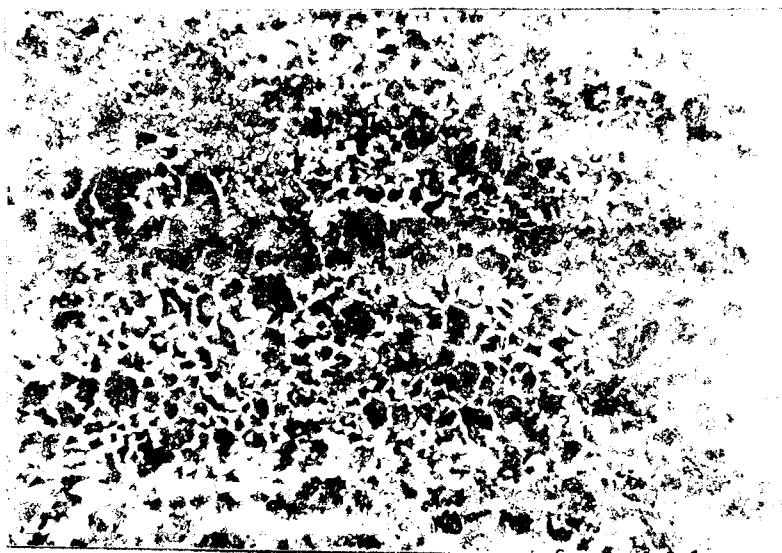
$$r_0 = 0,3 \text{ mm}$$



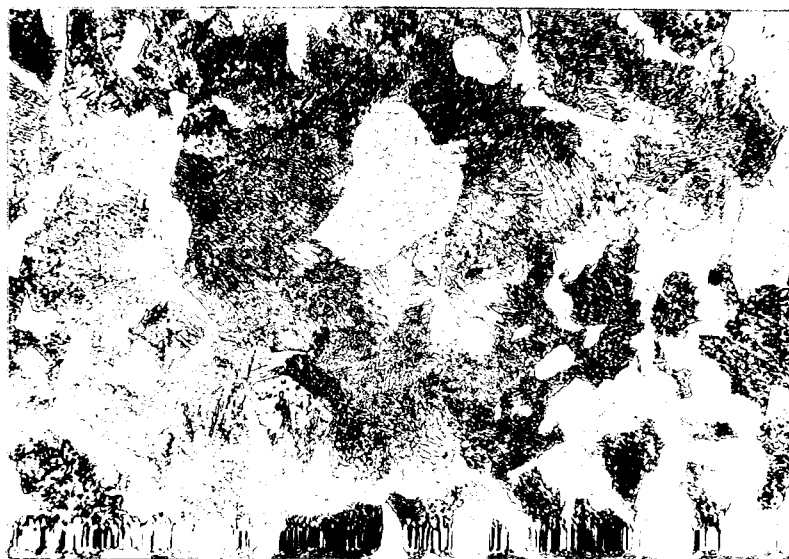
Obr. 12 a Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL ...
podľa spôsobu 4 pri zväčšení 100 x



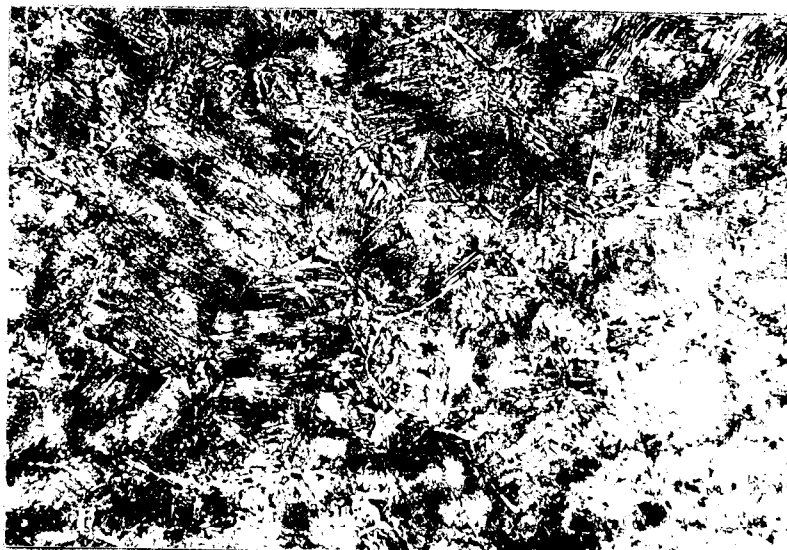
Obr. 12 b Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL ...
podľa spôsobu 4 pri zväčšení 500 x



Obr. 12 c Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 4 pri zväčšení 100 x



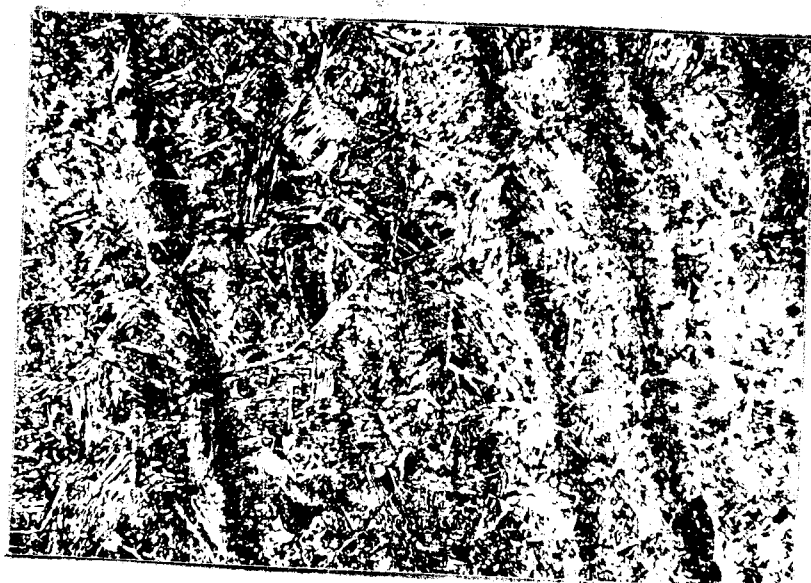
Obr. 12 d Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 4 pri zväčšení 500 x



