

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Jože Rodič, A. Rodič, J. Hrastnik Železarna Ravne PRISPEVEK K TIPIZACIJI POGOJEV PREIZKUSANJA OBROBNE KALJIVOSTI CEMENTIRANIH JEKEL	69
Vizjak Ferdo, Železarna Ravne SODOBNA PROIZVODNJA STROJNIH NOŽEV ZA POTREBE CELULOZNE, LESNOPREDELVALNE IN GRAFIČNE INDUSTRIJE	83
Mesec Janez, Železarna Jesenice NOVE ELEKTRODE ŽVB-Mo, EVB-Cr Mo IN EVB-2 Cr Mo ZA VARJENJE JEKEL Z GARANTIRANIMI MEHANSKIMI LASTNOSTMI PRI VISJIH TEMPERATURAH	93
Kosec Lado, F. Vodopivec, Metalurški inštitut Ljubljana IZ DELA METALOGRAFSKEGA LABORATORIJA	107
Hanžel D., M. Schara, N. Tršan Inštitut »Jože Stefan« Ljubljana KARAKTERIZACIJA VISOKOLEGIRANIH FERITNIH JEKEL Z MOSSBAUERJEVO SPEKTROSKOPIJO	111
Dular Milan, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo Ljubljana DOLOČEVANJE CIANIDA V GALVANSKIH ODPADNIH VODAH	117

1971 · LETO V **2**



VSEBINA

	Stran
Rodič Jože, dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., J. Hrastnik — Železarna Ravne	
Prispevek k tipizaciji pogojev preizkušanja obrobne kaljivosti cementiranih jekel	69
DK: 543.7:669.71	
ASM/SLA: J5d, J28g — 1,54, AYb, CNg	
Vizjak Ferdo, dipl. inž., Železarna Ravne	
Sodobna proizvodnja strojnih nožev za potrebe celulozne, lesno predelovalne in grafične industrije	83
DK 672.7:621.785	
ASM/SLA: T 6 q, T 29 s, 726, 728 g, 72 g	
Mesec Janez, dipl. inž., Železarna Jesenice	
Nove elektrode EVB-Mo, EVB-CrMo in EVB-2 Cr Mo za varjenje jekel z garantiranimi me- hanskimi lastnostmi pri višjih temperaturah	93
DK: 621.791.742.6	
ASM/SLA: W, 29 h	
Mag. Kosec Lado, dipl. inž., dr. F. Vodopivec, dipl. inž., Metalurški inštitut Ljubljana	
Iz dela metalografskega laboratorija	107
DK: 620.18	
ASM/SLA: M 21,9	
Mag. Hanžel D., dipl. inž., dr. Schara M., dipl. inž. in Tršan N., dipl. inž. Inštitut »Jožef Stefan« Ljubljana	
Karakterizacija visokolegiranih feritnih jekel z Mössbauerjevo spektroskopijo	111
DK: 543.42:669.14	
ASM/SLA: M, N, S19	
Dr. Dular Milan, dipl. inž., FNT Ljubljana	
Določevanje cianida v galvanskih odpadnih vodah	117
DK: 543.42	
ASM/SLA: S11g	

I N H A L T

	Seite
Rodič Jože, dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., J. Hrastnik — Železarna Ravne Beitrag zu der Typisierung der Prüfungsbedingungen der Randhärbarkeit der zementierten Stähle	69
DK: 543.7:669.71 ASM/SLA: J5d, J28g — 1,54, AYb, CNg	
Vizjak Ferdo, dipl. inž., Železarna Ravne Die gegenwärtige Production von Maschinenmessern für den Bedarf der Zellstoff, der Holzverarbeitenden und der Graphischen Industrie	83
DK 672.7:621.785 ASM/SLA: T 6 q, T 29 s, 726, 728 g, 72 g	
Mesec Janez, dipl. inž., Železarna Jesenice Neue Schweisselectroden EVB-Mo, EVB-CrMo und EVB-2 Cr Mo für das Schweißen warmfester Stähle	93
DK: 621.791.742.6 ASM/SLA: W, 29 h	
Mag. Kosec Lado, dipl. inž., dr. F. Vodopivec, dipl. inž., Metalurški inštitut Ljubljana Einige Beispielen aus dem metalographischen Laboratorium	107
DK: 620.18 ASM/SLA: M 21,9	
Mag. Hanžel D., dipl. inž., dr. Schara M., dipl. inž. in Tršan N., dipl. inž. Inštitut »Jožef Stefan« Ljubljana Die Charakterisierung der hochlegierten ferritischen Stähle mit der Mössbauer-Spektroskopie	111
DK: 543.42:669.14 ASM/SLA: M, N, S19	
Dr. Dular Milan, dipl. inž., FNT Ljubljana Bestimmung von Zyanid in galvanischen Abwässern	117
DK: 543.42 ASM/SLA: S11g	

CONTENTS

	Page
<p>Rodič Jože, dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž., J. Hrastnik — Železarna Ravne</p>	
<p>Contribution to standardisation of testing conditions for case hardening of carburized steels</p>	69
<p>DK: 543.7:669.71 ASM/SLA: J5d, J28g — 1,54, AYb, CNg</p>	
<p>Vizjak Ferdo, dipl. inž., Železarna Ravne</p>	
<p>Up-to-date production of cutting tools for cellulose, wood-processing, and graphic indu- stry</p>	83
<p>DK 672.7:621.785 ASM/SLA: T 6 q, T 29 s, 726, 728 g, 72 g</p>	
<p>Mesec Janez, dipl. inž., Železarna Jesenice</p>	
<p>New electrodes EVB Mo, EVB CrMo, and EVB 2 CrMo for welding steels with guaran- teed mechanical properties at higher tempera- tures</p>	93
<p>DK: 621.791.742.6 ASM/SLA: W, 29 h</p>	
<p>Mag. Kosec Lado, dipl. inž., dr. F. Vodopivec, dipl. inž., Metalurški inštitut Ljubljana</p>	
<p>From metallography lab investigations . .</p>	107
<p>DK: 620.18 ASM/SLA: M 21,9</p>	
<p>Mag. Hanžel D., dipl. inž., dr. Schara M., dipl. inž. in Tršan N., dipl. inž. Inštitut »Jožef Stefan« Ljubljana</p>	
<p>Classification of high alloyed ferritic steels by Mössbauer spectroscopy</p>	111
<p>DK: 543.42:669.14 ASM/SLA: M, N, S19</p>	
<p>Dr. Dular Milan, dipl. inž., FNT Ljubljana</p>	
<p>Cyanide determination in galvanic wastes . .</p>	117
<p>DK: 543.42 ASM/SLA: S11g</p>	

СОДЕРЖАНИЕ

- Rodič Jože, dipl. inž., A. Rodič, dipl. inž.,
J. Hrastnik — Železarna Ravne
К типизации условий исследования поверхностной закалки стали для цементации . . . 69
DK: 543.7:669.71
ASM/SLA: J5d, J28g — 1,54, AYb, CNg
- Vizjak Ferdo, dipl. inž., Železarna Ravne
Современное производство ножей для потребности в промышленности целлюлозы, обработки леца и в индустрии полиграфии . 83
DK 672.7:621.785
ASM/SLA: T 6 q, T 29 s, 726, 728 g, 72 g
- Mesec Janez, dipl. inž., Železarna Jesenice
Новые сорта электрод EVB Mo, EVB CrMo и EVB 2 CrMo для сварки стали с гарантированными механическими качествами при высоких температурах 93
DK: 621.791.742.6
ASM/SLA: W, 29 h
- Mag. Kosec Lado, dipl. inž., dr. F. Vodopivec,
dipl. inž., Metalurški inštitut Ljubljana
Из работ металлургического лаборатория 107
DK: 620.18
ASM/SLA: M 21,9
- Mag. Hanžel D., dipl. inž., dr. Schara M., dipl.
inž. in Tršan N., dipl. inž.
Inštitut »Jožef Stefan« Ljubljana
Описание высоколегированных ферритных сталей при помощи спектроскопии по Mössbauer-у. 111
DK: 543.42:669.14
ASM/SLA: M, N, S19
- Dr. Dular Milan, dipl. inž., FNT Ljubljana
Определение цианидов в гальванических сточных водах. 117
DK: 543.42
ASM/SLA: S11g

Jože Rodič, dipl. inž., Alenka Rodič, dipl. inž.,
Ivica Hrastnik, Železarna Ravne

DK:543.7 : 669.71
AMS/SLA: J 5 d, J 28 g—1.54, AYb, CNg

Prispevek k tipizaciji pogojev preizkušanja obrobne kaljivosti cementiranih jekel

Članek predstavlja povzetek vseh dosedanjih raziskav obrobne kaljivosti v železarni Ravne, upoštevajoč tudi naloge, ki jih je na tem področju opravil po naročilu železarne Ravne Metalurški inštitut v Ljubljani.

Članek na osnovi dosedanjih ugotovitev podaja predlog tipizacije pogojev preizkušanja obrobne kaljivosti, kar bi omogočalo medsebojne primerjave in s tem dalo poizkusu reproduktivno vrednost ter širšo uporabnost.

Podane so variante preizkušanja za raziskovalne in kontrolne preiskave za direktno in indirektno kaljenje.

Z jominyjevimi krivuljami in z nomogrami izotrdot so prikazane karakteristične lastnosti tipičnih vrst jekel za cementacijo iz proizvodnega programa železarne Ravne.

Uvod

Razvoj tehnike, ki je izredno hiter prav na področju motorne industrije, je zaradi velikoserijske in avtomatizirane proizvodnje izzval poostrene zahteve zagotavljanja ustreznih in enakomernih lastnosti jekla. Ena najvažnejših tehnoloških lastnosti v proizvodnji konstrukcijskih delov je kaljivost jekla.

Pri jeklih za poboljšanje standardni jominyjev poizkus dokaj dobro karakterizira to lastnost jekla, medtem ko je pri cementiranih jeklih kljub poznanju kaljivosti jedra večji del problemov vezanih s kaljivostjo cementiranih delov ostal precej časa nerešen.

Potrebe po novi metodiki preizkušanja cementiranih jekel je še pospešilo uvajanje plinske cementacije in direktnega kaljenja. Plinska cementacija je prinesla polno novosti v tehnologijo in ekonomiko cementacije, obenem pa je ta tehnološki

postopek postavil tudi nove zahteve glede značilnih lastnosti jekel.

Precej dolgo je prevladovalo mnenje, da je kaljivost osnovnega jekla za cementacijo (t.j. jedra) sama zadosten kriterij za izbiro jekla in da je s kaljivostjo jedra dovolj definirana tudi kaljivost cementirane plasti. To mnenje danes nima več nobene vrednosti, saj je praktično in teoretično dokazano, da enako povečanje vsebnosti ogljika nikakor nima enakega vpliva na kaljivost pri različnih osnovnih sestavah jekel. Danes lahko celo trdimo, da so lastnosti jekla, ki jih ugotovimo s preizkušanjem kaljivosti jedra, v nekaterih primerih popolnoma neuporabne za ocenjevanje pričakovane kaljivosti cementirane plasti.

Poznati moramo kaljivost jedra in kaljivost cementirane plasti. Samo poznanje te kombinacije nam omogoča izbiro optimalne vrste jekla, določanje in kontroliranje pogojev tehnološkega postopka za določene namene in za doseganje zahtevanih lastnosti.

V zadnjem desetletju se je zelo intenzivno razvijala metodika preizkušanja kaljivosti cementiranih jekel. Danes smo na tem področju tudi pri nas dosegli tako stopnjo razvoja, da smo se z raziskavami prepričali o vrednosti nove metode preizkušanja obrobne kaljivosti, obenem pa je prišel čas, da pogoje preizkušanja poenotimo na tak način, da bodo mogoče medsebojne primerjave rezultatov tako pri raziskovalnem, kakor tudi pri kontrolnem preizkušanju.

Za metodo preizkušanja kaljivosti cementirane plasti se je že udomačilo ime preizkušanje obrobne kaljivosti.

Razvoj metode je poznan^{1,2}, zato se bomo v nadaljnjem omejili le na osnovni namen članka — na tipizacijo postopka in pogojev preizkušanja ter na nekatere praktične rezultate preizkušanja, ki ilustrirajo uporabnost metode za medsebojne primerjave lastnosti različnih vrst jekel.

Postopek preizkušanja obrobne kaljivosti cementiranih jekel

Osnovni princip metode je določanje kaljivosti cementirane plasti na jominyjevi probi, cementirani v ostrem sredstvu. Po čelnem kaljenju se nato jominyjeva proba zbrusi do različnih globin cementirane plasti, ustrezno paralelno določenim vsebnostim ogljika. S tem določamo odvisnost trdote od ohlajevalne hitrosti in obenem od vsebnosti ogljika. Kemijsko določanje krivulje naogljichenja s stopenjskim struženjem, nato pa brušenje jominyjeve probe do različnih globin cementirane plasti, ki jih določimo iz krivulje naogljichenja, je precej zamudno in ovira širšo uporabnost metode. S številnimi poizkusi smo ugotovili, da pri natančno tipiziranih pogojih cementacije prob določevanje krivulje naogljichenja praktično ni potrebno, ker krivulje naogljichenja pri posameznih vrstah jekel s svojim odstopanjem ne presegajo natančnosti drugih meritev.

V literaturi in pri naših dosedanjih raziskavah v železarni Ravne in na Metalurškem inštitutu so bili pogoji preizkušanja tako različni, da rezultatov in ugotovljenih značilnih lastnosti skoraj ni mogoče med seboj primerjati. Prav to nas je navedlo k temu, da predlagamo v prihodnje preizkušanje pri enotnih pogojih, ki smo jih v dosedanjih raziskavah ugotovili za najprimernejše. Pri teh pogojih smo v železarni Ravne že preizkusili vse glavne vrste jekel za cementacijo.

Postopek in obseg preizkušanja za eno šaržo določene vrste jekla je odvisen od namena preizkušanja in od dokumentacije že izvršenih raziskav lastnosti te vrste jekla. Pri tem gre torej lahko za širšo raziskavo lastnosti in uporabnosti neke vrste jekla ali pa samo za kontrolo enakomernosti kakovosti neke vrste jekla, za katerega so osnovne značilne lastnosti že poznane. Upoštevati moramo tudi način kaljenja v proizvodnji, za katerega želimo izvršiti preizkušanje obrobne kaljivosti. Pogoji preizkušanja so seveda za direktno kaljenje drugačni kot za indirektno kaljenje.

Poglejmo najprej prvo varianto, ki predstavlja postopek raziskave obrobne kaljivosti z najširšim obsegom, ko želimo pri nepoznanem jeklu preizkusiti kaljivost v celotnem območju.

Popolna raziskava kaljivosti cementiranega jekla

1. Priprava prob

Kaljivost je značilna lastnost šarže neke vrste jekla, zato se vedno nanaša preizkušanje na eno šaržo in se običajno izvaja pri proizvajalcu jekla že v medfazni kontroli polizdelkov. Za popolno raziskavo je potrebno skovati palico $\varnothing 30$ mm, dolžine 800 mm in to po kovanju obvezno normalizirati na 900°C s časom avstenitizacije 30 minut. Pri nekaterih legiranih vrstah jekla je potrebno za olajšanje mehanske obdelave prob še žarjenje na 600°C , ca. 1 uro. Nato sledi mehanska izdelava prob:

- 4 standardne jominyjeve probe in
- 2 valjčka $\varnothing 25$ mm dolžine 150 mm.

Pri vseh probah je predpisana toleranca premera $\pm 0,05$ mm.

2. Kaljivost jedra

Za preizkušanje kaljivosti jedra izvršimo standardni jominyjev preizkus za dve različni temperaturi avstenitizacije:

— 925°C za »direktno kaljenje« jekla s temperature cementacije;

— normalno standardizirano temperaturo, ki ustreza za kaljenje jedra — za »indirektno kaljenje« posameznih vrst jekla za cementacijo. Kot standardni temperaturi za preizkušanje pri pogojih indirektnega kaljenja uporabljamo le dve temperaturi:

- 790°C za jekla č.1220, č.1221,
- 820°C za jekla č.4320, č.4321, č.4720, č.4721, č.5420, č.5421, č.7420.

