

# Predstavitev enokomorne vakuumske peči Ipsen VTC 324-R s homogenim plinskim hlajenjem pod visokim tlakom

Vojteh Leskovšek\*

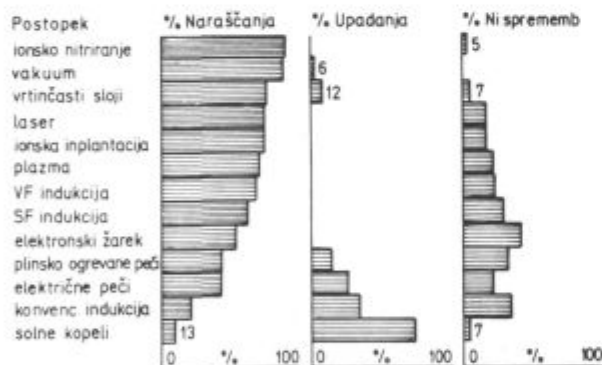
## A. UVOD

Trend sprememb pri uporabi sodobnih komercialnih postopkov toplotne obdelave po izvedeni anketi (1) v svetu za razdobje 1985 do 1990, je prikazan na sliki 1.

Za navedeno obdobje kažejo največjo potencialno rast med komercialnimi postopki toplotne obdelave postopki ionskega nitiranja, vakuumske toplotne obdelave, toplotne obdelave v vrtnčastih slojih, toplotna obdelava z laserjem in ionska implantacija.

Na osnovi usmeritve MI v razvoj novih materialov in trendov v SŽ in domači kovinsko-predelovalni industriji, smo se na MI odločili za nabavo enokomorne vakuumske peči VTC 324-R, proizvajalec Ipsen. Ta bo predstavljala jedro za razvoj sodobnega centra toplotne obdelave s specialnimi postopki, ki bo služil poleg raziskovalno-razvojnemu dejavnosti na področju novih materialov tudi izobraževanju in potrebam pilotne proizvodnje ter številnim delovnim organizacijam, ki nimajo svoje toplotne obdelave.

Peč, ki predstavlja veliko pridobitev ne samo za MI, temveč tudi za ostale delovne organizacije, je bila nabavljena iz dotacije Raziskovalne skupnosti Slovenije in sofinancirana iz združenih sredstev SOZD-a Slovenske železarne.



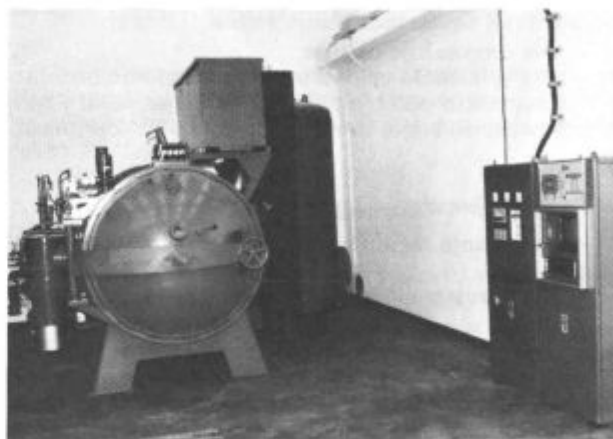
Slika 1

Predvidevanja sprememb pri uporabi postopkov do leta 1990

## B. KONSTRUKCIJA IN DELOVANJE PEČI

Vakuumska peč vrste VTC, slika 2, s sistemom za variabilno plinsko kaljenje (2) pod visokim tlakom, združuje prednosti vakuumske toplotne obdelave z dosedaj v vakuumskih pečeh še nedosežene intenzitete in enakomernosti hlajenja pri kaljenju. Podobne rezultate lahko dosežemo v solnih kopelih, vendar pa vakuumske peči nimajo njihovih pomanjkljivosti kot so: visoki stroški obdelave, obarvane površine obdelovancev, neob-

\* Vojteh Leskovšek, dipl. inž., metal., Metalurški inštitut Ljubljana



Slika 2

Vakuumska peč IPSEN VTC 324-R

hodnost čiščenja po toplotni obdelavi, obremenitev okolja, itd.