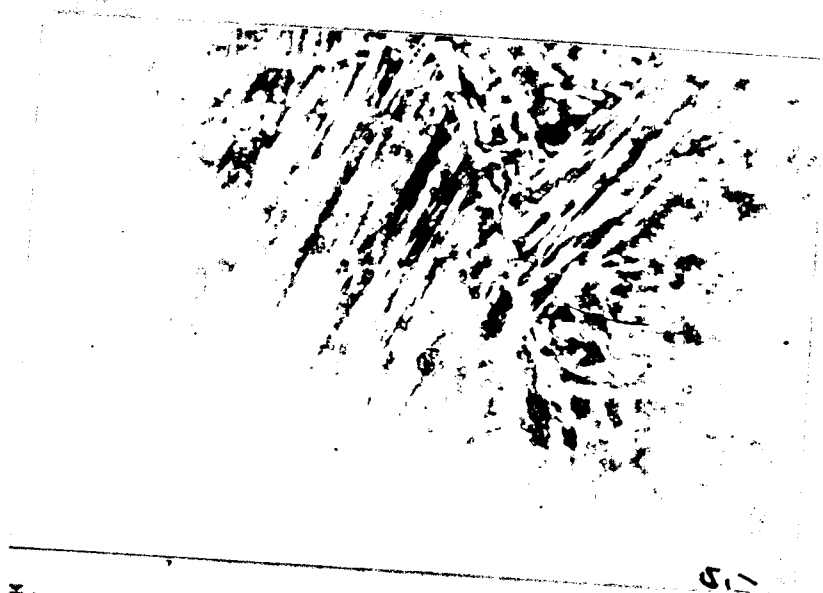
Obr. 13 a Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 5 pri zväčšení 100 x



Obr. 13 b Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 5 pri zväčšení 500 x



Obr. 13 c Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 5 pri zväčšení 100 x



Obr. 13 d Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 5 pri zväčšení 500 x



Obr. 14 a Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 6 pri zväčšení 100 x



Obr. 14 b Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 6 pri zväčšení 500 x



Obr. 14 c Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 6 pri zväčšení 100 x



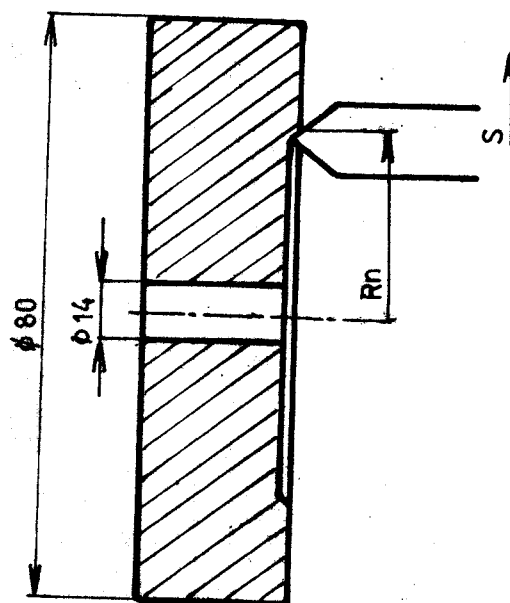
Obr. 14 d Štruktúra izotermicky žihanej vzorky NITAL
podľa spôsobu 6 pri zväčšení 500 x

Aby nedošlo pri začiatku sústruženia k opracovaniu nízkou reznou rýchlosťou, bola skúšobná vzorka už spomenutých rozmerov navrtaná vrtákom $\varnothing 14$ mm - obr. č 15.

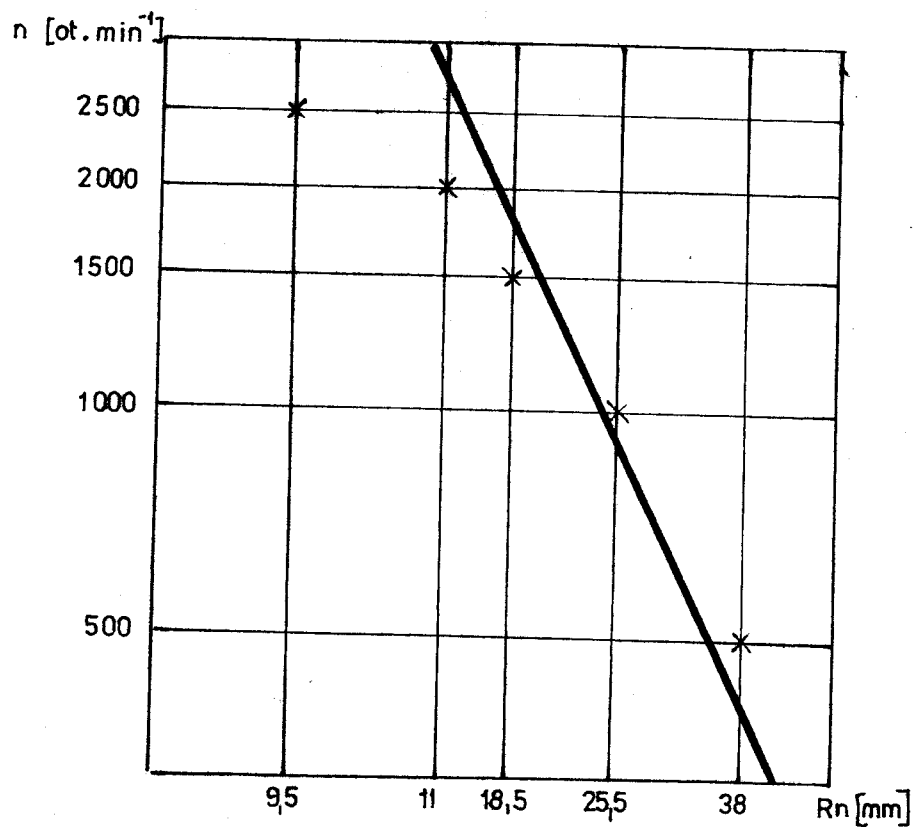
Postup skúšky spočíval v sústružení čela obrobku od stredu k obvodu. Pritom na určitom polomere R_n došlo k otupeniu noža. Prvá skúška bola vykonaná pri najmenších otáčkach, preto polomer R_n bol najväčší. Ostatné skúšky pri vyšších otáčkach prebiehali bez zarovnania čela, iba po výmene, resp. otočení platničky posunutím noža o hodnotu t . Týmto spôsobom možno namerať na jednom obrobku všetky polomery $R_1 \dots R_5$, dosiahnuté pri rôznych otáčkach. Zarovnanie obrobku sa vykoná až pri ďalšej skúške.

Pre sledovanie optimálnych závislostí boli pre každý druh tepelného spracovania zhotovené diagramy závislostí otáčok na polomere R_n , kedy došlo k otupeniu nástroja. Priebeh závislosti s určením uhla α_1 je na obr. 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22.