Za ta jekla pri navedenih pogojih indirektnega kaljenja ima železarna Ravne izdelane pasove garantirane kaljivosti. Mimogrede naj omenimo, da določanje kaljivosti jedra po jominyjevi metodi v zadnjem času zelo izpodriva preizkušanje trdote po slepem kaljenju jekel za cementacijo. Pri cementiranih probah merjenje trdote po Rockwellu ni mogoče, zato se zaradi enotnosti celotne dokumentacije največkrat tudi pri meritvah trdot kaljivosti osnovnega jekla uporablja merjenje trdote po Vickersu z majhno obtežbo $HV_{10\text{kp}}$. Tabele za pretvarjanje vrednosti trdote HV—HRC so večkrat precej različne, zato je potreben dogovor o uporabi določene tabele za pretvarjanje. Predlagamo, da se za pretvorbe uporablja tabela po DIN 50150.

Po Grossmann-Jominyjevi metodi² določimo idealni kritični premer D_1 za kaljivost jedra preiskovanega jekla.

3. Cementacija prob

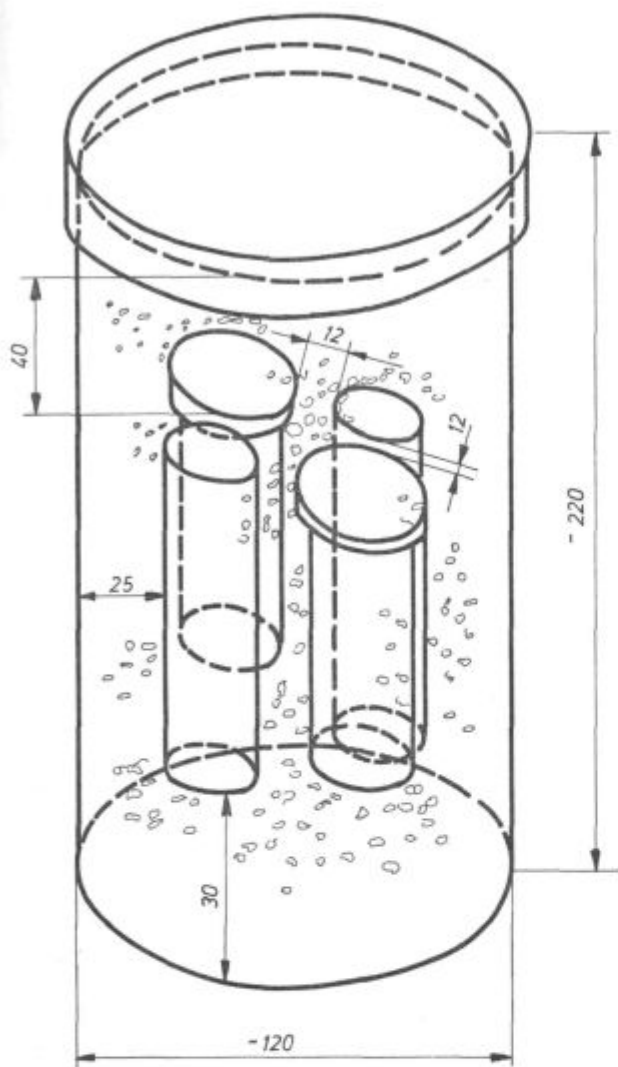
Za reproduktivnost rezultatov preizkušanja je odločilne važnosti, da so pogoji cementiranja prob točno precizirani oziroma standardizirani. Na osnovi dosedanjih raziskav predlagamo naslednje standardizirane pogoje:

— za cementacijo je treba uporabiti ostro trdno sredstvo. Najenakomernjšo cementacijo smo dosegli z Durferrit-Granulat 30 z dodatkom 8 % svežega, neosušenega BaCO_3 za aktiviranje. Tako sredstvo je potrebno zato, ker je potrebno v cementirani plasti doseči vsaj 1,1 % C na globini 0,2 mm pod površino cementirane probe. Dodatek neosušenega karbonata se priporoča na osnovi izkušenj Metalurškega inštituta v Ljubljani^{3,4}, kjer so ugotovili, da primešani osušeni karbonat povzroča lokalno neenakomerno cementacijo. Pri teh poizkusih je potrebno uporabiti vedno sveže sredstvo za cementacijo.

— v zaboj za cementacijo vložimo vedno dve jominyjevi probi in dva valjčka $\varnothing 25 \times 150$ mm po skici na sliki 1. Pri pakiranju je treba paziti, da

so posamezne probe od vseh strani obdane z najmanj 12 do 15 mm debelim slojem sredstva za cementacijo. Zaboječek je treba zamazati pri pokrovu tako, da je preprečen dostop zraka.

ostale probe pa se ohlajajo v zaboječku na mirnem zraku. Pri nekaterih vrstah jekla je potrebno za boljše struženje po ohladitvi kratko žarjenje na 600°C ca. 1 uro.



Slika 1
Pakiranje prob za cementacijo

— Temperatura cementacije mora biti standardna 925°C. Za določeno peč je potrebno preizkusiti in nato predpisati standardizirani postopek ogrevanja, držanja na temperaturi in hlajenja. Priporočljivo je, da se zaboječek vloži v peč na temperaturi 400 do 450°C, nato pa se segreva na temperaturo cementacije 925°C. Z merjenjem temperature s termoelementom v sredini zaboječka je potrebno določiti čas ogrevanja in čas, ki je potreben za izenačevanje temperature v zaboječku, kakor tudi razliko temperature peči in temperature v sredini zaboječka. Upoštevajoč vse to mora potekati cementacija pri 925°C 9 ur po izenačitvi temperature.

Po cementaciji vzamemo iz zaboječka jominyjevo probo, namenjeno za direktno kaljenje, vse

4. Kaljenje cementiranih jominyjevih prob

Takoj po cementaciji 9 ur na 925°C se vzame eno jominyjevo probo iz zaboječka in se z njo po standardnih predpisih za jominyjev poizkus kaljivosti izvede čelno kaljenje v ustrezni napravi. Važno je, da za prenos probe iz zaboječka na temperaturi 925°C do začetka čelnega kaljenja ne porabimo več kot 5 sekund. To je poizkus, ki je namenjen določanju kaljivosti cementirane plasti za pogoje »direktnega kaljenja«.

Po ohladitvi preostalih prob v zaboječku se druga jominyjeva proba v ustrezni zaščitni atmosferi s potencialom ogljika 1,1 do 1,2 % C ali v grafitnem loncu ogreje na temperaturo avstenitizacije za določanje kaljivosti pri pogojih »indirektnega kaljenja«. Tudi to probo čelno kalimo v skladu s standardnimi predpisi jominyjevega poizkusa.

5. Določevanje krivulje naogljichenja

Probni valjčki $\varnothing 25 \times 150$ mm služijo za določevanje krivulje naogljichenja, ki jih dobimo s kemijsko analizo ogljika v ostružkih, ki jih s struženjem pazljivo posnemamo po slojih. Vse analize je treba izvršiti v dveh paralelkah, zaradi česar sta potrebna dva valjčka.

Do globine 0,50 mm se posnema sloje v stopnjah po 0,1 mm, dalje do globine 3,0 mm pa sloje v stopnjah po 0,25 mm.

Pri struženju je treba zelo paziti, da se ostružki ne segrejejo, kar zagotovimo z manjšo hitrostjo rezanja in z manjšim pomikom. Pri struženju ni dopustno hlajenje, ker bi hladilno sredstvo motilo pri kemijski analizi ostružkov.

Poprečne vsebnosti ogljika nanašamo v diagram odvisnosti vsebnosti ogljika od globine cementirane plasti (glej primer na sliki 2).

Iz takih diagramov se določa grafično globine cementirane plasti, ki ustrezajo posameznim vsebnostim ogljika v odstotkih:

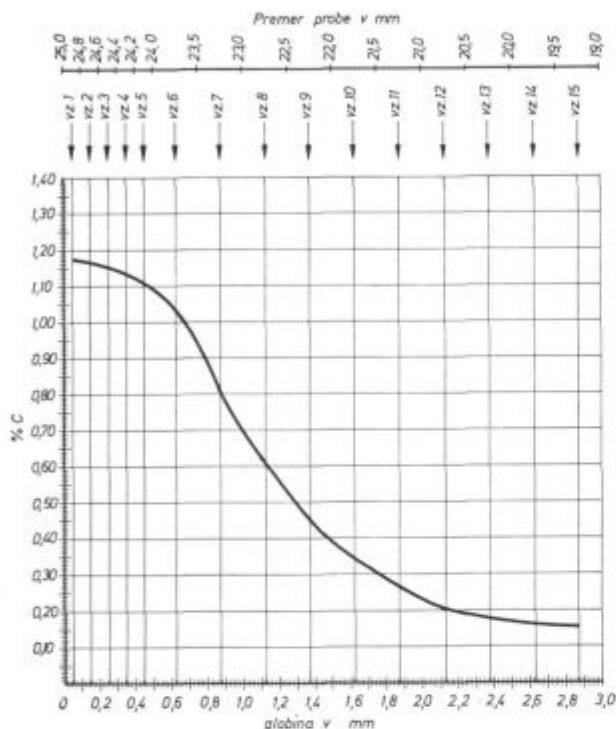
1,1 — 1,0 — 0,9 — 0,8 — 0,7 — 0,6 — 0,5 — 0,4 — 0,3 — vsebnost ogljika v osnovnem jeklu.

6. Brušenje jominyjevih prob

Na osnovi krivulje naogljichenja se določi za posamezne vsebnosti ogljika ustrezne globine cementirane plasti, do katerih je potrebno jominyjeve probe zbrusiti za merjenje trdot vzdolž probe. Tako na posameznih vzdolžnih brušenih ploskvah izmerjene trdote ustrezajo pripadajočim konstantnim vsebnostim ogljika.

Brušenje mora biti izredno pazljivo in precizno, ker lokalno popuščanje zaradi pregretja pri brušenju privede do napačnih rezultatov. Pri brušenju mora biti zato zagotovljeno zadostno hlajenje.

Na površini prob pride do delnega razogljichenja ali pa do neenakomernega naogljichenja, zato so meritve trdote v površinski plasti do globine ca. 0,2 mm praktično neuporabne. Ta globina predstavlja najmanjšo debelino plasti, ki se posame vzdolž jominyjeve probe z brušenjem. Omenjene neenakomernosti na površini cementirane plasti pa nimajo pomembnega vpliva na kaljivost cementirane plasti pod površinsko plastjo.



Slika 2
Krivulja naogljichenja za jeklo Č.1221

Če se na brušeni vzdolžni ploskvi meri trdota, se lahko na istem položaju po meritvi proba brusi še na večjo globino za merjenje trdote pri nižjem nivoju vsebnosti ogljika, pri tem pa je potrebno odstraniti plast debeline najmanj 0,5 mm, da bi se izognili vplivu predhodnih meritev.

7. Merjenje trdote

Na različnih globinah cementirane plasti, ki ustrezajo določenim vsebnostim ogljika, se meritve trdote izvajajo po Vickersu z majhno obtežbo HV_{5kp} vzdolž jominyjeve probe. (V predhodnih raziskavah smo merili trdote HV_{1kp} , pri čemer pa smo ugotovili, da hrapavost brušene površine otežkoča natančnost meritve trdot.)

Meritve trdot se normalno v oddaljenosti 16 mm od kaljenega čela izvajajo na vsaka 2 mm, dalje pa na vsake 4 mm. Ta način dopušča tudi dodatna merjenja, če je potek krivulje trdot neenakomeren. Meritve trdot pridejo praktično v poštev le do oddaljenosti 50 mm od kaljenega čela. V železarni Ravne vnašamo rezultate meritev trdot neposredno v ustrezen formular (slika 3), ki je prilagojen

načinu merjenja in vsebuje vse podatke, potrebne za dokumentacijo poizkusa.

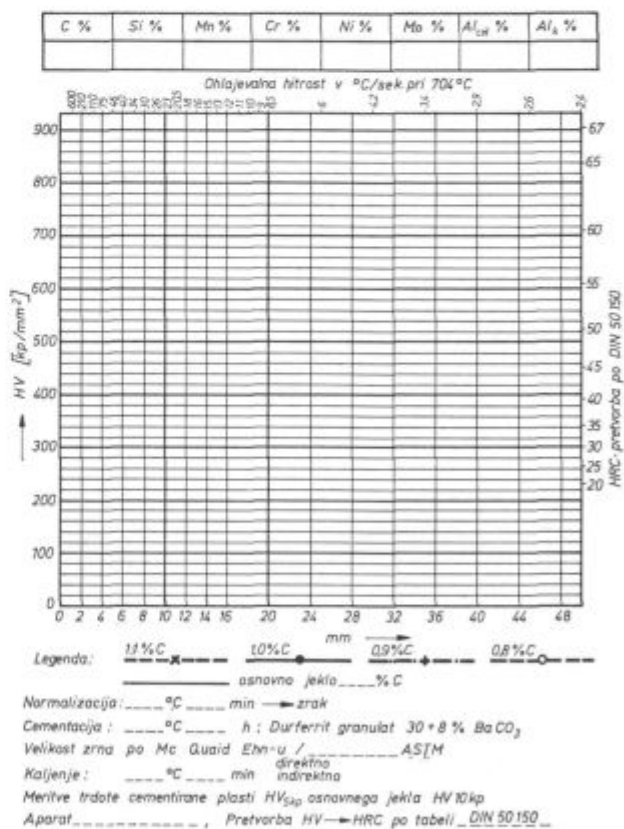
Naj omenimo, da za brušenje jominyjevih prob in merjenje trdot lahko uporabljamo dva načina, ki sta prikazana na sliki 4. Obe varianti sta razmeroma enakovredni: za varianto A se odločimo takrat, ko lahko pri brušenju zagotovimo zahtevano natančnost; za varianto B pa takrat, ko želimo brušenje poenostaviti, lahko pa izvedemo meritve trdot z večjo natančnostjo. V železarni Ravne smo se za nadaljnje poizkuse odločili za postopek variante A.

8. Shema postopkov preizkušanja obrobne kaljivosti cementiranih jekel za določene namene

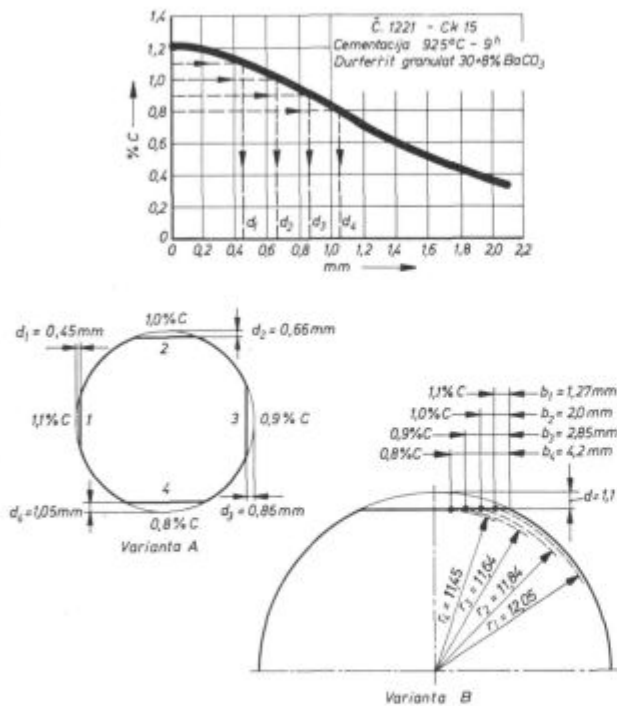
Rezultati dosedanjih raziskav obrobne kaljivosti so pokazali, da so odločilnega pomena standardizirani pogoji preizkušanja, zato smo izdelali za 6 možnih variant po namenu preiskave sheme, ki naj bi posamezne postopke predpisale na tak način, da bi bili pogoji preizkušanja čimbolj enotni in rezultati med seboj res primerljivi.