### 1. Osnovne tehnične karakteristike vakuumske peči VTC 324-R

Dimenzije komore	Š × D × V = 610 × 910 × 350 mm
Največja dovoljena teža vložka	400 kg
Delovna temperatura	500 do 1320 °C
Izenačenost temp. v izdelku	± 5 °C
Način ogrevanja	električno z grafitnimi grelci
Isolacija grelne komore	specialne grafitne plošče
Način hlajenja	— v vakuumu — v nevtralnem plinu — hitro hlajenje v nevtralnem plinu s pomočjo turbo-ventilatorja
Hladilni plin	N <sub>2</sub> , s stopnjo čistosti 99,999 %
Inštalirana moč	P <sub>max</sub> = 129 KVA
Vodenje in kontrola	elektronski komandno-kontrolni in registrirni sistem

Kot vsaka tehnologija ima tudi visokotlačno plinsko kaljenje v vakuumskih pečeh svoje prednosti in pomanjkljivosti (3,4).

#### Prednosti:

- Optimalno kaljenje, vključno z brzoreznimi jekli večjih dimenzij.
- Minimalne deformacije pri kaljenju s homogenim kaljenjem v vodenem, kontroliranem in cirkulirajočem plinskem toku skozi vložek.

— Nižji proizvodni stroški in popolna ponovljivost toplotne obdelave z mikroprocesorsko-reguliranim avtomatskim ciklusom.

— Ni stroškov ogrevanja pri prekinitvah dela.

— Ni stroškov, ali so le-ti zmanjšani, za dodatne obdelave z brušenjem.

— Odsotnost površinske oksidacije.

— Enostavna integracija v proizvodne procese.

— Prijetni delovni pogoji zaradi čistega delovanja, ni toplotnega sevanja, ni iztekanja plinov ali nevarnosti eksplozije.

— Peč je zelo prilagodljiva, lahko jo uporabimo tudi za svetlo žarjenje brez razogljčenja, spajkanje in sintranje.

— Ne onesnažuje okolice.

— Na splošno so celotni stroški za toplotno obdelavo v vakuumskih pečeh nižji kot v solnih kopelih, v nekaterih primerih lahko dosežemo tudi do 50 % prihrankov.

#### Pomanjkljivosti:

— Uparjanje legirnih elementov z visokim parnim tlakom.

— Potrebujemo inertni plin za izvedbo kalilnega ciklusa.

- Tesnenje peči.
- Visokokvalificirana delovna sila.
- Visoki kapitalni stroški.

#### 2. Ohišje

Dvostensko vodno hlajeno ohišje vakuumске peči je konstruirano in prilagojeno za tlak plina do 5 barov absolutno. Vrata, tesnjena na tlak in vakuum, se zapirajo z varnostnim zatičem. Hladnostenska konstrukcija peči omogoča normalne delovne razmere brez toplotnega žarčenja.

#### 3. Vakuumski črpalni sistem

Peč je opremljena z vakuumskim črpalnim sistemom, s katerim dosežemo vakuum  $1 \times 10^{-4}$  mbarov in več ter je sestavljena iz:

— pnevmatsko krmiljenega visoko-vakuumskega ventila,

— dveh pnevmatsko krmiljenih vakuumskih zasunov,

— tristopenjske frakcionirne oljne difuzijske črpalke,

- lovilca prahu,
- Roots-ove črpalke,
- rotacijske predvakuumske črpalke,
- rotacijske črpalke za vzdrževanje predvakuuma.

Za meritve absolutnih tlakov med 100 in  $1 \times 10^{-3}$  mbarov, je vgrajen skupaj z merilnimi glavami TPR 010 in NV 4, Pirani vakuumski merilnik TPG 060, proizvajalca Balzers.