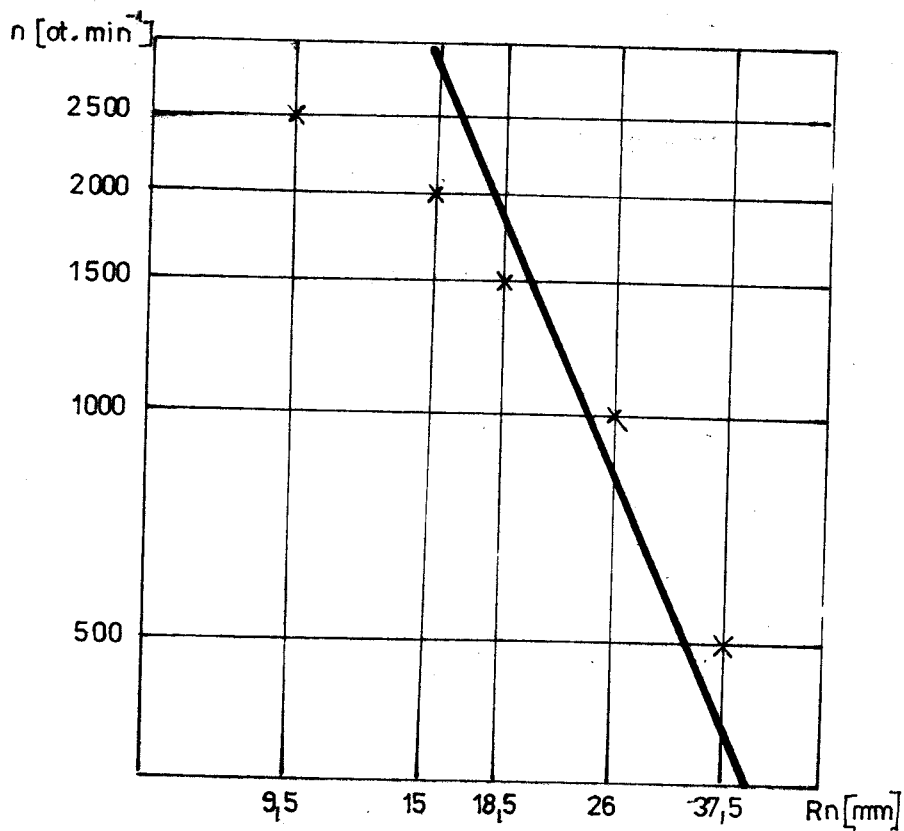
Z týchto závislostí sa ešte nedá hodnotiť spôsob tepelného spracovania vzhľadom na obrobiteľnosť. Pre hodnotenie ďalších spôsobov je nutné dokončiť výpočet podľa 3.3 tejto práce. Vypočítané hodnoty koeficientu m , $\lg \alpha_1$ - uhol v závislosti $\lg n = f / \lg R_n$, koeficientu c_v a reznej rýchlosti pri trvanlivosti 4 min. v_4 , sú uvedené v tab. 2. Podľa týchto výsledkov bol zostrojený diagram závislostí T - v obr. 23 a za najvhodnejšie zo spôsobov boli vyhodnotené spôsoby č. 1 a č. 2. Spôsob č. 5 a 6 sú neekonomické spôsoby tepelného spracovania vzhľadom na vysokú teplotu a dlhú dobu ochladnutia. Izotermicky žihané vzorky podľa spôsobu č. 1 a č. 2 boli po austenitizácii na voľnom vzduchu len krátku dobu, neboli ovplyvnené vznikom prechodových štruktúr od rýchleho ochladnutia a nedošlo ani k vzniku riadkovitosti.



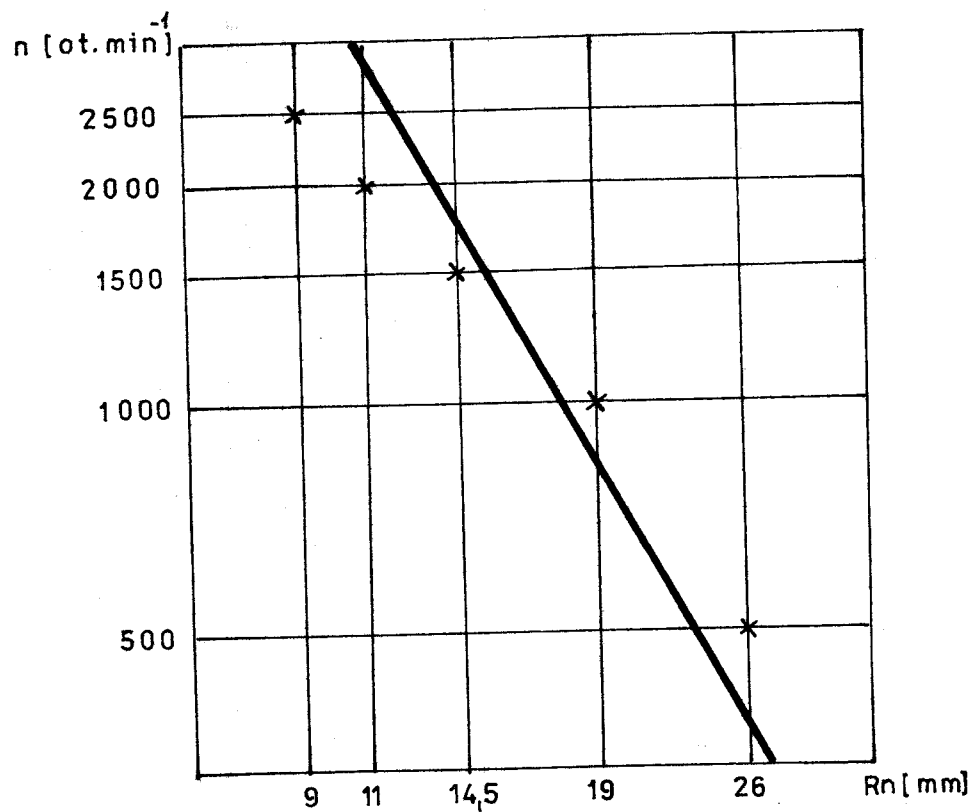
Obr. 15 Vzorek, použitý při zkouškách obrobitelnosti
na materiálu 16 231