Na sliki 5 je prikazan postopek najširše raziskave obrobne kaljivosti, ki smo ga pravkar v celoti opisali.

Če nas pri določenem jeklu zanima le obrobna kaljivost pri pogojih direktnega kaljenja (slika 6), odpade v shemi na sliki 5 veja preizkušanja neme-

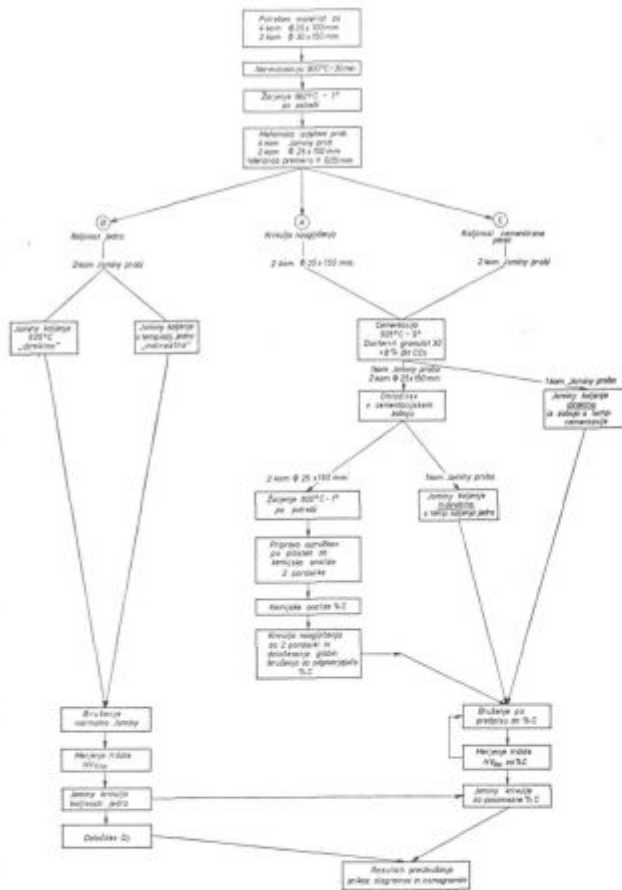


Slika 3
Formular železarne Ravne za dokumentacijo meritev trdot pri preizkušanju obrobne kaljivosti (originalni format A)



Slika 4

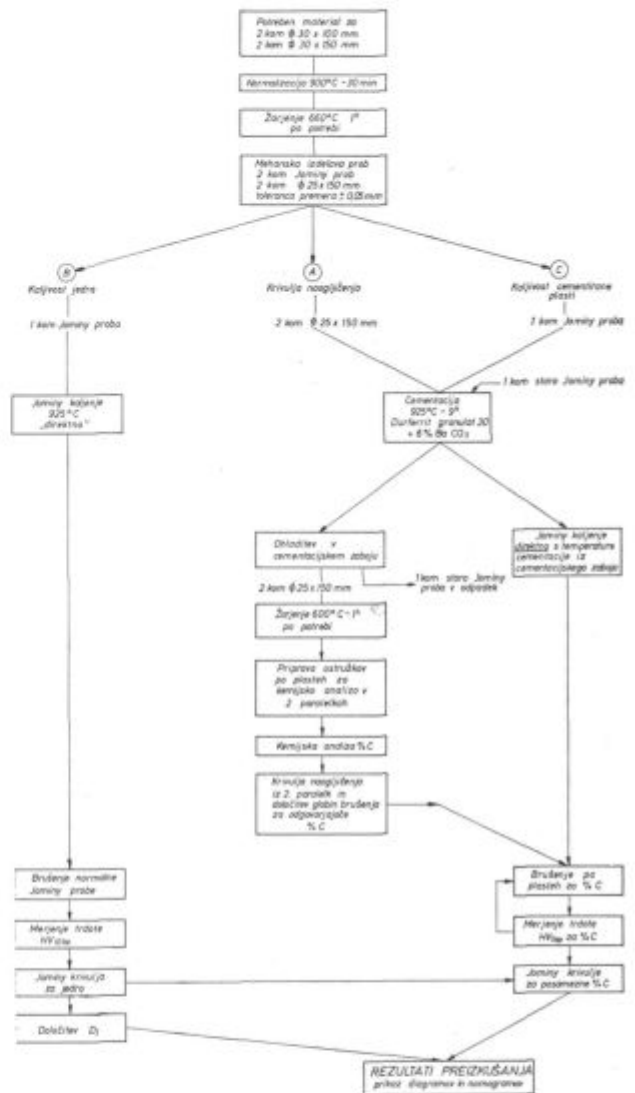
Primer krivulje naogljčenja in predpisa za brušenje ter merjenje trdot pri preizkusu obrobne kaljivosti



Slika 5

Shema standardiziranega postopka preizkušanja za popolno raziskavo obrobne kaljivosti cementiranega jekla

njena indirektnemu kaljenju. Opozarjamo pa, da je treba pri cementaciji obdržati odnos teže prob in teže sredstva za cementacijo, zato v zabojček vložimo staro jominyjevo probno ali pa nek kos ustreznih dimenzij, ki ga nato zavržemo.



Slika 6

Shema standardiziranega postopka preizkušanja pri raziskavi obrobne kaljivosti cementiranega jekla samo za direktno kaljenje

Postopek se ustrezno spremeni, če nas pri jeklu zanima le obrobna kaljivost pri pogojih indirektnega kaljenja (slika 7).

Slika 8 prikazuje shemo postopka, kakršnega izvajamo, če obrobno kaljivost jekla poznamo, želimo pa kontrolirati le enakomernost in nivo karakterističnih lastnosti jekla — v tem primeru obrobne kaljivosti.

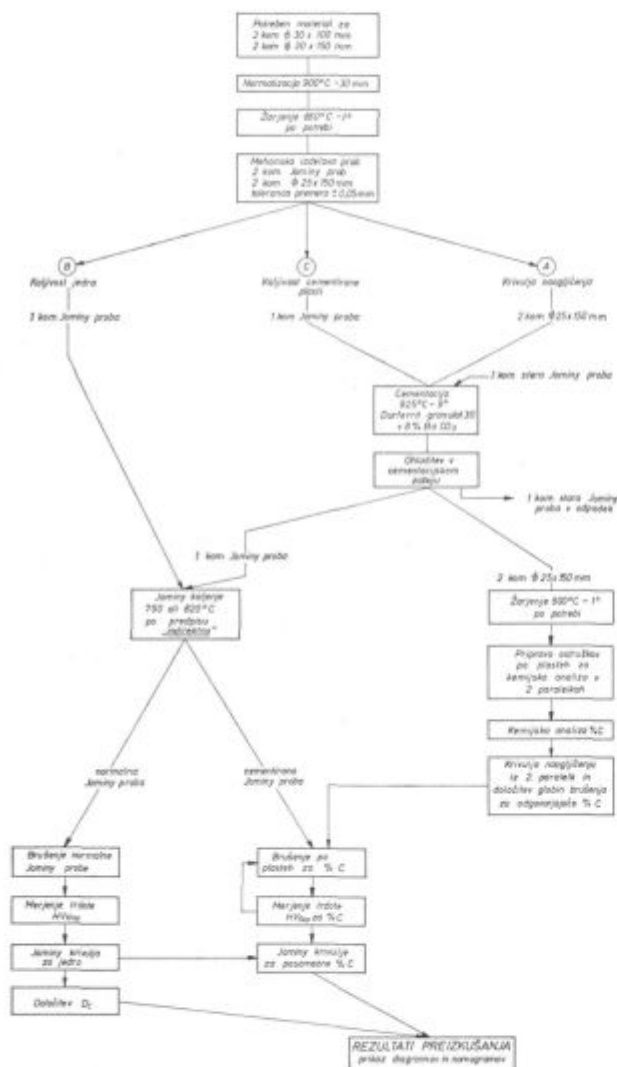
Če imamo za določeno jeklo dovolj podatkov preizkušanja, potem lahko ob standardiziranih pogojih cementacije z zadostno natančnostjo vnaprej določimo pogoje brušenja, ne da bi ugotavljali

krivuljo naogljichenja z analizo ostružkov. Krivuljo naogljichenja izdelamo v takih primerih samo po potrebi v slučaju ugotovljenih nenormalnosti. Zato seveda cementiramo valjčke za določanje krivulje naogljichenja, struženje in kemijske analize pa izvršimo le v slučaju potrebe za izvršitev določenih naknadnih korektur. Ta del preiskave je na sliki 8 prikazan črtkano. Precej obsežno preizkušanje je namreč pokazalo, da se krivulje naogljichenja pod standardiziranimi pogoji cementacije zelo malo razlikujejo med seboj.

Za kontrolno preizkušanje nas prav tako ne zanima ugotavljanje kaljivosti za vse vsebnosti ogljika. Normalno se omejimo le na sledeče: 1,1 % C — 1,0 % C — 0,9 % C — 0,8 % C in % C osnovne sestave jekla.

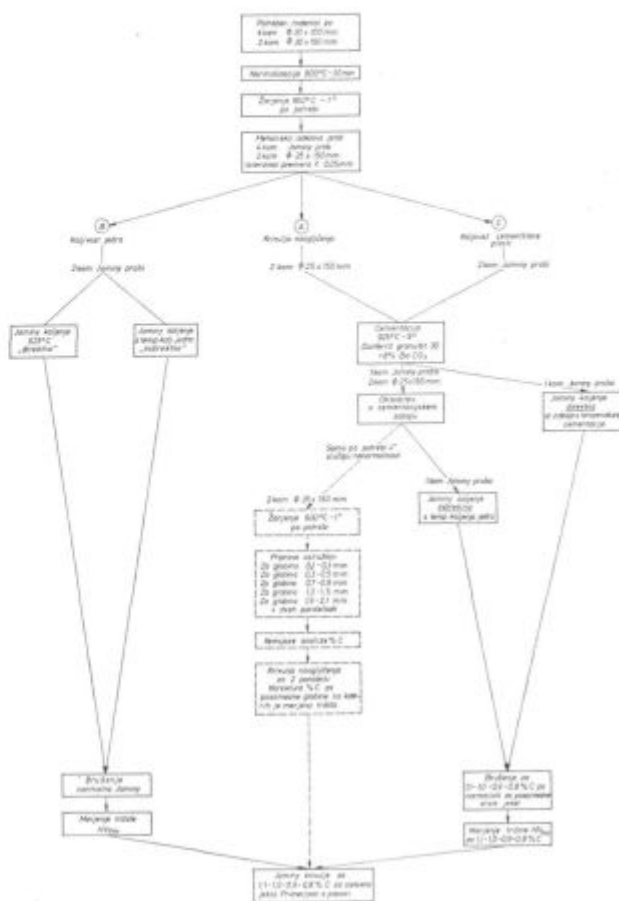
Standardiziranje postopka brušenja cementiranih jominyjevih prob zelo olajša laboratorijsko delo pri preizkušanju obrobne kaljivosti, ker nismo odvisni od priprave ostružkov in kemijske

analize. Tudi v slučaju, da je krivuljo naogljichenja potrebno kontrolirati, izvršimo to po skrajšanem postopku, pri katerem zadošča 5 vzorcev ostružkov, kakor je to prikazano na shemi.



Slika 7

Shema standardiziranega postopka preizkušanja pri različni obrobni kaljivosti cementiranega jekla samo za indirektno kaljenje



Slika 8

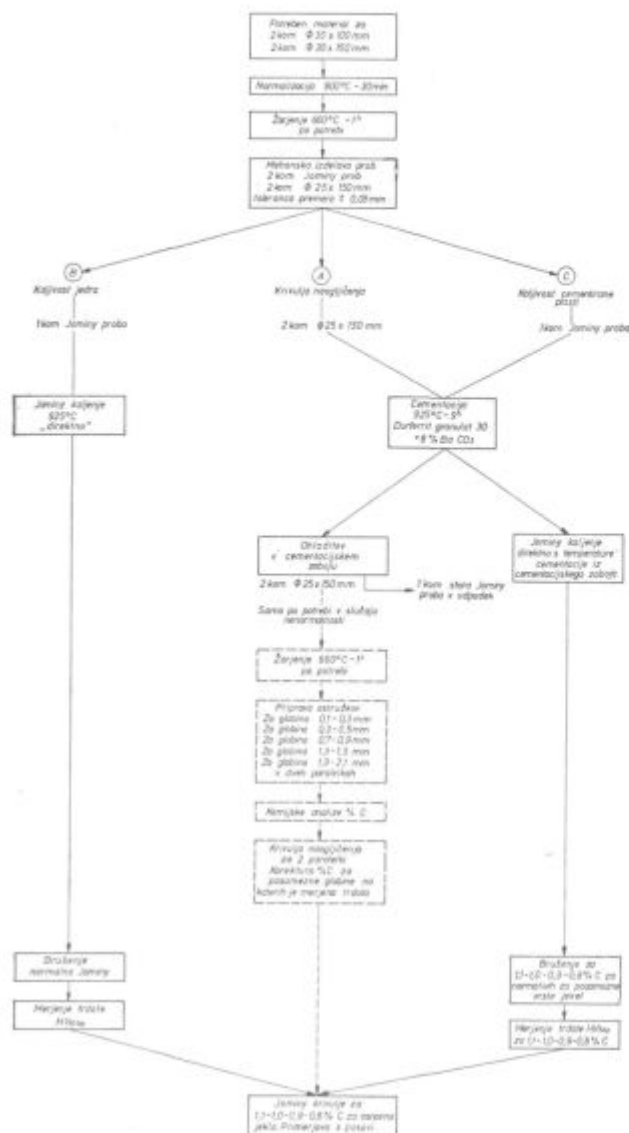
Shema standardiziranega postopka preizkušanja za kontrolo enakomernosti obrobne kaljivosti cementiranega jekla pri direktnem in indirektnem kaljenju

Na slikah 9 in 10 sta zopet prikazani varianti z ozirom na namen preiskave. Postopek na sliki 9 pride v poštev, kadar nas zanima le direktno kaljenje, postopek na sliki 10 pa takrat, kadar nas zanima le indirektno kaljenje.

Prikazovanje rezultatov preizkušanja

1. Jominyjeve krivulje za različne vsebnosti ogljika predstavljajo način neposrednega prikazovanja rezultatov preizkušanja. Tako lahko prikazemo jominyjeve krivulje za vse vsebnosti ogljika od najvišje v cementirani plasti do vsebnosti ogljika osnovnega jekla. Za medsebojne primerjave se kot standardne vsebnosti ogljika največkrat uporabljajo 1,1 — 1,0 — 0,9 — 0,8 % C. Kaljivost za druge vsebnosti ogljika se določa in prikazuje le po potrebi in interesantnosti.