#### 4. Ogrevanje

Grelna komora je nameščena v varjenem dvostenskem ohišju peči. Pri periodičnem vzdrževanju ali pregledu jo lahko izvlečemo. Notranja obloga grelne komore je izdelana iz specialnih grafitnih plošč, grajena pa je na tak način, da je mogoče vsako sekcijo posebej zamenjati.

Grelna komora je opremljena z dvema drsnima loputama, ki ju krmilimo pnevmatsko, nameščeni pa sta na vrhu in na dnu.

Med grelnim ciklusom ostaneta loputi zaprti; pri plinskem oziroma plinsko-ventilatorskem hlajenju sta odprti, tako da je vložek ohlajen v najkrajšem času. Grafitni grelni elementi so razporejeni na vrhu in na dnu ter zagotavljajo zelo hitro in enakomerno ogrevanje vložka.

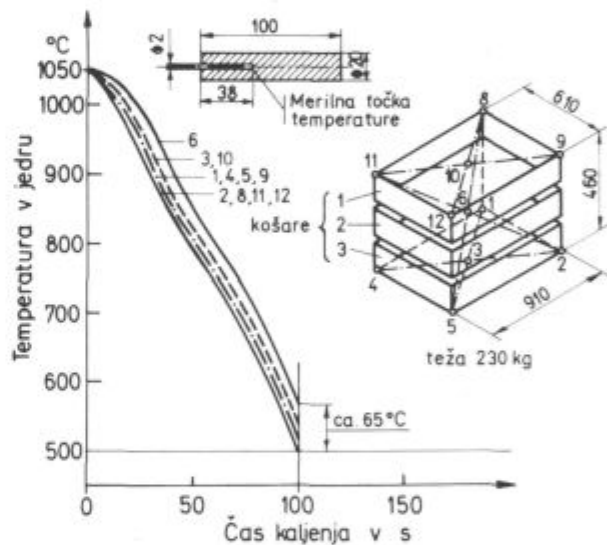
#### 5. Kaljenje

Kot medij za hlajenje pri kaljenju služi inertni plin, npr. dušik, ki prisilno cirkulira s pomočjo turbo-ventilatorja velikih zmogljivosti. Tok plina prehaja skozi vložek in struji okoli vsakega kosa v vložku. Plin se ohladi, zatem pa se ponovno usmeri v vložek.

V nasprotju s konstrukcijami peči, ki imajo sistem hlajenja plina postavljen zunaj, se pri Ipsen-ovi vakuumski peči vrste VTC nahaja sistem za hlajenje plina znotraj ohišja peči. Taka konstrukcija znatno zmanjšuje potrebni prostor in porabo plina.

Vertikalni dinamični in oscilirajoči tok plina skozi vložek zagotavlja enakomerno in hitro kaljenje tudi v sredini vložka (glej orientacijski diagram za odvisnost časa in temperature na sliki 3, velja za peč VTC 424-R).

Programirana menjava smeri toka plina omogoči minimalne vertikalne temperaturne razlike v vložku med kaljenjem.



Slika 3  
Orientacijski diagram čas/temperatura za VTC 424-R

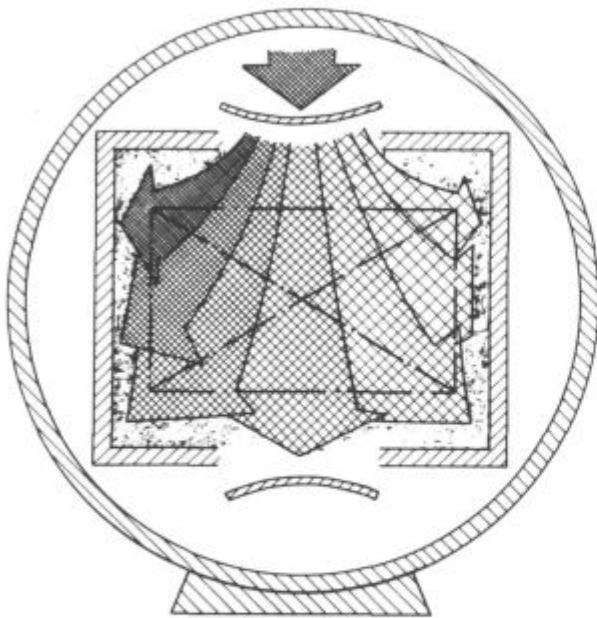
#### 6. Dinamični Ipsen-ov kalilni sistem