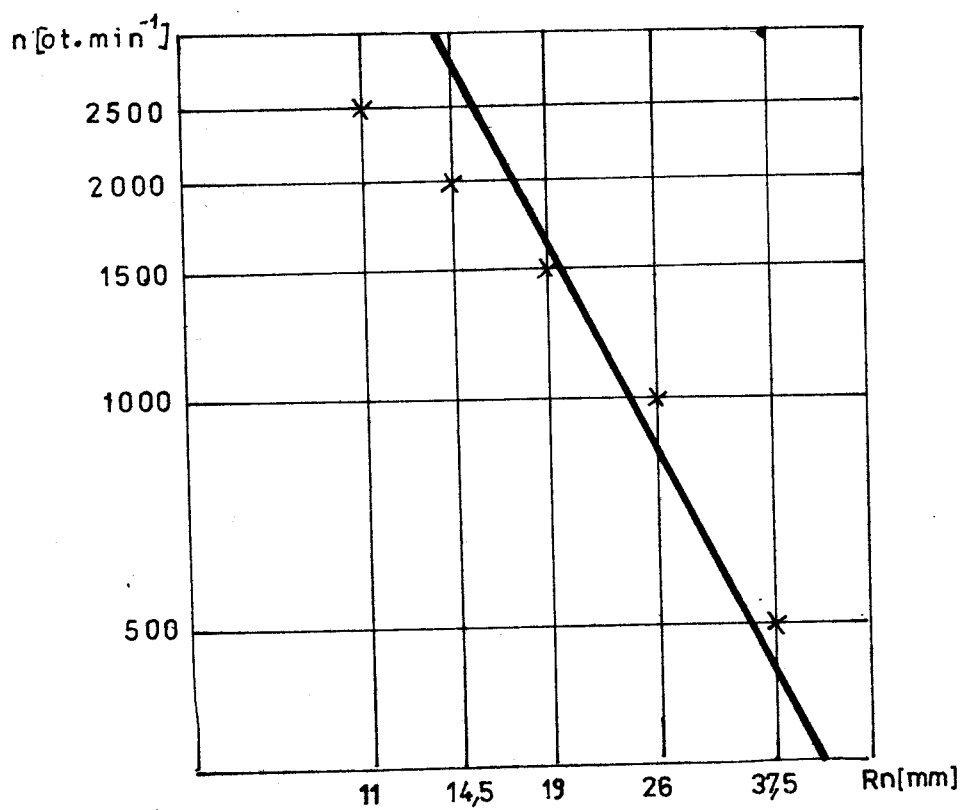
Obr.č.16 Závislosť R_n - n pre izotermické žíhanie podľa spôsobu 1



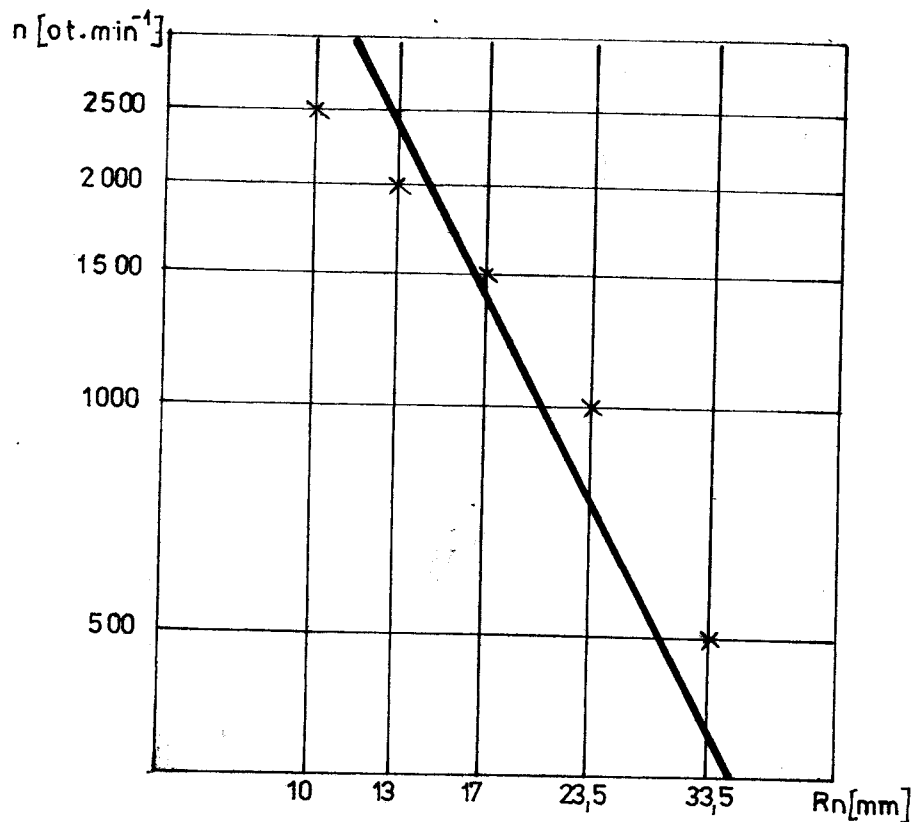
Obr.č.17 Závislosť R_n - n pre izotermické žíhanie podľa spôsobu 2



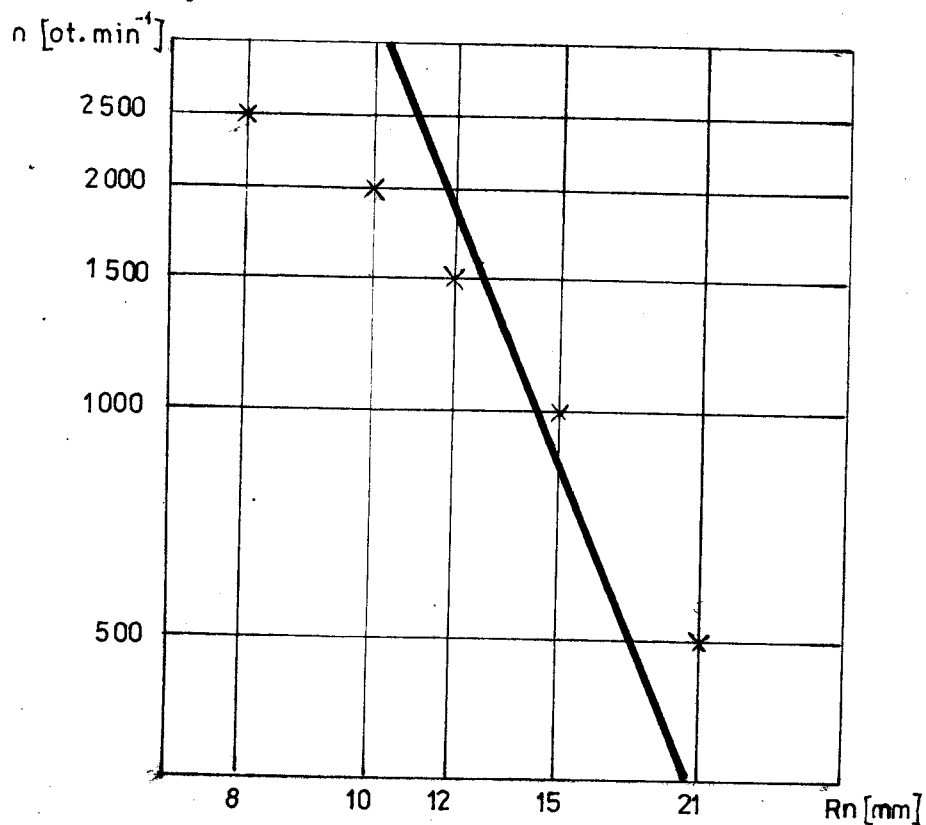
Obr. č. 18 Závislosť R_n - n pre izotermické žíhanie podľa spôsobu 3