Iz takih diagramov vidimo velike razlike kaljivosti osnovnega jekla, še bolj pa razlike kaljivosti cementirane plasti pri različnih vrstah jekla. Tako lahko jekla razdelimo v:



Slika 9

Shema standardiziranega kontrolnega postopka pri preizkušanju obrobne kaljivosti cementiranega jekla samo za direktno kaljenje

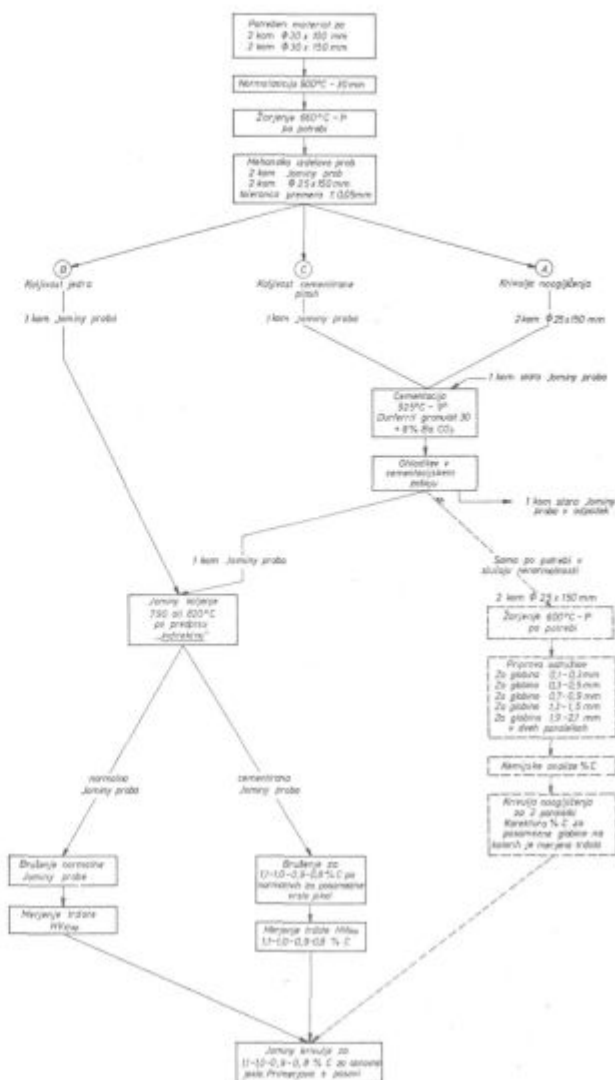
— skupino jekel slabe kaljivosti (nelegirana jekla za cementacijo in jekla z vsebnostjo mangana do 0,9 % ter molibdena do 0,4 %. Prevojna točka jominyjeve krivulje osnovnega jekla je okrog 5 do 6 mm od kaljenega čela probe.),

— skupino jekel močne kaljivosti (višje legirana jekla tipov Cr-Ni-Mo, Cr-Mn-Mo, Cr-Ni, Cr-Mo z vsebnostjo mangana nad 0,9 % ali molibdena nad 0,4 %),

— skupino jekel srednje kaljivosti (jekla, ki so po karakteristični kaljivosti in po kemijski sestavi med navedenima skupinama).

Pri jeklih vseh teh različnih skupin je lahko začetna trdota za enake vsebnosti ogljika praktično enaka.

Za olajšanje ocenjevanja kaljivosti cementiranih jekel na osnovi jominyjevih krivulj za različne vsebnosti ogljika prikazuje slika 11 shematično



Slika 10

Shema standardiziranega kontrolnega postopka pri preizkušanju obrobne kaljivosti cementiranega jekla samo za indirektno kaljenje

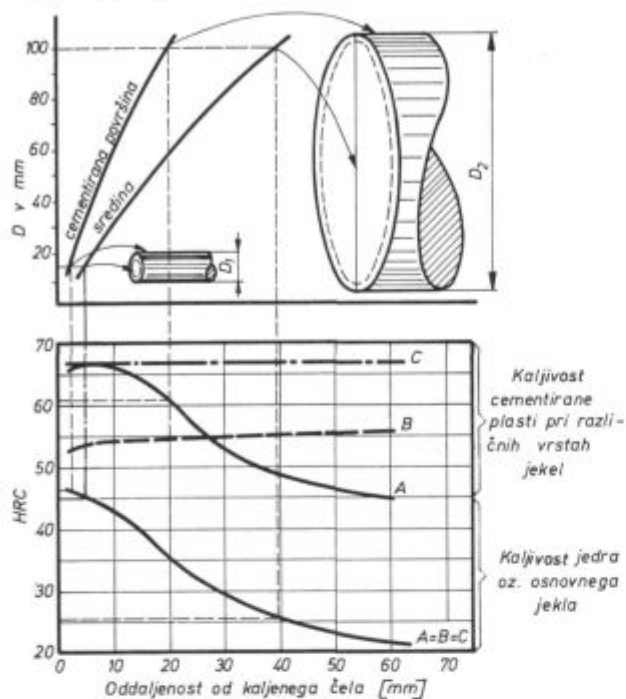
primerjavo treh tipičnih jominyjevih krivulj cementiranih jekel različnih vrst. Pri tem gre predvsem za primerjavo sposobnosti zakaljenja in prekaljivosti, pri čemer ob teh treh ekstremnih primerih poseben komentar ni potreben. Zelo važno pa je dejstvo, da je lahko ob tako različni kaljivosti cementirane plasti kaljivost osnovnega jekla praktično enaka. To nam potrjuje vrednost in potrebo obravnavane metode preizkušanja.

Na slikah 12 do 14 so podani rezultati preizkušanja obrobne kaljivosti jekla Č.1221 in Č.5421.

Prikazovanje jominyjevih krivulj za vse vsebnosti ogljika postane večkrat nepregledno, zato se največkrat prikazujejo jominyjeve krivulje samo za izbrane vsebnosti ogljika, kakor to prikazujejo primeri na slikah 15 do 17 za tipične vrste jekel za cementacijo.

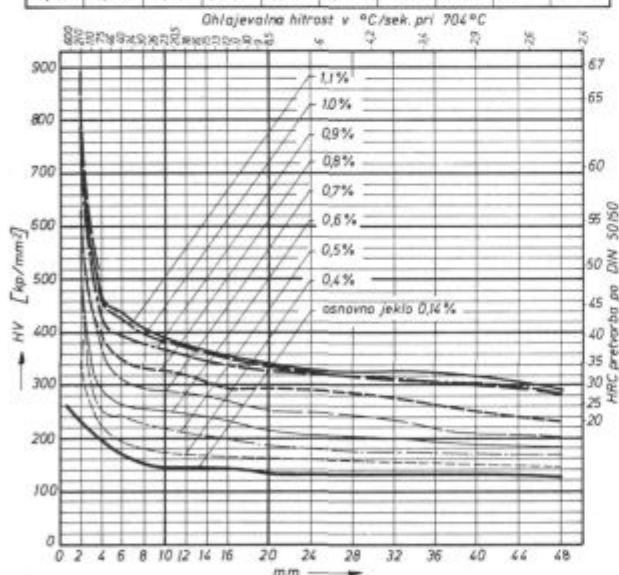
2. Jominyjeve krivulje za določene globine cementirane plasti se uporabljajo le v primerih naknadno korigiranih vsebnosti ogljika. Ta način

prikazovanja pa pride v poštev posebno v primerih kontrolnih preiskav, pri čemer gre predvsem za enakomernost kaljivosti v določeni globini cementirane plasti.



Slika 11
 Shema kaljivosti cementirane plasti in jadra v zvezi s trdotno na površini in v sredini palic različnih premerov⁴

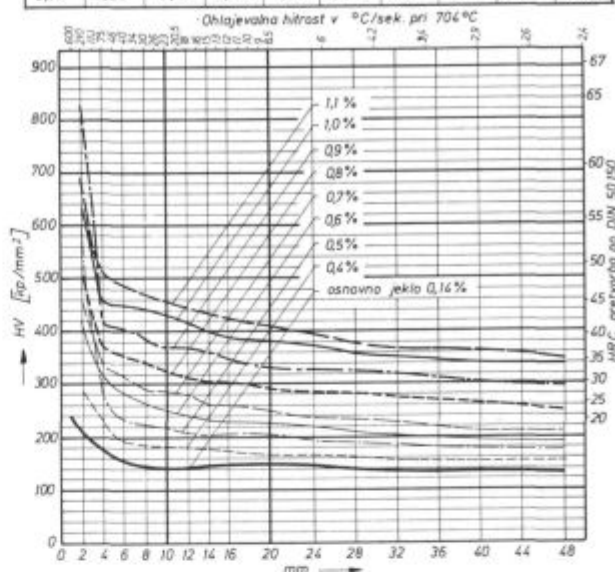
C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	S %	Cu %	P %	V %	Al _{tot} %
0,14	0,25	0,37	0,03	0,02	0,026	0,13	0,015	0,01	0,029



Normalizacija: 900 °C 30 min → zrak
 Cementacija: 925 °C 9 h; Durferit granul 30 + 8 % Ba CO₃
 Velikost zrna po Mc Quaid Ehn-u / 6-7 ASTM
 Kaljenje: 790 °C 30 min. indirektno
 Meritve trdote cementacije plasti HV₅₀ osnovnega jekla HV10kp
 Aparat: Vickers. Pretvorba HV → HRC po tabeli DIN 50150

Slika 12
 Obrobna kaljivost cementiranega jekla Č.1221 (Ck 15) pri pogojih indirektnega kaljenja

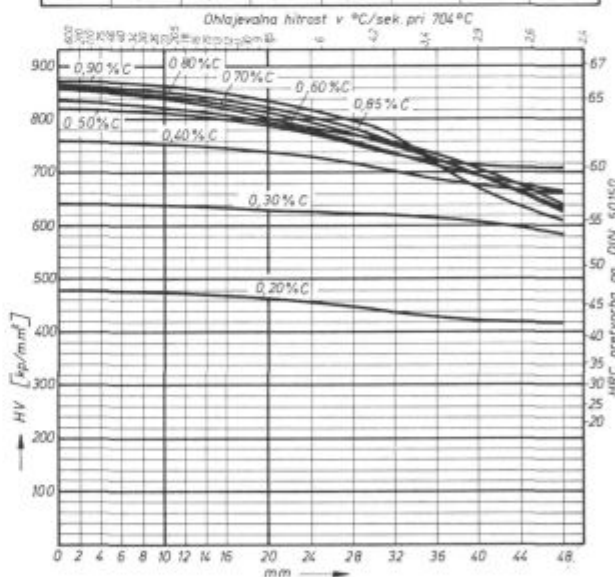
C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	S %	Cu %	P %	V %	Al _{tot} %
0,14	0,25	0,37	0,03	0,02	0,026	0,13	0,015	0,01	0,029



Normalizacija: 900 °C 30 min → zrak
 Cementacija: 925 °C 9 h; Durferit granul 30 + 8 % Ba CO₃
 Velikost zrna po Mc Quaid Ehn-u / 6-7 ASTM
 Kaljenje: 925 °C min. direktno
 Meritve trdote cementirane plasti HV₅₀ osnovnega jekla HV10kp
 Aparat: Vickers. Pretvorba HV → HRC po tabeli DIN 50150

Slika 13
 Obrobna kaljivost cementiranega jekla Č.1221 (Ck 15) pri pogojih direktnega kaljenja

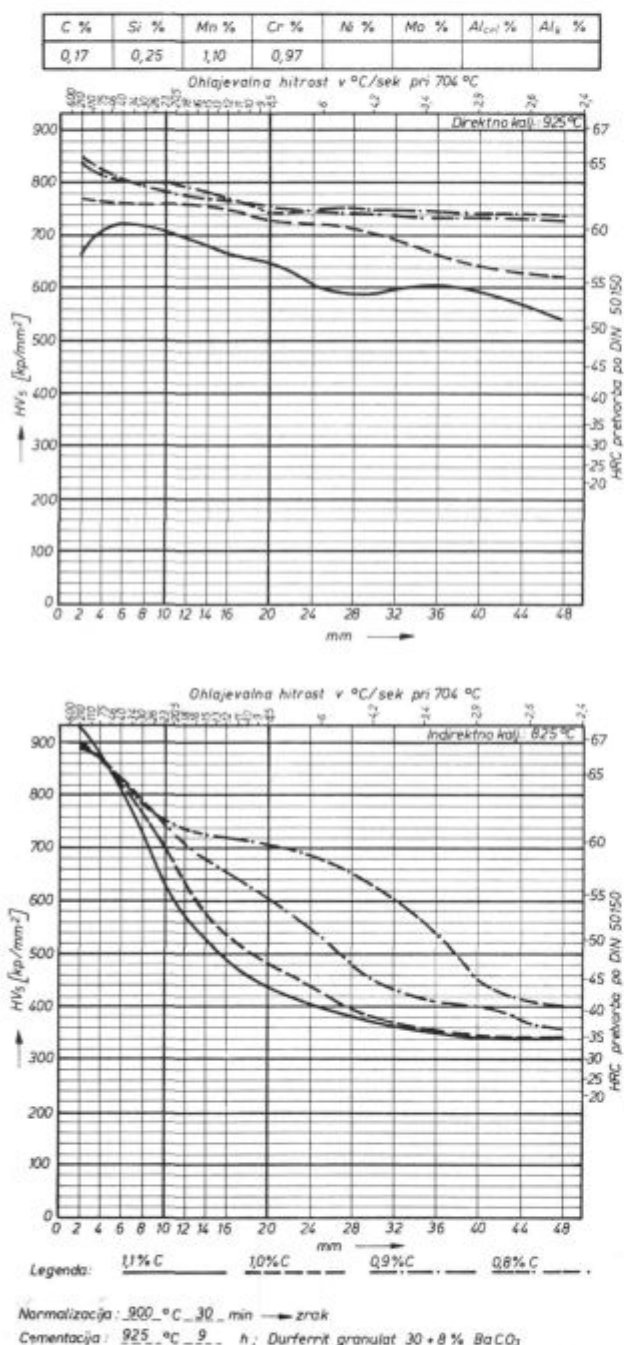
C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Al _{tot} %	Al ₀ %
0,20	0,30	0,58	2,03	2,05	-	0,010	0,006



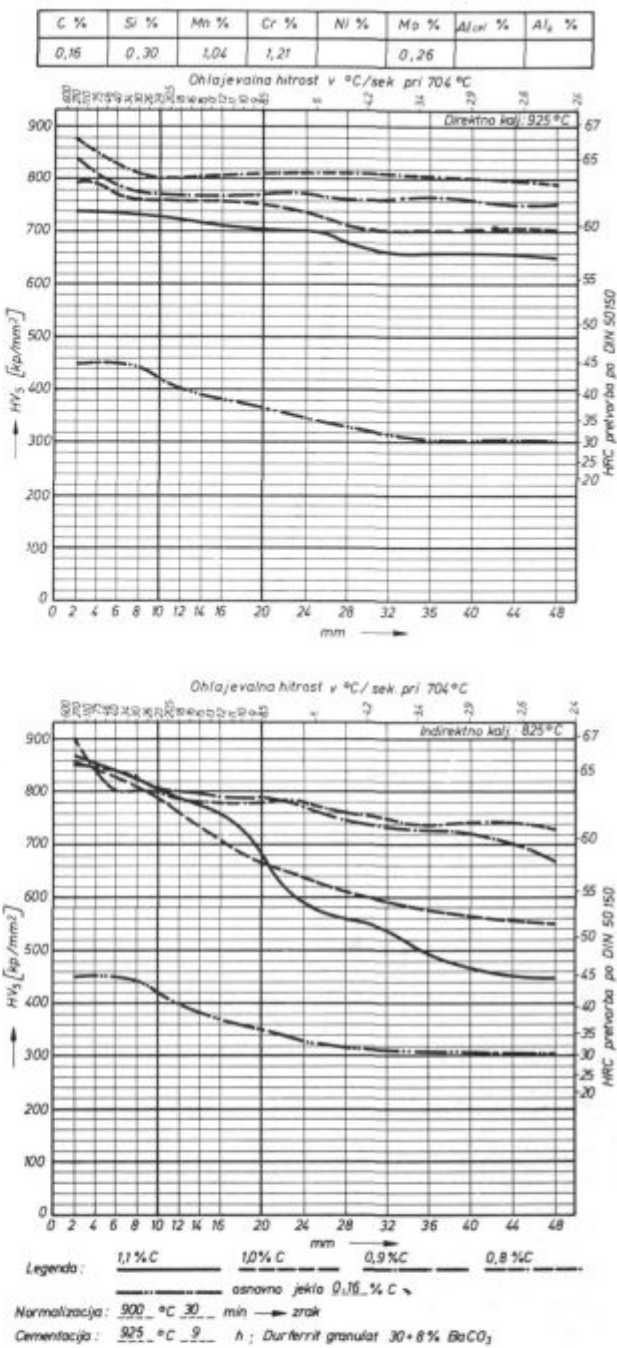
Normalizacija: 900 °C 30 min → zrak
 Cementacija: 900 °C 9 h; Durferit granul 30 brez dodatkov (2/3 svež in 1/3 enkrat rabljen)
 Velikost zrna po Mc Quaid Ehn-u / 6-7 ASTM
 Kaljenje: 825 °C min. indirektno
 Meritve trdote cementirane plasti HV₅₀ osnovnega jekla HV10kp
 Aparat: Leitz-Dutime. Pretvorba HV → HRC po tabeli DIN 50150

Slika 14
 Obrobna kaljivost cementiranega jekla Č.5421 (ECN 200) pri pogojih indirektnega kaljenja

3. Nomogrami za primerjavo trdot v odvisnosti od vsebnosti ogljika pri določenih hitrostih ohlajevanja oz. pogojih kaljenja nam precej olajšajo medsebojne primerjave pri izbiri najustreznejše vrste jekla in toplotne obdelave. Pri tem načinu prikazovanja so podane trdote za določene oddaljenosti od kaljenega čela (na sliki 18 npr. za 2, 20 in 40 mm). Trdota pri 2 mm karakterizira sposobnost zakaljenja, trdote pri 20 in 40 mm pa sposobnost prekaljivosti. Na ta način se zelo jasno izražajo razlike med vrstami jekel in razlike med direktnim in indirektnim kaljenjem.