Hladilni plin vpivavamo v pečni prostor takoj po zaključku predhodno programirane ogrevalne faze. Istočasno se na vrhu in dnu grelne komore odprejo lopute, vključni se turboventilator, da intenzivira cirkulacijo plina.

Stisnjen, hladen plin uvajamo skozi nihajoči razdelilni sistem, tako da plin struji enakomerno in intenzivno preko celotne površine vložka. Dinamični plinski razdelilni sistem v peči tipa VTC je nameščen nad vložkom (slika 4).

Smer strujanja se spreminja v intervalih, ki jih regulira mikroprocesor, tako da je strujanje prilagojeno najrazličnejšim izdelkom odnosno razporeditvam v vložku.

Takoj ko plin preide skozi vložek, se ohladi na hladnih stenah ohišja peči in v vgrajenem toplotnem izme-



Slika 4

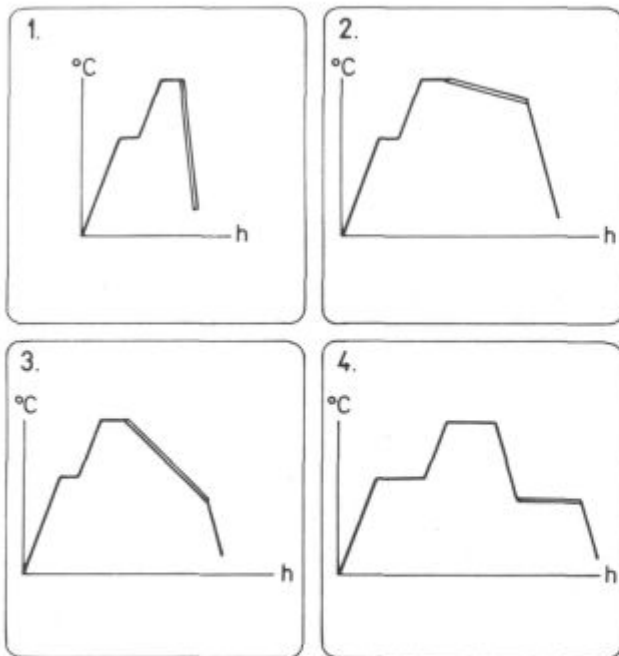
Dinamični plinski razdelilni sistem v vakuumski peči VTC

njevalcu, turbo-ventilator ga nato vsesa in iztisne. S pomočjo nastavljive vstopne šobe lahko postopoma spreminjamo tok plina, tako da dosežemo željeni profil hlajenja.

### 7. Hlajenje

Hitrost hlajenja zavisi od prilagoditve sledečih parametrov:

- tlak hladilnega plina,
- volumen hladilnega plina,
- hitrost hladilnega plina.



Slika 5

Značilni primeri ohlajanja v vakuumski peči VTC

V odvisnosti od parametrov dobimo sledeče tipične primere ohlajanja:

— Maksimalno kaljenje pri tlaku 5 barov absolutno. V teh okoliščinah volumen hladilnega plina reguliramo na tak način, da motor turboventilatorja deluje z maksimalno dovoljeno močjo (slika 5, diagram 1).

— Programirano ohlajanje s predhodno programiranim gradientom (npr. 3°C/min. med 1200 in 500°C) (slika 5, diagram 2).