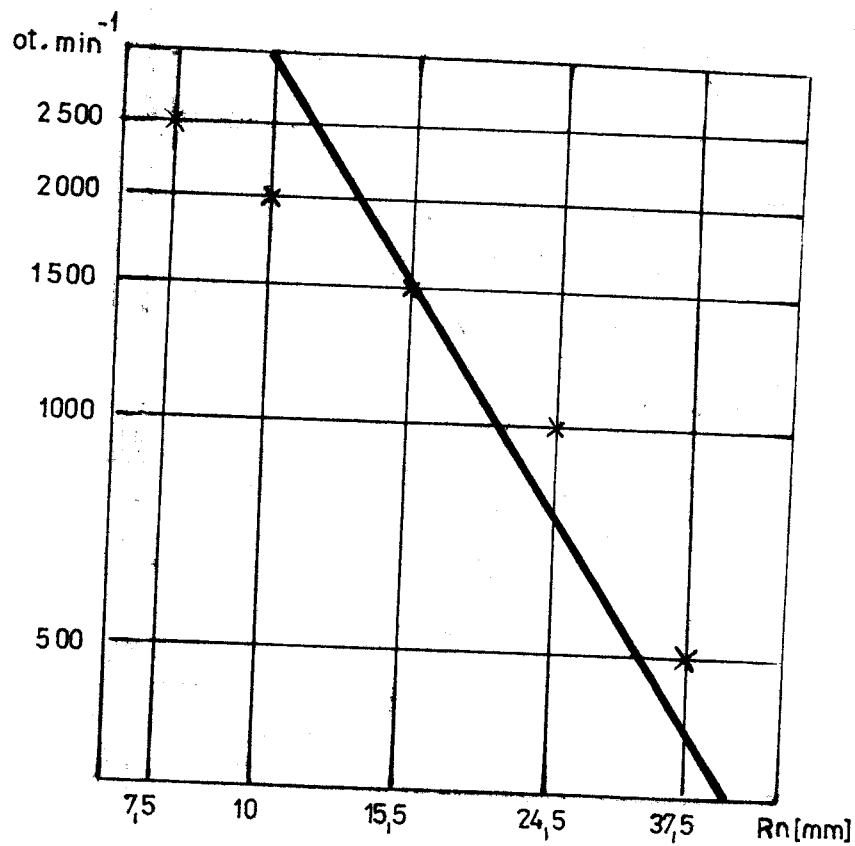
Obr. č. 19 Závislosť R_n - n pre izotermické žíhanie podľa spôsobu 4



Obr.č.20 Závislosť R_n - n pre izotermické žíhanie podľa spôsobu 5



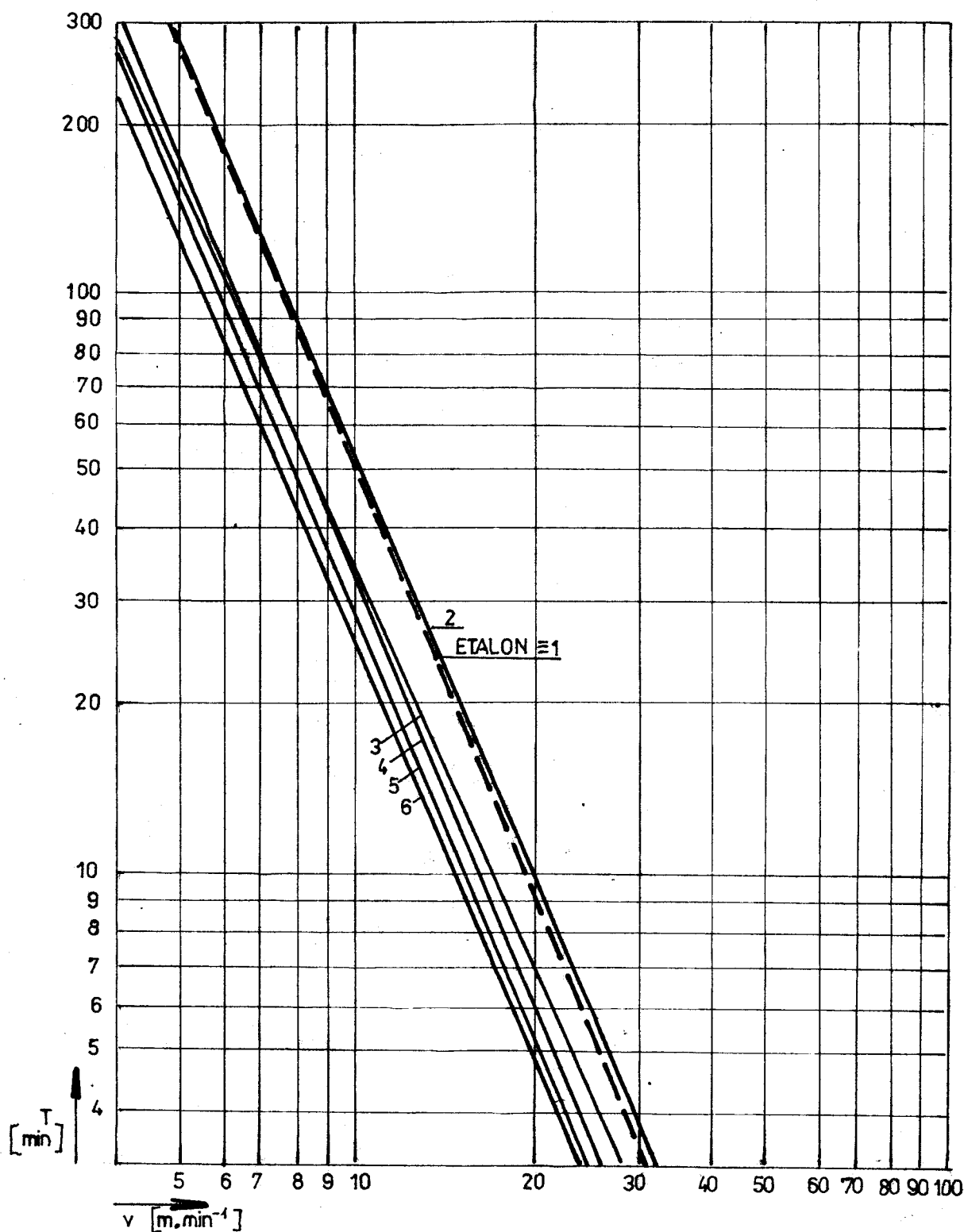
Obr.č.21 Závislosť R_n - n pre izotermické žíhanie podľa spôsobu 6