Slika 15
Obrobna kaljivost jekla Č.4320 (EC 80)

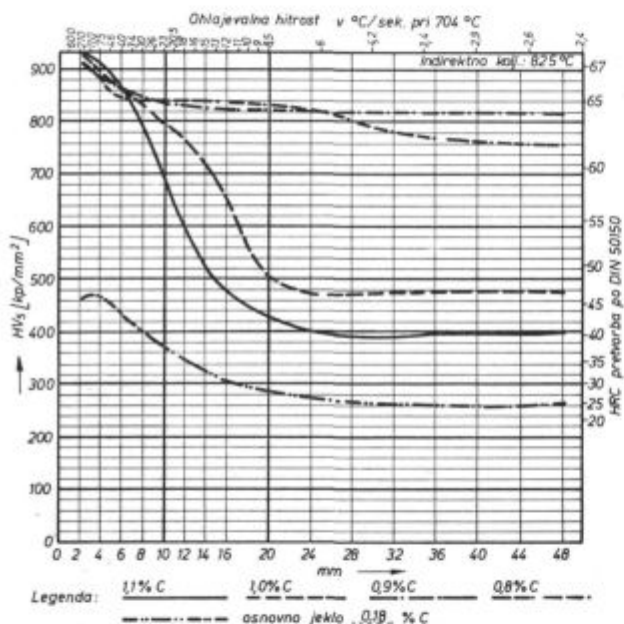
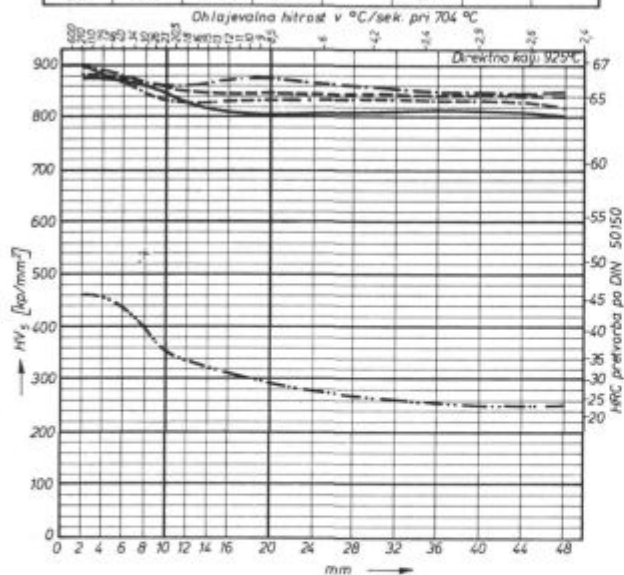


Slika 16
Obrobna kaljivost jekla Č.4720 (ECMo 80)

4. Nomogrami izotrdoti

Podajanje rezultatov obrobne kaljivosti v obliki jominyjevih krivulj postane pri večjem številu različnih vsebnosti ogljika nepregledno. Nomogrami izotrdot nam podajajo mnogo bolj pregledno medsebojne odvisnosti vsebnosti ogljika, hitrosti ohlajevanja oz. oddaljenosti od kaljenega čela cementirane jominyjeve probe in trdote. Nomogram izotrdot konstruiramo iz jominyjevih krivulj za različne vsebnosti ogljika tako, da rišemo krivulje enakih trdot v koordinatnem sistemu, v katerem je na abscisi oddaljenost od kaljenega

C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Al _{tot} %	Al ₂ %
0,18	0,24	0,63	0,48		0,59		



Legenda: — osnovno jeklo 0,18 % C
 Normalizacija: 900 °C 30 min → zrak
 Cementacija: 925 °C 9 h: Durfernit granulat 30+8% BaCO₃

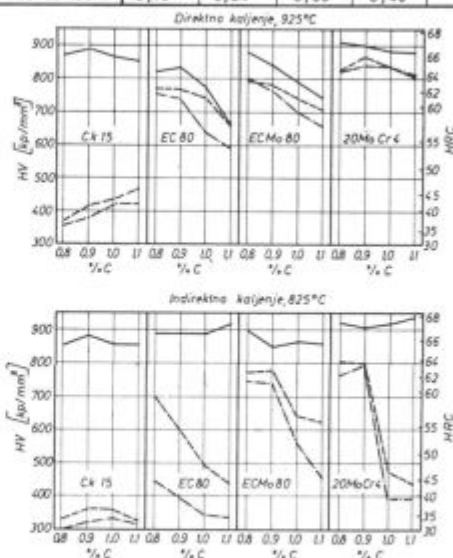
Slika 17
 Obrobna kaljivost jekla C.7420 (20 Mo Cr 4)

čela jominyjeve probe oz. ohlajevalna hitrost, na ordinati pa vsebnost ogljika.

Na slikah 19 do 24 so podani nomogrami izotrdot za tipične vrste jekel za cementacijo pri pogojih indirektnega oz. direktnega kaljenja.

Pri nomogramih izotrdot moramo upoštevati, da krivulje za oddaljenosti od kaljenega čela, ki so manjše od 4 mm, niso zanesljive. Poleg netočnosti merjenja trdot v neposredni bližini kaljenega čela lahko v bližini vpliva tudi vsebnost ogljika, ker je jominyjeva proba cementirana tudi s čelne strani.

Vrsta jekla	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Mo
Č. 1221 Ck 15	0,16	0,23	0,53	—	—	—
Č. 4320 EC 80	0,17	0,25	1,10	0,97	—	—
Č. 4720 ECMo 80	0,16	0,30	1,04	1,21	—	0,26
Č. 20 20MoCr4	0,18	0,24	0,63	0,48	—	0,59



Legenda	Oddaljenost od kaljenega čela Jominy probe	Ohlajevalna hitrost °C/sek pri 705°C
—	2 mm	210 °C/sek
- - -	20 mm	85 °C/sek
- · - · -	40 mm	29 °C/sek

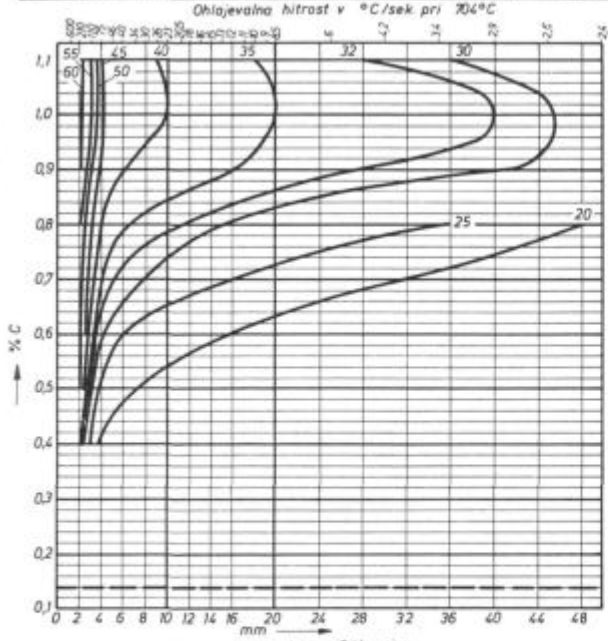
Slika 18
 Primerjava trdot za različne vrste jekel, različne vsebnosti ogljika, različne ohlajevalne hitrosti in načine kaljenja

Poleg nomograma izotrdot se podaja še jominyjeve krivulje posameznih šarž ali pa pas garantirane kaljivosti osnovne sestave jekla.⁷ Iz teh podatkov se po Grossmann-Jominyjevem postopku² lahko določi idealni kritični premer kot značilni podatek kaljivosti jekla.

Primerjava nomogramov izotrdot različnih vrst jekla nam daje zelo dragocene informacije o uporabnosti in lastnostih različnih vrst jekel za cementacijo. Taka dokumentacija nam precej pomaga tudi pri izbiri jekla za določene namene in zahteve. Izdelava kompletnih nomogramov izotrdot zahteva precej obširno raziskavo, zato je izdelava teh nomogramov prepuščena v glavnem proizvajalcu jekla, ki na osnovi preiskav za večje število šarž izdela nomogram, ki informativno podaja karakteristične lastnosti določene vrste jekla. Posamezne šarže pa je treba posebej preizkusiti po skrajšanem postopku, če želimo v določenem območju podrobneje preizkusiti ali pa zagotoviti potrebne lastnosti. Iz rezultatov take skrajšane preiskave je nemogoče konstruirati nomogram izotrdot.

Tako kakor pri jominyjevih krivuljah imamo tudi pri nomogramih izotrdot možnost namesto vsebnosti ogljika na ordinati podajati globino cementacije, kar je v posebnih primerih zelo praktično.

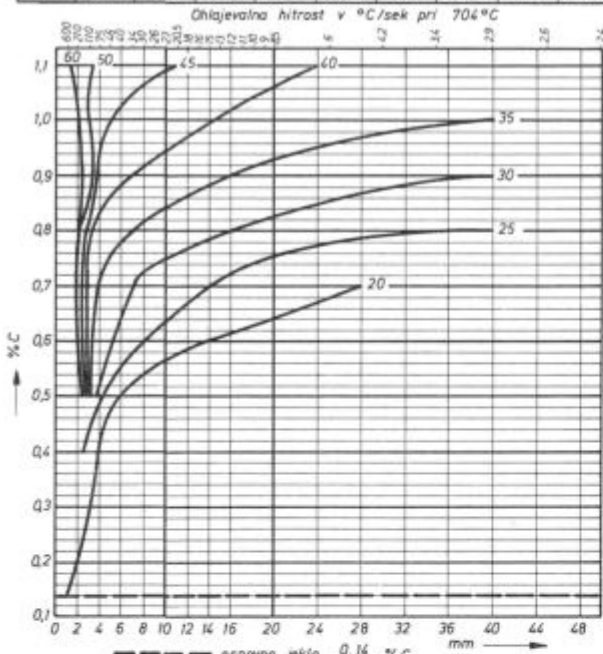
C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	S %	Cu %	P %	V %	Al _{cel} %
0,14	0,25	0,37	0,03	0,02	0,026	0,13	0,015	0,01	0,029



----- osnovno jeklo 0,14 % C
 Normalizacija: 900 °C 30 min. → zrak
 Cementacija: 925 °C 9 h; Durferrit granulit 30+8 % BaCO₃
 Velikost zrna po Mc Quaid Ehn-u / 5 ASTM
 Kaljenje: 730 °C 30 min. direktno
 Meritve trdote cementirane plasti HV5kp osnovnega jekla HV10kp
 Aparat Vickers; Pretvorba HV → HRC po tabeli DIN 50150

Slika 19
 Nomogram izotrdot jekla C.1221 (Ck 15) za indirektno kaljenje

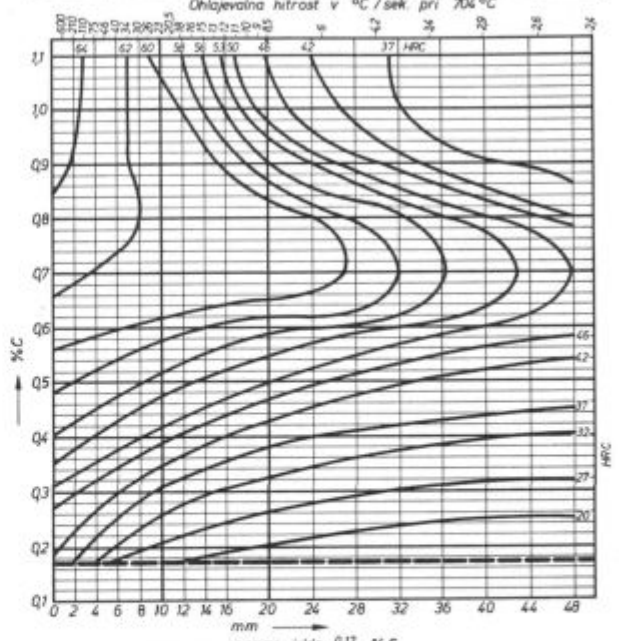
C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	S %	Cu %	P %	V %	Al _{cel} %
0,14	0,25	0,37	0,03	0,02	0,026	0,13	0,015	0,01	0,029



----- osnovno jeklo 0,14 % C
 Normalizacija: 920 °C 30 min. → zrak
 Cementacija: 925 °C 9 h; Durferrit granulit 30+8 % BaCO₃
 Velikost zrna po Mc Quaid Ehn-u / 5 ASTM
 Kaljenje: 925 °C 30 min. direktno
 Meritve trdote cementirane plasti HV5kp osnovnega jekla HV10kp
 Aparat Vickers; Pretvorba HV → HRC po tabeli DIN 50150

Slika 20
 Nomogram izotrdot jekla C.1221 (Ck 15) za direktno kaljenje

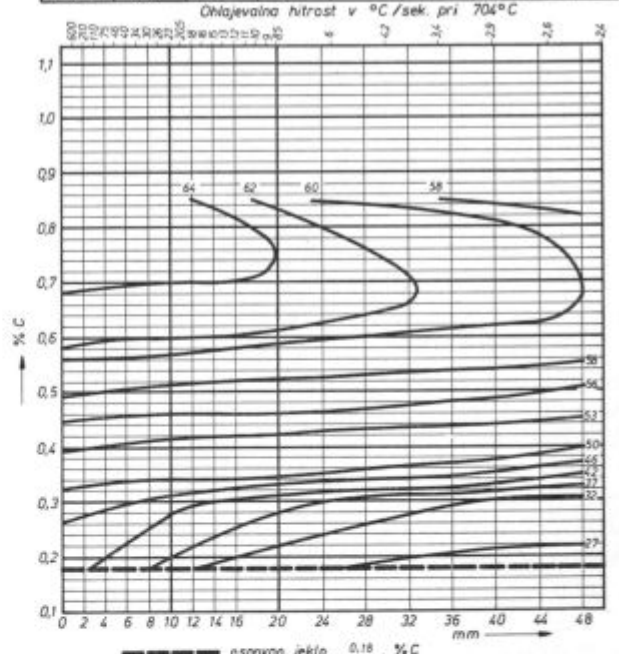
C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Al _{cel} %	Al _a %
0,17	0,25	1,13	0,99	-	-	0,008	0,004



----- osnovno jeklo 0,17 % C
 Normalizacija: 900 °C 30 min. → zrak
 Cementacija: 900 °C 3+1 h; Durferrit granulit 30 brez dodatkov (2/3 svež in 1/3 enkrat rabljen)
 Velikost zrna po Mc Quaid Ehn-u / 7 ASTM
 Kaljenje: 825 °C 30 min. indirektno
 Meritve trdote cementirane plasti HV5kp osnovnega jekla HV10kp
 Aparat Leitz Durimet; Pretvorba HV → HRC po tabeli DIN 50150