— Kontrolirano hlajenje pri predhodno določeni tlaku plina z avtomatsko regulacijo volumna hladilnega plina (slika 5, diagram 3).

— Izotermalno kaljenje v dveh stopnjah:

Prva stopnja: Kaljenje na temperaturo termalne kopele

Druga stopnja: Izenačevanje temperature med jedrom izdelka in površino, preko regulacije količine plina ali »ponovnega ogrevanja«, kateremu sledi hlajenje (slika 5, diagram 4).

### 8. Elektronski komandno-kontrolni in registrirni sistem

Kombinirana krmilna omara (slika 6) vsebuje poleg močnostnega dela še ostale instrumente, kot sta računalnik, ki preko programatorja omogoča vnašanje in nadzorovanje kompleksnih komandno-kontrolnih funkcij in dvokanalni rekorder za zapisovanje parametrov čas/temperatura in čas/tlak. Pregledna simulacijska shema s svetlostnimi diodami olajša nadzorovanje delovanja peči in ugotavljanje možnih napak med delovanjem!



Slika 6

Elektronski komandno-kontrolni in registrirni sistem vakuumske peči VTC

Specialni digitalni večprogramski mikro-računalnik DE-PRO 133 (IP) omogoča operaterju programiranje celotnega ciklusa toplotne obdelave, kakor tudi ponovitve z odlično reproduktivnostjo. Celotni potek programa spremljamo tudi grafično na ekranu 30 cm z digitalnim prikazom željenih in dejanskih vrednosti.

### C. PODROČJA UPORABE

V vakuumski peči tipa VTC lahko izvajamo sledeče postopke (2,5):

#### 1. Žarjenje

Žarjenje izvajamo v vakuumski peči bolj enostavno in kvalitetno kot v konvencionalnih pečeh, brez razo-

gljičenja izdelkov. Ohlajanje po žarjenju lahko programiramo in enostavno reguliramo s pomočjo dušika.

## 2. Kaljenje

Omogočeno je kaljenje različnih vrst jekla, pri čemer ista peč pokriva celotno območje temperatur. Proces ogrevanja do temperature avstenitizacije izvajamo v isti peči, tako da ga lahko za vsak konkretni slučaj optimalno programiramo in reguliramo. Izenačenost temperature v izdelku je  $\pm 5^\circ\text{C}$ ! Površine izdelkov so brez oksidov (svetle) in ni razogljivenja.

## 3. Popuščanje

Postopek popuščanja lahko izvedemo po kaljenju v istem ciklusu, brez da bi odpirali vrata peči. Izenačenost temperature v izdelku  $\pm 5^\circ\text{C}$  dosežemo od  $480^\circ\text{C}$  navzgor.

## 4. Odplinjevanje

Odplinjevanje izvajamo na kovinskih, keramičnih in grafitnih delih, ki jih uporabljamo npr. v elektronski industriji, tehniki ultravisokega vakuumu, v nuklearni tehniki.

Zaboljšanje fizikalnih lastnosti pred nadaljnjo predelavo redno izvajamo tudi odplinjevanje kovinskih prahov (Nb, Ta, W).

## 5. Trdo spajkanje

Za ta postopek je zelo ugodna nizka točka rosišča atmosfere, ki jo lahko dosežemo v vakuumski peči, kakor tudi natančnost regulacije temperature, kar daje znatno večji učinek spajkanja. Ker se material za spajkanje v raztopljenem stanju odplinjuje, dobimo s spajkanjem spoje, ki so za 30 % čvrstejši od tistih, ki so spajkani izven vakuumske peči (spajkanje bakra).

Razen tega ostanejo izdelki svetli, ne potrebujemo topila, mesto spajkanja ni potrebno naknadno obdelovati. Po spajkanju lahko avtomatsko vključimo hitro hlajenje z dušikom. Ta postopek še posebej uporabljamo pri spajkanju delov za reaktivne motorje, tranzistorjev, spajkanju stekla in keramike, pri delih reaktorja.