Obr. 8.22 Závislost R_n - n pre etalónový materiál 12 050.1

Sp6- sob TS	R _n					m	tg	c _v	v ₄ m.min ⁻¹	K _v	Frieda obrob.
	n										
	500	1000	1500	2000	2500						
1	38	25,5	18,5	15	9,5	2,576	2,27	50,02	29,20	1,01	13b
2	37,5	26	18,5	15	9,5	2,561	2,28	48,92	28,50	0,98	13b
3	34	22	14,5	11	9	2,470	2,36	41,69	23,78	0,79	12b
4	37,5	26	19	14,5	11	2,515	2,32	48,39	25,46	0,79	12b
5	33,5	23,5	17	13	10	2,420	2,41	40,32	22,74	0,75	12b
6	32	21	15	12	8	2,437	2,39	37,98	21,50	0,71	11b
Eta- lón mat.	37,5	24,5	15,5	10	7,5	2,605	2,25	48,49	28,48	1,00	13b

Tab. 2



Obr. 23 Priebeh $T-v$ závislostí, odpovedajúce rôznym spôsobom izotermického žihania. Čiarkovane je vyznačená závislosť odpovedajúca etalónovému materiálu 12 050.1.

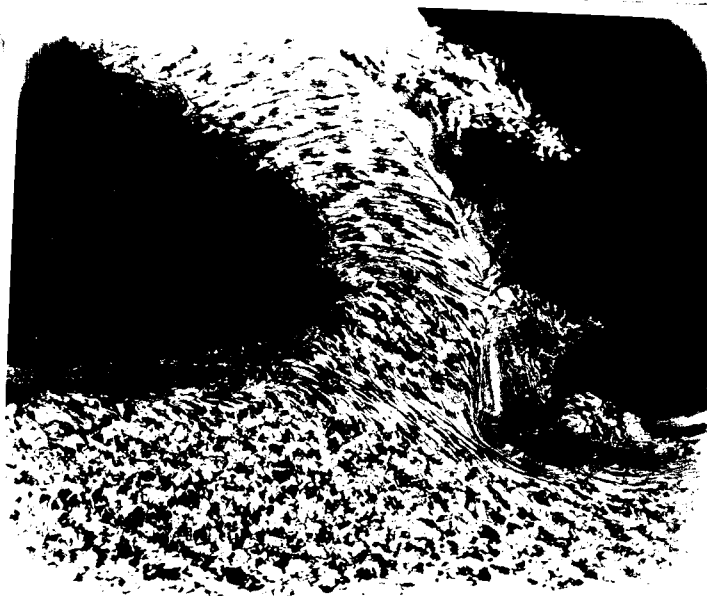
V ďalšom poradí vhodnosti spôsobov je spôsob č. 3, ktorý možno vzhľadom na tvrdosť používať pre súčiastky k pretahovaniu, aby plochy boli hladké.

Pre výpočet indexu obrobitelnosti boli vykonané za rovnakých podmienok i skúšky na etalónovom materiáli 12 050.1. Výsledky obrábania sú uvedené v tab. 2 a závislosť R_n - n je na obr. 22. Index obrobitelnosti určil poradie také isté ako závislosť T - v a hodnoty sú uvedené v tab. 2.

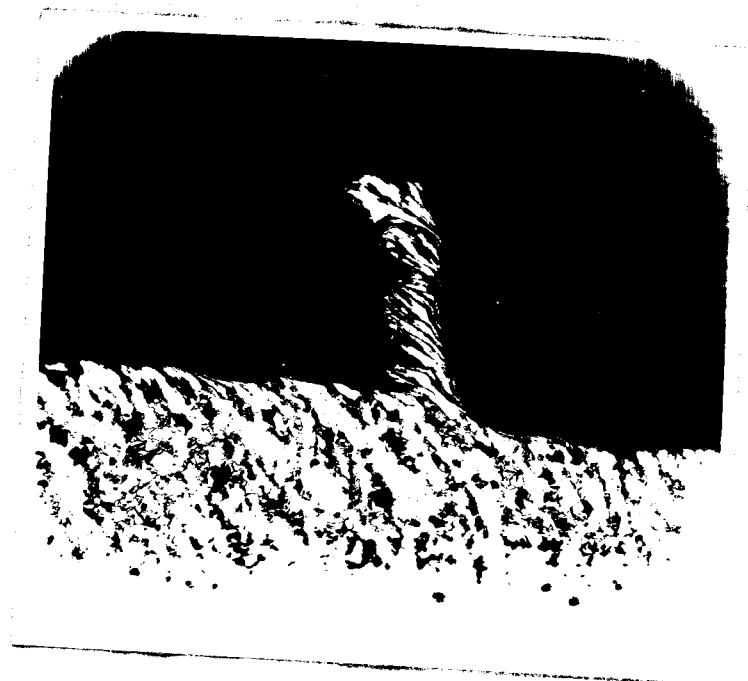
Tvary triesok pri reznej rýchlosti 1 500 ot.min⁻¹ sú na obr. 24 /spôsob 1/, obr. 25 / spôsob 2/, obr. 26 /spôsob 3/ obr. 27 /spôsob 4/, obr. 28 /spôsob 5/ obr. 29 /spôsob 6/.



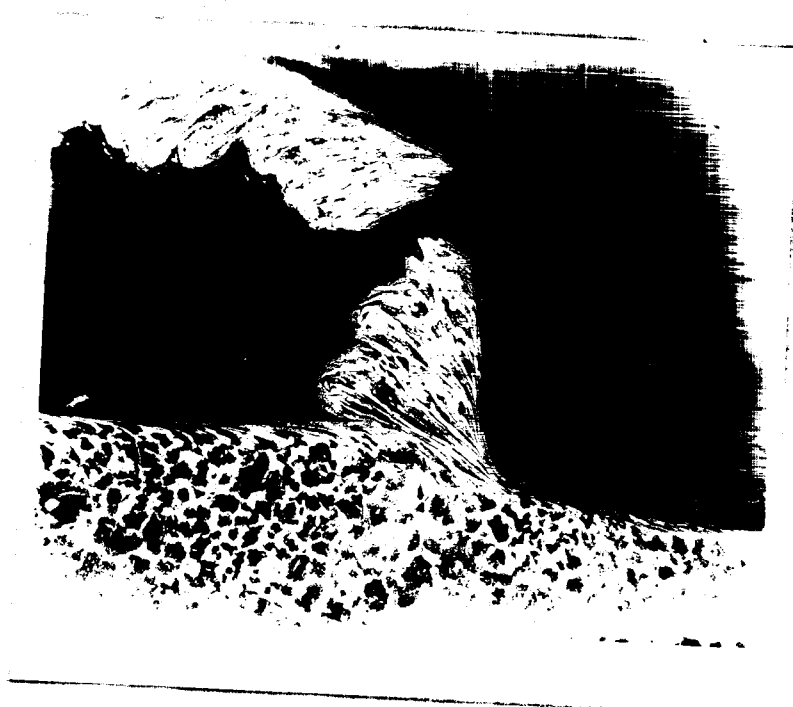
Obr. 24 Tvar triesky pri 1 500 ot.min⁻¹ NITAL
podľa spôsobu 1