Slika 21
 Nomogram izotrdot jekla C.4320 (EC 80) za indirektno kaljenje

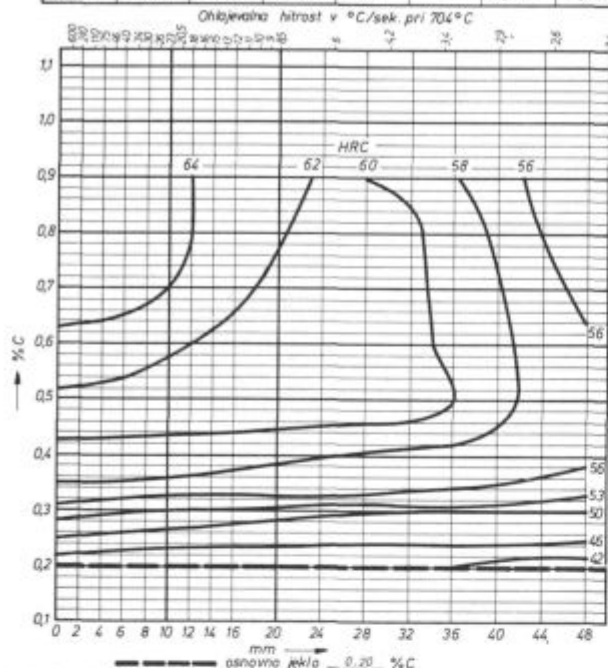
C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Al _{cel} %	Al _a %
0,18	0,39	1,00	1,06	-	0,26	0,011	0,006



----- osnovno jeklo 0,18 % C
 Normalizacija: 900 °C 30 min. → zrak
 Cementacija: 900 °C 3+1 h; Durferrit granulit 30 brez dodatkov (2/3 svež in 1/3 enkrat rabljen)
 Velikost zrna po Mc Quaid Ehn-u / 7 ASTM
 Kaljenje: 825 °C 30 min. indirektno
 Meritve trdote cementirane plasti HV5kp osnovnega jekla HV10kp
 Aparat Leitz Durimet; Pretvorba HV → HRC po tabeli DIN 50150

Slika 22
 Nomogram izotrdot jekla C.4720 (ECMo 80) za indirektno kaljenje

C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Al _{tot} %	Al _k %
0,20	0,30	0,58	2,03	2,05	—	0,010	0,006



Normalizacija: 900 °C 30 min. — zrak
 Cementacija: 900 °C 3+ h ; Durferit granulat 30 brez dodatkov (2/3 svež in 1/3 Velikost zrna po Mc Quad Ehn-u / 5-7 ASTM enkrat rabljen.)
 Kaljenje: 825 °C min. direktno
 Merilne trdote cementirane plasti HV₅₀ osnovnega jekla HV 10 kp
 Aparat Leitz Durimet Pretvorba HV → HRC po tabeli DIN 50150

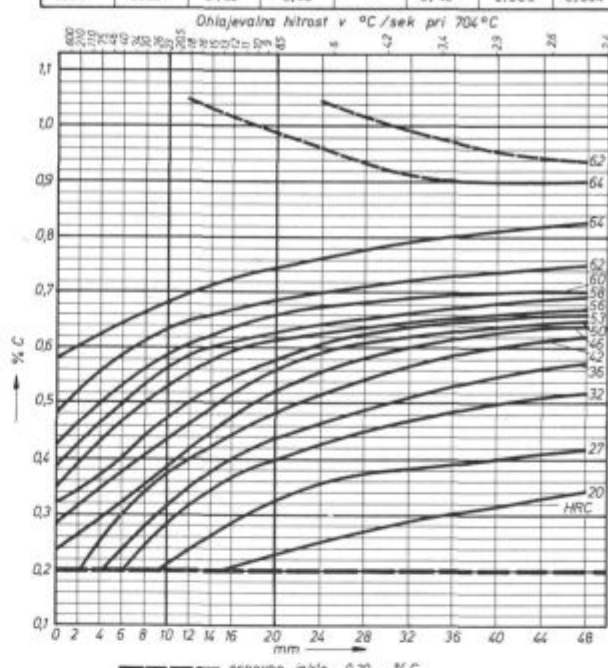
Slika 23
 Nomogram izotrdot jekla C.5421 (ECN 200) za indirektno kaljenje

Praktični pomen preizkušanja kaljivosti cementiranih jekel in uporabe nomogramov izotrdot

Vse krivulje izotrdot kažejo neki maksimum jominyjeve oddaljenosti od kaljenega čela probe oz. minimum ohlajevalne hitrosti pri določeni vsebnosti ogljika, ki je značilna za dano vrsto jekla. Večkrat je sicer ta maksimum izven območja prikazanega nomograma izotrdot. Ta značilna vsebnost ogljika, pri kateri se pojavlja maksimum, je v določenem območju praktično enaka za vse krivulje izotrdot določenega jekla. Vsebnost ogljika, pri kateri se pojavlja maksimum krivulj izotrdot, smatramo za eno od najznačilnejših karakteristik jekla v zvezi s poznavanjem kaljivosti cementirane plasti. Ta maksimum določa tisto vsebnost ogljika, pri kateri dosežemo popolno martenzitno strukturo na površini cementirane plasti pri minimalni hitrosti ohlajevanja.

Nagib krivulj izotrdot je neposredno merilo za prekaljivost cementirane plasti. Kolikor je nagib manjši, toliko je večja prekaljivost. To je ugodna karakteristika jekla za direktno kaljenje. Nomogram za jeklo C.7420 in tudi za jeklo C.4720 nam potrjuje znano dejstvo, da se za direktno kaljenje uporabljajo predvsem jekla višje legirana z molibdenom.

C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	Al _{tot} %	Al _k %
0,20	0,23	0,62	0,40	—	0,40	0,009	0,004



Normalizacija: 900 °C 30 min. — zrak
 Cementacija: 900 °C 2+ h ; Durferit granulat 30 brez dodatkov (2/3 svež in 1/3 Velikost zrna po Mc Quad Ehn-u / 6 ASTM enkrat rabljen.)
 Kaljenje: 900 °C min. direktno
 Merilne trdote cementirane plasti HV₅₀ osnovnega jekla HV 10 kp
 Aparat Leitz Durimet Pretvorba HV → HRC po tabeli DIN 50150

Slika 24
 Nomogram izotrdot jekla C.7420 (20 Mo Cr 4) za direktno kaljenje

Trdota, ki jo dosežemo v praksi toplotne obdelave jekel pri konstantnih pogojih avstenitizacije, je odvisna

- od hitrosti ohlajevanja,
- od vsebnosti ogljika in
- od kaljivosti jekla.

Te odnose analizira nomogram izotrdot. Znano je, da povečanje ohlajevalne hitrosti poveča trdoto jekla. Največjo trdoto doseže jeklo pri ohlajevanju s kritično ohlajevalno hitrostjo. Povečanje hitrosti ohlajevanja preko kritične meje ne omogoča nadaljnega povečevanja trdote. Poglejmo te odnose na praktičnem primeru nomograma izotrdot na sliki 21. Poglejmo najprej vpliv vsebnosti ogljika na trdoto pri ohlajevalni hitrosti, ki ustreza oddaljenosti 20 mm od kaljenega čela jominyjeve probe. S povečevanjem vsebnosti ogljika od sestave osnovnega jekla navzgor se povečuje trdota pri konstantni ohlajevalni hitrosti. To povečevanje pa lahko pričakujemo le do vsebnosti ca. 0,7 % C. Pri nadaljnjem zviševanju vsebnosti ogljika vidimo iz nomograma izotrdot, da nam začne trdota zopet razmeroma hitro padati. To je v glavnem posledica pojava zaostalega avstenita. Optimalna vsebnost ogljika je torej pri tem jeklu 0,7 do 0,8 % C. V istem nomogramu najdemo trdoto 56 HRC pri 0,4 % C samo v neposredni bližini

kaljenega čela probe. S povečevanjem vsebnosti ogljika dosežemo isto trdoto pri mnogo manjših ohlajevalnih hitrostih. Najmanjša ohlajevalna hitrost za trdoto 56 HRC je potrebna pri vsebnosti ogljika 0,7 %. Ta ohlajevalna hitrost okrog 3° C/sek. ustreza oddaljenosti od kaljenega čela 36 mm. Pri večjih vsebnostih ogljika je zopet potrebna za doseganje iste trdote večja ohlajevalna hitrost.

Iz nomograma izotrdot dobimo torej na tak način zelo važno informacijo o optimalni vsebnosti ogljika na površini cementirane plasti, za doseganje največje trdote in kaljivosti cementiranih delov določene vrste jekla.

Pri cementaciji se največkrat predpisuje trdota površine in efektivna globina cementacije, ki jo radi definirajo s trdoto 500 HV ali 50 HRC. Gradient ogljika mora zadovoljiti te zahteve. Potrebna ohlajevalna hitrost in ustrezní interval vsebnosti ogljika na površini se lahko določi iz nomograma izotrdot. Take informacije potrebujemo za izpolnjevanje zahtev neposredno v proizvodnji in na ta način lahko reguliramo in kontroliramo postopek cementacije.

Na osnovi rezultatov opisanih preiskav kaljivosti cementiranih jekel posameznih vrst lahko dobimo npr. odgovor na sledeča vprašanja, ki se v praksi večkrat pojavljajo in so zato zelo interesantna ter pomembna:

— Katera vsebnost ogljika ustreza maksimalni trdoti pri različnih ohlajevalnih hitrostih?

— Kateri gradient ogljika je potreben za doseganje planiranega padca trdote od površine cementiranega dela proti jedru?

— Kakšna je razlika med direktnim in indirektnim kaljenjem pri posameznih vrstah jekel?

— Katera vrsta jekla najbolj ustreza za doseganje zahtevnih gradientov ogljika in trdot?

— Kolikšna naj bo debelina naogljíčene plasti za doseganje zahtevane trdote npr. 50 HRC pri danem gradientu ogljika?

— Kakšen je vpliv vsebnosti legirnih elementov v jeklu na kaljivost jedra in cementirane plasti ter kolikšen je vpliv nihanja v kemijski sestavi jekla?

S podatki, ki jih dobimo le z natančnim in strokovno izvedenim preizkušanjem, torej lahko dobimo mnogo informacij, ki jih v vsakdanji toplotni obdelavi cementiranih delov nujno potrebujemo. Obvladanje lastnosti, ki jih s to metodo preizkušamo, nam omogoča uravnavanje tehnološkega postopka v proizvodnji, planiranje kvalitete in določitev najučinkovitejše kontrole.

Literatura:

1. Rodič A.: Obrobna kaljivost cementacijskih jekel, Zelezarski zbornik 1967/1, str. 64—79, Kranj.
2. Termička obrada čelika, pogl. 11.3, Metalbiro, Zagreb 1969.
3. Vodopivec F., M. Stupnišek: Obrobna kaljivost jekel za cementacijo, Poročila Metalurškega inštituta Ljubljana, 1963, naloga 310—11.
4. Vodopivec F., L. Kosec: Obrobna kaljivost jekel za cementacijo, Poročila Metalurškega inštituta Ljubljana, 1965, naloga 365/1 (Zelezarna Ravne).
5. Interna dokumentacija naloga SOR-6912 — Zelezarna Ravne.
6. Meyer, »Die Randhärbarkeit als Kriterium der Einsatzstähle«, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, Jg. 105, H 11, 1960, str. 292—301.
7. Tipizirani čelik DK — izdaja Metalbiro — Zagreb.
8. Schaaber O.: Zum Problem der Wärmebehandelbarkeit, Härterei — Technische Mitteilungen, Bd. 21/1956/H 2, str. 102—110.

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Artikel ist eine Zusammenfassung aller bisherigen Untersuchungen der Randhärbarkeit im Hüttenwerk Ravne, mit Beachtung auch dieser Aufgaben welche auf diesem Gebiet im Auftrag des Hüttenwerkes Ravne der Eisenhütteninstitut in Ljubljana gefertigt hat.

Im Artikel sind auf Grund der bisherigen Festlegungen Vorschläge für die Typisierung der Prüfungsbedingungen gegeben. Das würde die gegenseitige Vergleichung ermö-

glichen. Die Prüfung wäre dadurch reproduzierbar und in viel weitem Umfang anwendbar.

Es sind einige Untersuchungsvarianten für die Forschungs- und Kontrolluntersuchungen für das direkte und indirekte Härten angegeben.

Mit den Jominykurven und Nomogrammen der Isohärte sind charakteristische Eigenschaften der typischen Einsatzstähle aus dem Productionsprogramm des Hüttenwerkes Ravne dargestellt.

SUMMARY

The paper represents summary of all investigations on case hardening made in Ravne ironworks till now, taking in account also projects made by Metallurgical Institute in Ljubljana which were ordered by Ravne ironworks.

Based on the findings obtained till now the proposition for standardisation of testing conditions for case

hardening is given which would enable comparisons, reproducibility of tests, and their wider use.

Testing variations for research and control investigations of direct and indirect hardening are given.

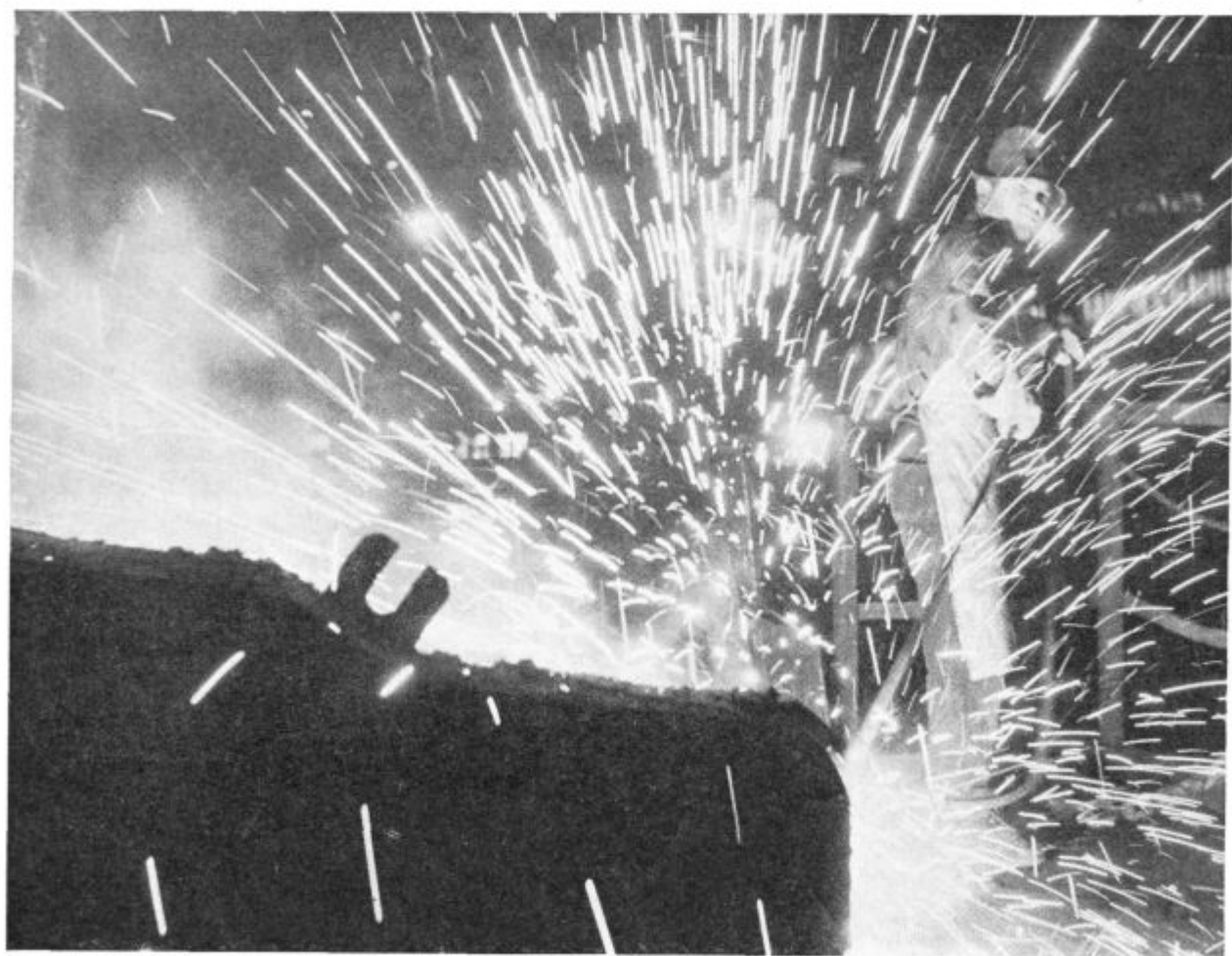
Characteristic properties of standard steel types for carburisation from the Ravne ironworks production program are shown by Jominy curves and nomograms of isohardnesses.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статья представляет обзор исследований поверхностной закалки выполненных в металлургическом заводе Равне (Zelezarna Ravne, Ravne), при чём приняты во внимание также работы которые разработал по заказу комбината Равне Металлургический Институт в Любляне. В статье подано предложение о типизации условий поверхностной закалки что позволит взаимное сравнение

процесса а также даст исследованию ценность что касается возможности репродукции и более широкого применения.