## 6. Trdo spajkanje z istočasnim kaljenjem

Ta postopek sočasno združuje ob uporabi ustreznega materiala za trdo spajkanje na osnovi NiCr dva postopka, s čimer prihranimo na času, energiji in materialu. Npr. trdo spajkanje nožev iz brzoreznega jekla na držala iz konstrukcijskega jekla.

## 7. Sintranje

Za ta postopek je prav tako pomembno odplinjevanje materiala, rezultat tega je izredna kvaliteta stiskancev z veliko gostoto in visoko natezno trdnostjo. Uporablja se pri sintranju trdih kovin, sintranju boridov, karbidov, nitridov in silicidov, sintranju nerjavečega jekla, sintranju kovin z visokim tališčem, sintranju permanentnih magnetov in sintranju tantalovih kondenzatorjev.

## 8. Značilni primeri toplotne obdelave orodnih jekel v vakuumu

### a) Brzorezna jekla

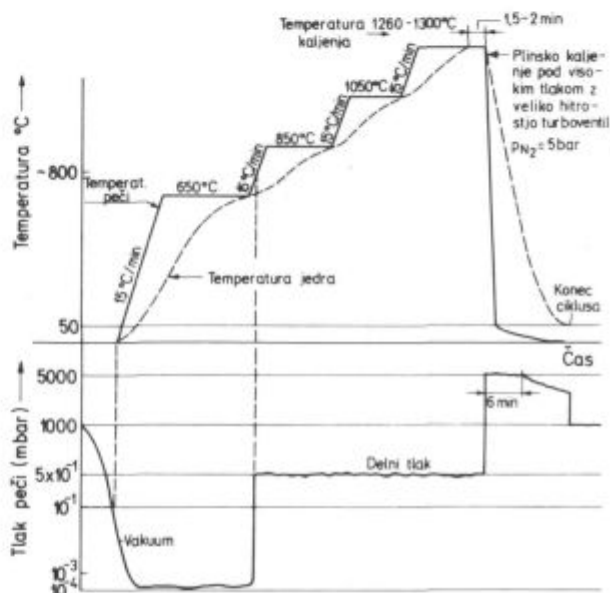
Posebej uspešno toplotno obdelujemo orodja iz brzoreznega jekla, kot so npr. orodja za valjanje navojev,

orodja za profiliranje, orodja za rezanje navoja, matriče, tanki deli igličastih oblik itd. Kot najpomembnejša prednost se kaže, še posebej pri tankih igličastih delih, zmanjšana deformacija. Medtem, ko je pri običajnem načinu kaljenja deformacija od 0,1 do 0,4 mm, dobimo po kaljenju v vakuumski peči in ohlajanju v dušiku deformacije od 0,02 mm do 0,04 mm! To omogoča zmanjšanje ali opustitev naknadne obdelave z brušenjem.

Doseganje potrebnih trdot zavisí od dimenzij preseka izdelka, ki ga ohlajamo in od intenzitete hlajenja v vakuumski peči.

Značilni diagram kaljenja brzoreznega jekla Č. 6980 v VTC peči je podan na sliki 7.

Po kaljenju takoj izvedemo popuščanje. Izdelke kompliciranih oblik, ki so nagnjeni k pokanju, kalimo do največ  $80^\circ\text{C}$  v jedru. Takoj zatem sledi žarjenje za odpravo napetosti in zatem popuščanje.