Obr. 25 Tvar triesky pri 1 500 ot.min⁻¹ NITAL
podľa spôsobu 2



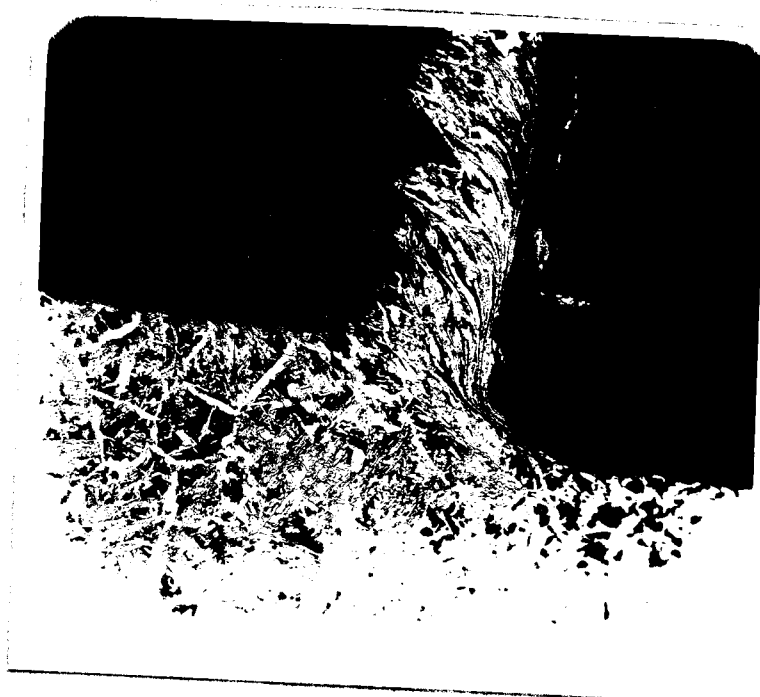
Obr. 26 Tvar triesky pri 1 500 ot.min⁻¹ NITAL
podľa spôsobu 3



Obr. 27 Tvar triesky pri 1 500 ot.min⁻¹ NITAL
podľa spôsobu 4



Obr. 28 Tvar triesky pri 1 500 ot.min⁻¹ NTAL
podľa spôsobu 5



Obr. 29 Tvar triesky pri 1 500 ot.min⁻¹ NTAL
podľa spôsobu 6

4.0 EKONOMICKÉ VYHODNOTENIE NYVRHOVANEJ TECHNOLOGIE

Uvažované technológie sú zamerané na zlepšenie tepelného spracovania výkovkov z cementačných ocelí. V tomto prípade je najlepšia aplikovateľnosť spôsobu izotermického žihania na súčiastky prevodoviek, ktorých výrobou sa zaoberajú Považské strojárne, koncernový podnik, Považská Bystrica. Vybrané súčiastky sa budú v tomto podniku vyrábať už ako polotovary /výkovky/ a je nutné uvažovať i s operáciami žihania. Celkovo sa ročne predpokladá spracovanie výkovkov o hmotnosti cca 15 000 000 kg, z čoho časť sa bude spracúvať normalizačným žiňaním, časť zušľachtovaním a na izotermické žiňanie pripadá za rok cca 4 788 000 kg. Z tohoto množstva vychádza potreba spracovania za hodinu pri ročnom hodinovom fonde 5 809 hodín, 824 kg.hod⁻¹.

Doposiaľ sa pre tento druh výkovkov používali dva druhy tepelného spracovania. Po kovaní sa používalo žiňanie na mätko a po hrubovacích operáciách pred operáciami výroby ozubenia ako technologická operácia sa zaraďovalo zušľachtovanie. Zavedením izotermického žihania je možné tieto operácie odstrániť, čím vzniknú úspory najmä pri tepelnom spracovaní, ale tiež i na náradí a pracnosti pri mechanickej výrobe.

4.1 Úspory pri tepelnom spracovaní

Pre požadovaný výkon a druhy tepelného spracovania pripadajú na porovnanie tieto zariadenia:

Žiňanie na mätko - pec ROC 11 x 5/245 - 80

Zušľachtovanie - linka T6 o zložení:

Kaliaca pec PVSA 20/135 s kaliacou vaňou

Práčka QRV 16/60

Popúšťacia pec PVO 6.30.120/30

Izotermické žiňanie - linka o zložení podľa 2.4.

4.1.1 Náklady na žiňanie výkovkov - doposiaľ používaný spôsob

a/ Investičné náklady pece ROC + T6	
Celkové investičné náklady	- 9 285 000 Kčs
Ročné náklady pri životnosti 13 rokov	- 714 230 Kčs
b/ Prevádzkové náklady	
Mzdové náklady 9 pracovníkov za rok	- 918 054 Kčs
18 % sociálne náklady	- 165 250 Kčs
Režijné náklady celkovo	- 745 170 Kčs

Celkové prevádzkové náklady za rok:

$$N_{cl} = N_{il} + N_{pl} = 2\,542\,534 \text{ Kčs}$$

4.1.2 Náklady na izotermické žiňanie - navrhovaný spôsob

a/ Investičné náklady:	
Cena linky vrátane montáže	- 3 372 000 Kčs
Plocha na inštaláciu	- 230 m ²
Cena 1 m ² podlahy	- 1 800 Kčs
Stavebné náklady	- 41 400 Kčs
Náklady na zavedenie linky úlohou TR	- 1 000 000 Kčs
Celkové náklady na zavedenie technol.	- 3 773 400 Kčs
Životnosť zariadenia	- 13 rokov
Náklady na odpisy za rok	- 367 184 Kčs
b/ Prevádzkové náklady:	
Náklady na mzdu	
počet robotníkov na 1 smenu	- 3
smennosť	- 3
tarifná trieda R 5	- 9 Kčs.hod ⁻¹
priemerný nočný príplatok	- 0,66 Kčs.hod ⁻¹
príplatky za sťažené prostredie	- 0,90 Kčs.hod ⁻¹
prémie 29 %	- 2,61 Kčs.hod ⁻¹
Náklady za mzdu za rok	- 688 540 Kčs