Поданы варианты испытания необходимы для изучения и для контрольного исследования прямой и косвенной закалки. При помощи кривых Jominy и номограммов изотвёрдости изнесены характерные качества типических сортов стали для цементации из программа производства металл. комбината Равне.



V martinarni — Foto Makovec

Sodobna proizvodnja strojnih nožev za potrebe celuloze, lesnopredelovalne in grafične industrije

Uporaba klasičnih vrst legiranih in visoko legiranih orodnih jekel ter postopkov termične obdelave za proizvodnjo strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije ne daje garancije za izpolnitev vseh zahtevanih pogojev sodobne proizvodnje. Navedeno je vzrok nenehnim raziskavam in osvajanju novih vrst orodnih jekel, postopkov termične obdelave in ugotavljanja »optimalnih kompromisnih« značilnih pogojev obratovanja in lastnosti strojnih nožev.

Z izbiro vrste jekla ni mogoče zadovoljiti vseh zahtev nastopajočih pogojev obratovanja, zlasti obrabne obstojnosti ob istočasni odpornosti rezine proti udarcem in neobčutljivosti na pojav brusilnih razpok. Samo s kombinacijo pravilnega izbora vrste jekla in načina termične obdelave dosežemo, da ima strojni nož vse tiste lastnosti, ki pri normalnih pogojih obratovanja omogočajo maksimalno možno vzdržnost, ekonomičnost in kakovost proizvodnje.

Na osnovi raziskav pogojev obratovanja, vzdržnosti in vzdrževanja so renomirani proizvajalci in koristniki strojnih nožev ugotovili naslednje:

Strojni noži termično obdelani po celotni širini na enako trdoto imajo majhno odpornost proti udarnim obremenitvam ter vibracijam in so pri brušenju zelo občutljivi na pojav brusilnih razpok.

Karakteristično za strojne nože termično obdelane po postopku »conskega kaljenja« je oster prehod od kaljene trde rezne širine noža v nekajeni mehak hrbet. Navedeno je vzrok, da imajo noži majhno odpornost proti vpenjalni in rezni sili. Zato pogostoma ob vpenjalnih utorih nastopajo lomi nožev. Ravno tako so noži pri brušenju zelo občutljivi na pojav brusilnih razpok.

Strojni noži celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije, izdelani iz jeklarsko, kovaško ali valjarsko platiranega materiala, imajo majhno odpornost proti poškodbam. Slaba mesta so na stični površini med reznim in nosilnim materialom. Ker je razmerje po debelini med rezilnim in nosilnim materialom ca. 1:3, so noži znatno manj občutljivi na nastanek brusilnih razpok.

Cementirani strojni noži celulozne in grafične industrije imajo majhno odpornost proti obrabnim, udarnim in reznim obremenitvam. Zaradi ostrega prehoda med cementirano in necementirano plastjo so pogosti primeri, da se odkruši

cementirana plast. Razmerje po debelini med cementirano in necementirano plastjo zmanjšuje pojav brusilnih razpok.

Najugodnejša vzdržnost, produktivnost, kakovost in ekonomičnost proizvodnje v celulozni, lesnopredelovalni in grafični industriji je bila dosežena s površinsko kaljenimi strojnimi noži. To je vzrok, da je površinsko kaljenje v proizvodnji industrijskih nožev postalo najsodobnejši postopek termične obdelave strojnih nožev^{1, 2}.

Uvod

Članek navaja postopke termične obdelave strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije. Navedene so karakteristične lastnosti strojnih nožev, doseženih z uporabo posameznih postopkov termične obdelave. Večji poudarek je podan za indukcijsko površinsko kaljenje, ki ga v svetu ocenjujejo kot najprimernejšega za termično obdelavo strojnih nožev.

Nastopajoča in vedno prisotna konkurenca tržišča zahteva od predelovalne industrije kakovostne in cenene proizvode. Za dosego navedenih zahtev je v tej industriji bilo nujno in neizogibno izvršiti določene tehnološke izboljšave in uvedbo visoko produktivnih strojev, ki obratujejo z velikimi in spreminjajočimi dinamičnimi obremenitvami ter velikimi obratovalnimi hitrostmi ob nastopu minimalnih stroškov vzdrževanja in za strojev.

Osnovni element stroja za rezanje je strojni nož, ki s svojo kakovostjo v glavnem odloča o gospodarnosti obratovanja in o kakovosti proizvodnje. Uporaba klasičnih vrst jekla, klasičnih postopkov in tehnologije izdelave ter termične obdelave ne daje garancije vseh kakovostnih lastnosti, ki naj bi v proizvodnji ob ustreznih pogojih dopustile veliko proizvodnost in gospodarnost rezanja. Na ta način je v fazi proizvodnje ravno strojni nož postal osnovni faktor pri uvedbi visoko produktivnih predelovalnih strojev za ocenitev tehničnih vrednosti stroja in sposobnosti proizvajalca za vključitev v obstoječo konkurenco tržišča.

Iz navedenega sledi, da je osnovni pogoj za dosego vseh zahtev predelovalne industrije upora-

ba strojnih nožev, izdelanih iz takšne vrste jekla, ki bodo z ustrezno termično obdelavo omogočili veliko in kakovostno proizvodnjo. To zahteva v proizvodnji strojnih nožev nenehno osvajanje novih vrst jekla in novih postopkov izdelave ter termične obdelave. Iz navedenega razloga se je v določeni meri udomačila v ta namen uporaba visoko legiranih in brzoreznih jekel ter celo karbidnih trdin.

Pri izbiri jekla in tehnoloških postopkov izdelave ter termične obdelave strojnih nožev moramo v prvi vrsti poznati pogoje obratovanja posameznih vrst strojnih nožev. Osnovni faktorji, ki so odločilni za kakovost strojnih nožev, so naslednji:

- velika obrabna obstojnost,
- velika rezna sposobnost,
- velika žilavost,
- velika odpornost proti udarcem,
- velika meroobstojnost,
- velika popuščna obstojnost.

Razen navedenih zahtev moramo izpolniti tudi pogoje enostavnega in cenenege vzdrževanja. Pri tem je potrebno upoštevati opremljenost potrošnika z brusilnimi stroji in sredstvi za brušenje. Znano je, da je velikokrat glavni vzrok slabe kakovosti oz. vzdržnosti ali celo neuporabnosti strojnih nožev neustrezno brušenje ali nepravilna vgraditev noža v stroj.

Najugodnejši izbor vrste jekla in tehnoloških postopkov izdelave, ter termične obdelave dosežemo na osnovi sistematičnega zbiranja podatkov ter praktičnih izkušenj o vzdržnosti določenih vrst strojnih nožev in če te podatke ovrednotimo s statističnimi metodami za določitev »optimalnih kompromisnih« lastnosti strojnih nožev.

Navedene zahtevane lastnosti strojnih nožev so v določeni meri v medsebojni odvisnosti, kar omogoča, da z izboljšanjem ene poslabšamo drugo lastnost. Tako npr., če ugotovimo, da se zaradi majhne žilavosti strojni nož lomi, lahko z ustrezno termično obdelavo (ne vedno!) povečamo žilavost na račun znižanja trdote do takšne vrednosti, da ne ugotovimo zaradi tega nedopustno obrabo strojnega noža. Takšna razmišljanja nam jasno nakazujejo, kako pomembno je sistematično zbiranje podatkov o obnašanju strojnih nožev pri obratovanju in kako je potrebno ugotavljati vzroke nizke vzdržnosti strojnih nožev.

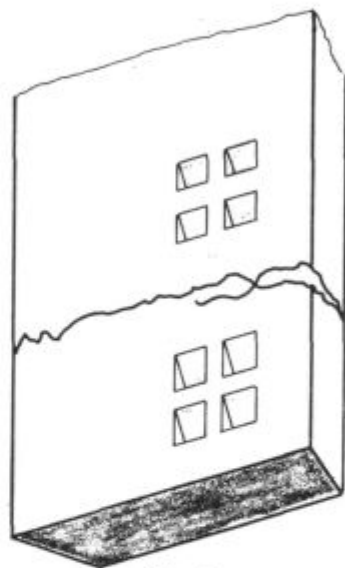
Ravno tako moramo upoštevati stroške nabave, brušenja, menjave in s tem v zvezi stroške zastojev ter kakovost proizvoda. Napačna je ocenitev vrednosti strojnega noža na osnovi nabavne cene kot odločilnega faktorja za ocenitev gospodarnosti uporabe strojnega noža. Tako je npr. podjetje Sandvik — Švedska ugotovilo, da je v grafični industriji z uporabo nožev iz visoko legiranega Cr-C jekla porasla nabavna cena nožev za 30 %, medtem ko so se s tem znižali stroški brušenja za 50 %.

Kljub temu, da v tej ocenitvi gospodarnosti niso upoštevani zmanjšani zastoji in izboljšava

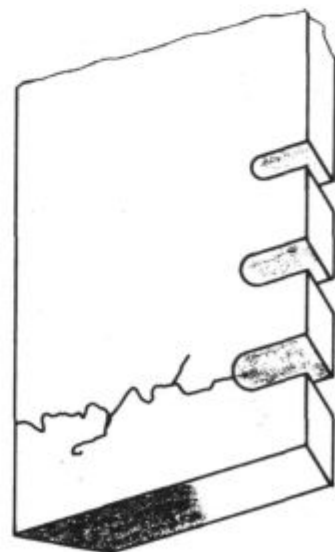
kakovosti proizvoda, nam navedeni primer jasno dokazuje nepravilnost ocenitve gospodarnosti strojnega noža na osnovi nabavne cene. Ravno tako je s tem načinom ocenitve gospodarnosti potrjena pravilnost uporabe grafičnih nožev iz legiranega Cr-C jekla z višjo nabavno ceno¹.

Proizvodnja strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije

V preteklosti in še danes v podjetjih z zastarelimi postopki proizvodnje navedenih strojnih nožev uporabljajo v ta namen legirane vrste orodnih jekel ter nože termično obdelajo na zahtevano trdoto po celotnem prerezu, kot je to razvidno iz slike 1. Slaba stran tako termično obdelanih strojnih nožev je majhna odpornost proti udarcem in vibracijam — nož je zelo krhek^{1, 2}.

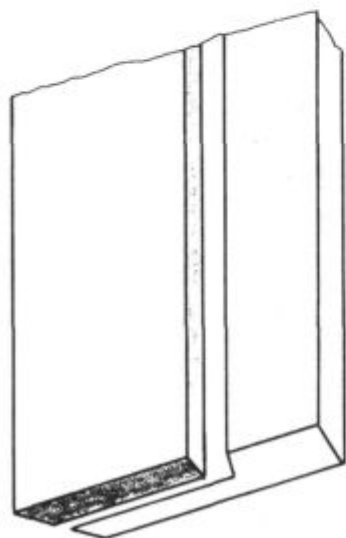


Slika 1
Strojni nož termično obdelan po celotnem prerezu



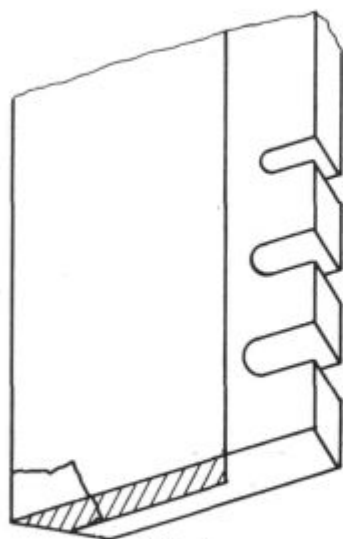
Slika 2
Consko termično obdelan strojni nož

Zaradi navedenih pomanjkljivosti so tehnologijo termične obdelave strojnih nožev izpopolnili z uvedbo »conskega kaljenja«. Po tem postopku termično obdelani strojni noži imajo na zahtevo trdoto kaljeno samo uporabno širino noža, medtem ko je hrbet noža mehak, kot je to razvidno iz slike 2. Za strojne nože termično obdelane po tem postopku je značilen oster prehod iz kaljenega v nekaljeni del noža, kar je vzrok majhni odpornosti noža proti vpenjalni in rezni sili. Zato ob vpenjalnih utorih nastopajo pogosti lomi nožev^{1, 2}.



Slika 3
Kovaško platiran strojni nož

Sodobnejši postopek proizvodnje strojnih nožev je zasnovan na uporabi jeklarsko, kovaško ali valjarsko platiranega jekla. Iz takega jekla izdelani strojni noži imajo trdi rezni del koristne širine iz legiranega orodnega jekla, medtem ko je preostali nosilni del mehak in je iz nizko ogljičnega jekla, kot je to razvidno na sliki 3. Slaba mesta strojnih



Slika 4
Cementiran strojni nož

nožev, izdelanih iz platiranega jekla, so vezne površine med stičnimi površinami posameznih vrst jekla. Zato imajo platirani strojni noži majhno odpornost proti poškodbam zlasti pri udarnih obremenitvah^{1, 13, 15}.

V tehnično razvitih deželah proizvajajo določene vrste strojnih nožev za potrebe celulozne in grafične industrije iz jekel za cementacijo in sicer tako, da koristno širino rezne strani strojnega noža cementirajo v globino 3—4 mm, medtem ko je preostali del iz jekla za cementacijo z osnovno kemijsko sestavo, kot je razvidno iz slike 4.

S kaljenjem dobi cementirani koristni del rezine zahtevano trdoto, medtem ko preostali del ostane mehak in žilav. S tem načinom termične obdelave, vključno z difuzijskim žarjenjem, dobimo počasen prehod iz trde cementirane rezne plasti v necementirani mehak in žilav nosilni del noža.

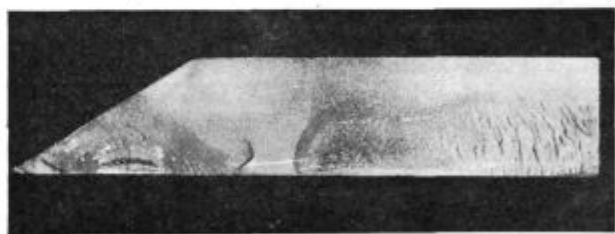
Slaba stran cementiranih strojnih nožev je v pojavu odkrušitve cementirane od necementirane plasti zaradi možnosti nastopa nezadostne debeline prehodne plasti med cementiranim in necementiranim delom strojnega noža.

Za consko kaljene in cementirane strojne nože ter strojne nože iz platiranega jekla je značilno, da pri termični obdelavi zaradi različne strukture po preseku noža kot posledica načina kaljenja oz. kemijskih sestav nosilnega in reznega dela nožev nastopijo napetosti. Te napetosti povzročajo po termični obdelavi deformacijo oblike nožev. Zato jih moramo ravnati z mehanskimi udarci. Pri ravnanju nastajajo na mestih udarcev dodatne napetosti. Kljub popušcanju za odpravo napetosti nastalih pri termični obdelavi in mehanskem ravnanju obstaja možnost, da te v celoti ne odpravimo, tako da so lahko ravno te zaostale napetosti vzrok nastanka razpok v času brušenja ali obratovanja^{1, 2}.

Izgled prelomne ploskve strojnega noža zaradi zaostalih notranjih napetosti od mehanskega ravnanja je razviden na sliki 5.