Slika 7  
Značilni diagram kaljenja brzoreznega jekla Č.6980 v vakuumski peči VTC

### b) Orodna jekla za delo v vročem

V tej skupini jekel, ki se uporabljajo za utope, orodja za tlačno litje, orodja za vlečne matrice itd., se v praksi že uspešno kalijo v vakuumskih pečeh tudi orodja z večjimi masami. Pri zračno kaljivih jeklih npr. X37CrMoV51 in X45NiCrMo4 (DIN) skrajšamo čas ciklusa s kaljenjem pod visokim tlakom plina za 10–20 % v primerjavi s plinskim kaljenjem pod tlakom 1 bara. Končno je potrebno omeniti toplotno obdelavo iztiskovalnih matric iz jekla Č. 5742. Primer: tri orodja velikosti 247 × 268 × 400 mm in teže 225 kg so bila skupaj zložena v 390 kg vložku. Vložek je bil kaljen z  $890^\circ\text{C}$  v dušiku pod tlakom 5 barov absolutno. Po dvojnem popuščanju na temperaturi  $530^\circ\text{C}$  je bila dosežena natezna trdnost  $1500\text{ N/mm}^2$  (ustreza 46 do 47 HRC). Analiza strukture jedra z optičnim mikroskopom ni pokazala vidnega bainita.

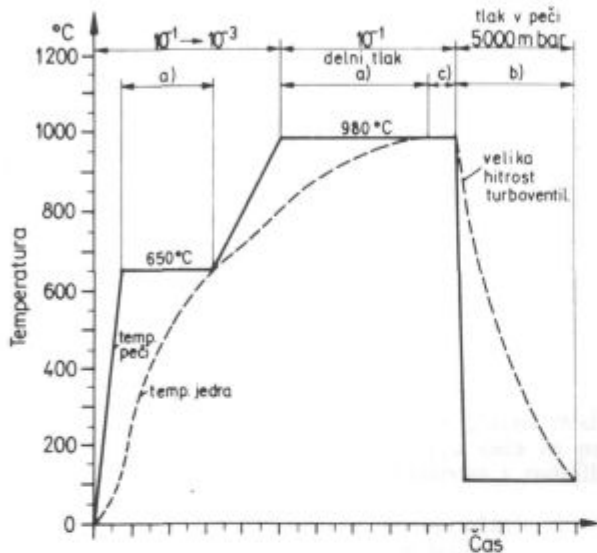
Razen za izdelavo orodij pa se vse pogosteje uporabljajo ta jekla kot konstrukcijska jekla za izdelavo delov plinskih turbin, ki jih praviloma kalimo v vakuumu, ker je to najenostavnejši način, da pri teh zelo zahtev-



nih in obremenjenih delih dosežemo vrhunsko kvaliteto površine brez oksidacije in razogljčenja.

Značilni diagram kaljenja jekla za delo v vročem Č. 4753 v VTC peči je podan na sliki 8.

Vložek po kaljenju takoj popuščamo. Dele komplikiranih oblik, ki so nagnjeni k pokanju, kalimo do največ 80°C v jedru, takoj zatem sledi žarjenje za odpravo napetosti in nato popuščanje.



Slika 8

Značilni diagram kaljenja jekla za delo v vročem Č.4753 v vakuumski peči VTC

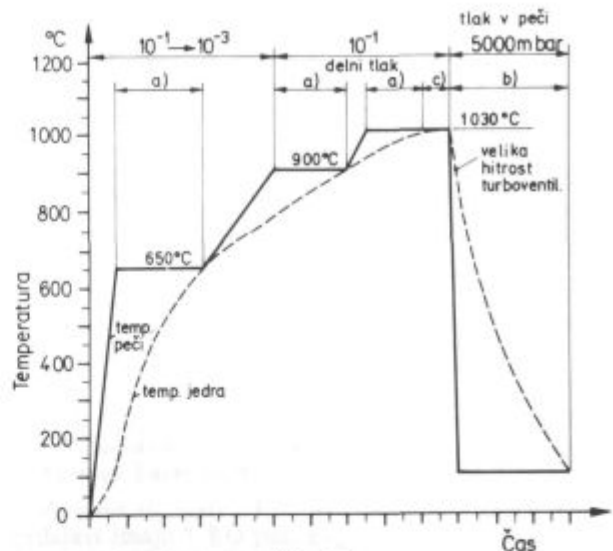
#### c) Orodna jekla za delo v hladnem

V pečeh vrste VTC lahko uspešno kalimo tudi različna orodja za delo v hladnem, izdelana iz visokoogljčnega jekla z 12% Cr. Za primer navajamo toplotno obdelavo v peči VTC 324-R, in sicer 150 kg gravur z merami 135 × 37 × 37 mm, izdelanih iz jekla Č. 4850:

Pri kaljenju z dušikom pod tlakom 5 barov abs., je bilo jedro orodij ohlajeno od 1020°C do 500°C v 4 min., zatem pa v 15. min. do 80°C. Dosežena trdota na površini je bila od 63–64 HRC, celoten cikel toplotne obdelave pa je trajal 4,2 ure. Dimenzijske spremembe dolžine so bile približno 0,01 mm in 0,02 mm v ostalih dveh smereh. Pri rezilih, rezilnih nožih, obrezilnih orodjih in orodjih za stiskanje, izdelanih iz jekla Č. 4150, dosežemo s pomočjo visokotlačnega plinskega kaljenja trdoto na površini med 64 in 65 HRC. Obročasta merila z do 30 mm debelo steno, izdelana iz jekla Č. 3840, kalimo na 62–64 HRC ob odlični dimenzijski stabilnosti.

Značilni diagram kaljenja orodnega jekla Č. 4150 za delo v hladnem v VTC peči je podan na sliki 9.

Popuščanje izvedemo takoj po kaljenju. Izdelke komplikiranih oblik, ki so nagnjeni k pokanju, kalimo do največ 80°C v jedru, takoj zatem sledi napetostno popuščanje in nato popuščanje.



Slika 9

Značilni diagram kaljenja jekla za delo v hladnem Č.4150 v vakuumski peči VTC

#### D. ZAKLJUČEK

Toplotna obdelava v vakuumski peči vrste VTC 324-R, katere poizkusno obratovanje je predvideno v letu 1987, bo zaradi svoje konstrukcije, še posebej pa zaradi učinkovitega in enakomernega plinskega hlajenja pod visokim tlakom, omogočila razširitev uporabe vakuumskih peči na vse postopke toplotne obdelave za širok asortiman orodnih jekel.

Postopki toplotne obdelave se v splošnem izvajajo pri temperaturah, na katerih prihaja do reakcije med površino obdelovancev in okoliško atmosfero. Te reakcije povzročajo neželjene spremembe tehnoloških lastnosti izdelkov, znižujejo kvaliteto oziroma povišujejo stroške proizvodnje zaradi dodatne obdelave. Osnovna prednost pri uporabi vakuumskih peči je v tem, da so parcialni tlaki posameznih sestavnih delov atmosfere v peči, kot so to O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, lahko zmanjšani na nekoliko v. p. p. m. V tako razredčeni atmosferi ne pride do reakcij med površino delov in okoliškim medijem.

Usmeritev MI na področju toplotne obdelave in storitve, ki jih bomo lahko nudili v obliki raziskav, razvoja, inženiringa, tehnične pomoči in pilotne proizvodnje, predstavljajo med drugim tudi kvalitetnejši in racionalnejši stik z uporabniki jekel, ki bodo po tej poti dobivali najboljše informacije za razvoj novih proizvodov in uporabo jekel na osnovi poznavanja njihovih lastnosti.

#### Literatura

1. Harry E. Chandler: Metal Progres, 1984, September, 59.
2. Instruction Manual VTC 324-R IPSEN ON, 44.139.
3. ED R. Byrnes: Heat treating in vacuum furnaces and auxiliary equipment; Metals Handbook, Ninth edition, Volume 4, 307.
4. J. W. Bouwman: Ipsens Technical Reports, Industrial Heat-Treating, No. 59/E.
5. F. Černe, B. Liščić: Metal Biro 1979; Toplinska obrada metala u vakuumu 7.2, 43.