Náklady na sociálne dávky za rok brané 18 % zo mzdových nákladov	- 123 937 Kčs
Režijné náklady	
el. energia	- 520 309 Kčs
voda	- 6 821 Kčs
náklady na údržbu	- 3 000 Kčs
Spolu režijné náklady	- 530 130 Kčs

Prevádzkové náklady :

$$N_{p2} = N_{m2} + N_{a2} + N_{r2} = 1\,342\,607 \text{ Kčs}$$

Celkové náklady za rok :

$$N_{c2} = N_{I2} + N_{p2} = 1\,709\,791 \text{ Kčs}$$

Úspory nákladov pre tepelné spracovanie pri zavedení
nového spôsobu:

$$U_1 = N_{c1} - N_{c2} = 832\,743 \text{ Kčs}$$

Tieto úspory vzniknú najmä zrušením operácie zušľach-
tovania ako i skrátením procesu žihania, lebo priebežná
doba u žihania na mäkke v peci ROC je 22 hodín a pri izo-
termickom žihaní je 2,5 až 3 hodiny. Zlepšenie ekonomických
ukazovateľov je ešte možné dosiahnuť sakladaním výkovkov do
pece priamo po kovaní, čím sa sníži spotreba elektrickej
energie.

4.2 Úspora na náradí

Úsporu na náradí je možné vypočítat podľa Bekeša /2/,
kde platí:

$$K_n = \frac{1}{K_v^n} \quad (15)$$

$$\text{kde } K_v = \frac{K_{vE}}{K_{vO}} \quad (16)$$

$$\text{pričom } K_{vz} = \frac{v_4}{v_{4et}} \quad (17)$$

$$K_{vo} = \frac{v_{4vo}}{v_{4et}} \quad (18)$$

kde po dosadení dostaneme hodnoty :

$$K_{vo} = 0,624$$

$$K_{vz} = 0,9276$$

$$K_v = 1,486$$

$$K_n = 0,666$$

Teda úspora na náradí bude oproti obrábaniu pôvodného materiálu činiť 0,334 násobok. Ročná spotreba náradia na výrobu prevodoviek v Považských strojárňach činí 1 500 000 Kčs. Úspora v tomto prípade predstavuje hodnotu:

$$U_2 = 501\,000 \text{ Kčs} \cdot \text{rok}^{-1}$$

4.3 Celková úspora

Celková úspora je súčasťou nákladov na zariadenie a úspory na výkone stroja a na vedľajších časoch spojených s častejšou výmenou náradia pri pôvodnom spôsobe v práci neuvádzam, ale je možné nimi ekonomický výsledok ešte zlepšiť.

Ročná úspora predstavuje hodnotu:

$$U = U_1 + U_2 = 1\,333\,743 \text{ Kčs}$$

Deba úhrady investičných nákladov a na TR bude:

$$T_{ur} = \frac{N_{I2} + N_{TR}}{U} = 3,27 \text{ roka}$$

Tento ukazovateľ je pre zabezpečenie investičných prostriedkov a zavedenie úlohy TR veľmi dôležitý a je možné technológiu v koncernovom podniku Považských strojárňach zaviesť.

5. ZÁVER

Hlavným smerom mojej práce bolo hodnotenie izotermického žihania a vhodnosť navrhovaného spôsobu izotermického žihania pre nasledovné mechanické opracovanie.

Pre posúdenie obrúbiteľnosti som volil krátkodobé skúšky. Skrátenou metódou hodnotenia obrúbiteľnosti je možné a dostatočnou presnosťou určiť triedu obrúbiteľnosti pre jednotlivé druhy izotermického žihania.

Posúdením štruktúry vzniklej pri jednotlivých druhoch izotermického žihania, v náväznosti na skúšky obrúbiteľnosti sa ukázalo, že najvhodnejším spôsobom izotermického žihania je spôsob č. 1.

Tento spôsob spočíva v austenitizácii na teplote 950°C - 1 hodina s ochladením na vzduchu na teplotu 400°C a následnou perlitickou premenou na teplote 650°C - 1 hodina.

Podľa niektorých autorov je vhodnejšia pre obrábanie hrubozrnná štruktúra. Skúšky, ktoré som previedol však toto nepotvrdili. Spôsoby izotermického žihania, ktoré viedli k jemnozrnej štruktúre /spôsob č. 1 a 2/ ukázali lepšie výsledky pri skúškach obrúbiteľnosti, ako vzorky s hrubozrnnou štruktúrou.

Zavedenie izotermického žihania sa javí efektívne. I napriek zvýšeným nákladom na zariadenie pre izotermické žihanie, sa vplyvom vzniklej vhodnejšej štruktúry pre obrábanie dosiahne podstatné zníženie nákladov na mechanické opracovanie. Tote zníženie sa prejavuje jednak v mzdových nákladoch, použitím vyšších parametrov pri opracovaní a znížením nákladov na rezné nástroje.

Podľa najnovších správ a technickej literatúry sa doporučuje pri opracovaní výkovkov z cementačných ocelí použiť ako výhodšie tepelné spracovanie izotermické žihanie. Na sáklade uvedeného sa javí vhodné pred opracovaním výkovkov z ocele 16 231 previesť izotermické žihanie podľa spôsobu č. 1, prípadne č. 2.

Dusan Jendron

POUŽITÁ LITERATÚRA

- /1/ Paur, V.-Skočkovský, P.: Konštrukčné materiály
- /2/ Buda, J.-Bekeš, J.: Teoretické základy obrábania kovov,
ALFA, Bratislava, 1977
- /3/ Příkryl, Z.-Musílková, R.: Teórie obrábění, SNTL, 1972
- /4/ Zima, L.: Prednáška - Některé aspekty vlivu tepelného
zpracování na obrobitelnost nízkolegovaných
ušlechtilých ocelí, Dom techniky SVTS,
Bratislava, 1976
- /5/ Švec, S.: Rezné nástroje, ITP Praha, 1966
- /6/ Výskumná správa - SVÚM Praha, august 1975,
č. 2 - 75 - 3345
- /7/ Výskumná správa - SVÚM Praha, november 1970,
č. 2 - 70 - 2400
- /8/ Wanning, J.: Verfahrenstechnik des Isotermglühens,
fy Aichelin, 1976
- /9/ Technická dokumentácia - ZEZ Praha, júl 1978,
č. 132 - 1
- /10/ Technická dokumentácia - Degussa, 1976
- /11/ Technická dokumentácia - Aichelin, 1976
- /12/ Kalinin, Tichonov.: Termičeskaja obrabotka na volžskom
avtomobilnom zavode, Mitom č. 9,
1973