Razen navedenih dobrih in slabih karakteristik celotno in consko kaljenih ter platiranih in cementiranih strojnih nožev lahko s primerjavo občutljivosti pri brušenju ugotovimo naslednje:

— Celotno in consko termično obdelani strojni noži imajo celotno brušeno stranico prostega kota noža iz orodnega jekla enake trdote, ustrezne zahtevam rezanja, kar pri brušenju povzroča



Slika 5
Prelomna ploskev strojnega noža z vidnimi napakami od mehanskih udarcev



Slika 6
Brusilne razpoke na rezini

razvoj velikih količin toplote in s tem nastanka lokalnega pregretja oz. brusilnih razpok, ki so prikazane na sliki 6.

— Pri platiranih in cementiranih strojnih nožih je samo ca. $\frac{1}{3}$ celotne brušene stranice prostega kota noža iz orodnega jekla oz. samo ca. 3 do 4 mm cementirana in termično obdelana na ustrezno trdoto, medtem ko je preostali del noža mehak. Pri brušenju teh vrst nožev v primerjavi s prej navedenima vrstama se razvije znatno manj toplote in s tem so podani znatno manjši pogoji nastanka brusilnih razpok^{1, 2, 13, 15}.

Študije osnovnih mehanskih, tehnoloških in strukturnih lastnosti so v zadnjih letih dale osnovo za razvoj novih vrst orodnih jekel ter postopkov termične obdelave. Istočasno so te študije nakazale možnost razširitve uporabnosti že znanih vrst jekla na področjih, kjer se še niso uporabljale. Primerjave upogibne in udarne žilavosti, obrabne obstojnosti, mikro trdote, trdote v vročem stanju itd. so z novimi postopki termične obdelave s karakteristikami karbidov in osnovne strukture ter mehanske predelave odkrile nove še neznane možnosti uporabe posameznih vrst jekla in nakazale smernice za nadaljnji razvoj.

Razvoj na področju orodnega jekla je v tehnično razvitih deželah usmerjen k naraščanju uporabe orodnih jekel, ki se kalijo na zraku. Te vrste jekla omogočajo znižanje stroškov v tehnologiji proizvodnje, na drugi strani pa nastopajo pri teh jeklih zaradi opustitve določenih faz proizvodnje sprostitve kapacitet določenih agregatov. Če izvršimo primerjavo orodnih jekel, ki se kalijo na zraku, z orodnimi jekli podobnih skupin, ki se kalijo v tekočih kalilnih sredstvih, ugotovimo prednost jekel, kaljivih na zraku. S takšno primerjavo s sigurnostjo lahko ugotovimo, da imajo v splošnem jekla, kaljiva na zraku, razne prednosti, ki jih lahko okarakteriziramo s skupnim nazivom — »večja vzdržljivost«¹⁴.

Če upoštevamo kriterije in rezultate študij in preiskav zahtev pogojev obratovanja strojnih nožev, lastnosti orodnih jekel, termične obdelave in

mehanske predelave, so v sodobni proizvodnji začeli uporabljati za izdelavo strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije visoko legirana Cr-C in Cr-Mo-C orodna jekla, ki se kalijo na zraku^{1, 2, 3}.

Najsodobnejši postopek termične obdelave strojnih nožev celulozne, lesnopredelovalne in grafične industrije je indukcijsko površinsko kaljenje.

Z indukcijskim površinskim kaljenjem strojnih nožev kalimo v zaželeno globino in trdoto samo koristni del noža, medtem ko je preostali del noža nekaljen, to je mehak in žilav, kot je to razvidno na sliki 7¹.

Prednosti površinsko indukcijsko kaljenih strojnih nožev iz visoko legiranih Cr-C in Cr-Mo-C zračno kaljivih orodnih jekel v primerjavi s strojnimi noži, proizvedenimi po že navedenih postopkih, so:

— Z indukcijskim površinskim kaljenjem lahko dosežemo poljubno obliko in dimenzije površine ter globine kaljene plasti. Oblika kaljene plasti zavisi od oblike induktorja, medtem ko kalilna globina zavisi od razdalje med induktorjem in kaljeno površino ter od količine dovedene toplote na kaljeno površino v enoti časa.

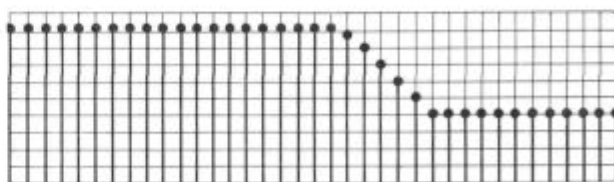
— Z indukcijskim površinskim kaljenjem in naknadnim popuščanjem visoko legiranih Cr-C in Cr-Mo-C zračno kaljivih jekel dobimo v kaljeni rezilni plasti zaželeno trdoto ob maksimalni žilavosti, obrabni obstojnosti, sposobnosti rezanja, odpornosti proti udarcem ter odpornost na popuščanje.

— Ob kaljeni rezilni plasti dosežemo maksimalno možno nekaljeno mehko in žilavo nosilno plast.

— Dosežena je maksimalna možna vezava med kaljeno trdo rezilno ter nekaljeno mehko in žilavo nosilno plastjo z blagim prehodom trdote.

— Zmanjša se občutljivost pri brušenju nožev zaradi zmanjšanja trde brušene stranice prostega kota noža na ca. $\frac{1}{4}$, medtem ko je preostali del te stranice mehak in se lahko brusi.

— Karakteristično za površinsko indukcijsko kaljenje je znatno zmanjšanje običajnih dimenzijskih sprememb, ki se v znatno večji meri pojavljajo pri navedenih klasičnih postopkih kaljenja.



Slika 7
Indukcijsko kaljen strojni nož

Navedeno je zaradi tega, ker po kaljenju jedro obdrži trdoto in trdnost izhodnega jekla kakor tudi, da med kaljeno plastjo in nekaljenim jedrom nastopi ustrezna prehodna plast. Ta plast v času ogrevanja ni dosegla temperature in ustreznega časa za izvršitev avstenitizacije in s tem v zvezi popolne trdote. Mehanske lastnosti nekaljenega jedra in vmesne prehodne plasti ublažujejo nastale kalilne napetosti v takšni meri, da ne nastopa deformacija oblike ali celo kalilne razpoke.

— Osnovna značilnost indukcijskega površinskega kaljenja je sam način ogrevanja, s katerim dovedemo ca. 10 kW/cm² ogrevne površine, medtem ko s sevanjem, prevajanjem ali s konvekcijo lahko dovedemo maksimalno 20 W/cm² ogrevne površine ter s plamenskimi površinskimi kaljenjem do 1 kW/cm² ogrevne površine.

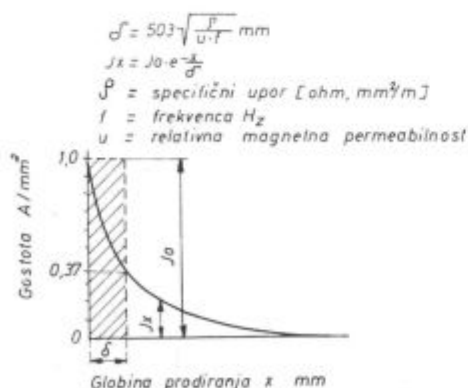
— Primerjava porabe energije pri tem postopku z ostalimi postopki kaljenja daje veliko prednost indukcijskemu kaljenju.

— Pomanjkljivost indukcijskega kaljenja so izredno visoki nabavni stroški celotne naprave^{1, 4, 5, 9}.

Fizikalne osnove indukcijskega kaljenja

Pri indukciji izmeničnega toka nastopi v zunanji plasti kosa, ki ga ogrevamo, toplota, če okoli njega ali ob določenem mestu, ki ga želimo ogrevati, postavimo elektro prevodnik — induktor, skozi katerega teče izmenični tok visoke frekvence. Pri tem lahko smatramo ogrevani kos za sekundarni navoj, katerega primarni navoj je sam induktor. Inducirani tok teče samo v neposredni bližini induktorja.

Količina nastale toplote v glavnem zavisi od jakosti inducirane polja, to je od jakosti električnega toka v induktorju oz. od jakosti izvora energije. Razen tega ima pri indukcijskem gretju znatno vlogo stopnja prenosa energije, kakor tudi lastnosti materiala, iz katerega je izdelan del, ki ga ogrevamo. Pod vplivom inducirane napetosti nastaja električni tok, ki zavisi od elektro upornosti dela oz. od specifične omske upornosti, ki je



Slika 8

Shema prodiranja električnega toka v kovinah

specifična lastnost jekla in zavisi od njegove kemijske sestave, ter se spreminja s temperaturo ogrevanja in s frekvenco toka. Pri indukcijskem ogrevanju jekla do »Curie« — A₂ točke, to je do temperature 769° C toplota nastaja zaradi demagnetizacije jekla in vrtničastih tokov. Nad to temperaturo, ko jeklo popolnoma izgubi magnetičnost, toplota nastaja oz. se jeklo ogreva samo zaradi vrtničastih tokov.

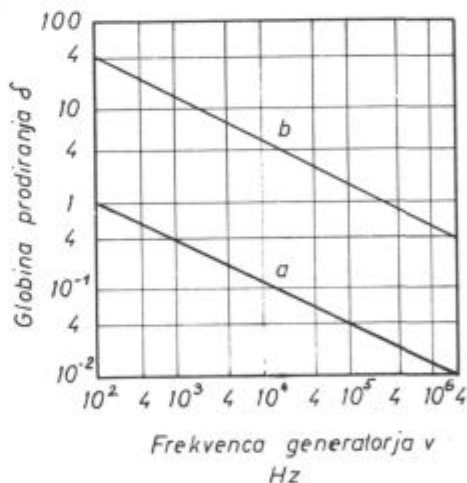
Inducirani tok ni enakomerno razdeljen po celotnem preseku kosa in zaradi skin efekta gostota toka eksponentialno pada v notranjost kosa, kot je to razvidno na sliki 8.

Debelino ogrevne plasti, v kateri inducirani tok pade na e-ti del (e = osnova prirodnega logaritma), imenujemo »globina prodiranja« toka — δ . Ta »globina« je odvisna od specifične omske upornosti — ρ v ohm, mm²/m, od frekvence toka — f v Hz in od relativne permeabilnosti — μ .

Navedena odvisnost je prikazana z naslednjo formulo:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f \cdot \mu}} \text{ (mm)}$$

Grafični prikaz odvisnosti globine prodiranja električnega toka od frekvence in temperature je prikazan na sliki 9. Črta »a« prikazuje razmere za jeklo pri sobni temperaturi in črta »b« razmere za jeklo pri temperaturi 900° C.



Slika 9

Globina prodiranja izmeničnega toka v jeklo:

- a — za jeklo pri sobni temperaturi,
- b — za jeklo pri 900° C.

Pri tem moramo upoštevati dejstvo, da globina kaljenja ni enaka globini prodiranja električnega toka, ker ima pri ogrevanju na temperaturo kaljenja znaten vpliv tudi čas ogrevanja. Običajno dosežemo zaradi toplotne prevodnosti jekla večjo globino kaljenja, kot je globina prodiranja električnega toka^{4, 6, 10, 11, 12}.

Tabela 1

Prerez	Globina kaljenja v mm							
	5	7	10	15	20	30	40	60
	Minimalna potrebna frekvenca v Hz							
Okrogli	48.600	24.800	12.160	5.400	3.040	1.350	760	338
Pravokotni	97.900	49.600	24.320	10.800	6.080	2.700	1.520	676

Izvor energije za induksijsko kaljenje

Izmenični tok omrežne frekvence (50 Hz) uporabljamo samo za induksijsko površinsko kaljenje delov prečnika nad $\varnothing 300$ mm, medtem ko za kaljenje običajnih strojnih delov uporabljamo tok večje frekvence. Razlikujemo srednjo frekvenco, ki znaša 500–10.000 Hz, in jo proizvajamo v rotacijskih generatorjih ter visoko frekvenco, ki znaša 10 KHz do več MHz in jo proizvajamo s cevnimi generatorji. Izbor potrebne frekvence je glede na ustrezno stopnjo izkoriščanja odvisen od preseka kosa, medtem ko je glede na globino kaljenja odvisen od globine prodiranja električnega toka, to je od specifičnega ohmskega upora in relativne permeabilnosti. Pregled potrebne frekvence v odvisnosti od zahtevane globine kaljenja za ploščate in okrogle prerese je razviden iz tabele 1⁵.

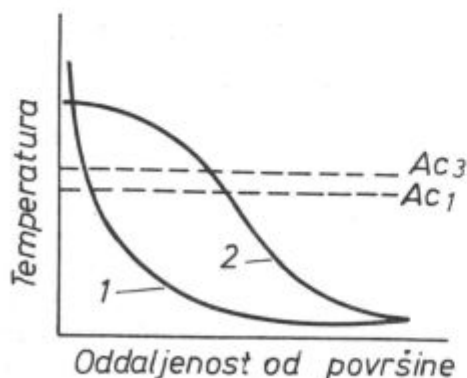
Metalurgija induksijskega kaljenja

Najvažnejše značilnosti induksijskega ogrevanja so pri faznih premenah in so naslednje:

— Zaradi karakterističnega nastanka toplote fazne premene v celotni ogrevni plasti potekajo istočasno, ker ima ta po celotnem preseku enako temperaturo. Shema istočasne porazdelitve temperature po različnih postopkih ogrevanja je razvidna na sliki 10.

— Taka porazdelitev temperature daje vrsto prednosti, in sicer:

a) pojav pregretja ogrevne plasti je omejen ali celo nemogoč,



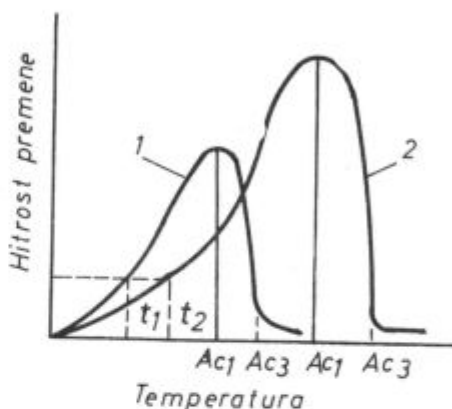
Slika 10

Porazdelitev temperature po prerezu v času kaljenja:

- 1 — plamensko ogrevanje,
2 — induksijsko ogrevanje.

b) v celotni ogrevni plasti zaradi enakih pogojev ogrevanja dobimo enakomerno strukturo in s tem enake mehanske lastnosti.

— Zaradi velikih ogrevalnih hitrosti se fazne premene, pri katerih je kinetika določena z vrsto difuzijskih procesov, premaknejo k višjim temperaturam, kot je to prikazano na sliki 11.



Slika 11

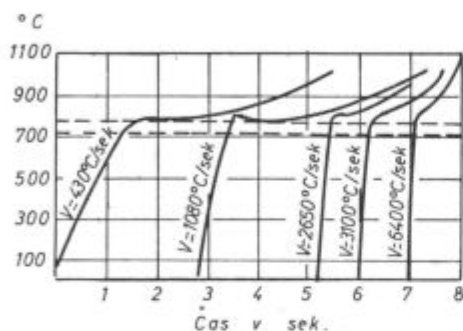
Shema premen pri gretju:
1 — klasični način ogrevanja,
2 — induksijsko ogrevanje.

Iz navedene slike je razvidno, da iz že navedenega vzroka potekajo fazne premene pri ogrevanju s klasičnimi postopki pri nižjih temperaturah kot pri induksijskem ogrevanju. Zaradi tega se induksijsko kaljenje v primerjavi s klasičnimi načini kaljenja vrši pri višjih temperaturah. Potrebno zvišanje temperature nad temperaturo točke Ac_3 je odvisno od hitrosti ogrevanja. Praktični dokaz navedenih trditev potrjuje rentgenografska določitev vsebnosti C v martenzitu kaljenega jekla. Če se npr. s klasičnimi postopki ogrevanja pri kaljenju jekla s ca. 0,75 % C popolna raztopitev C v avstenitu izvrši pri ca. 780°C , se bo ta izvršila pri induksijskem ogrevanju s hitrostjo gretja ca. $120^{\circ}\text{C}/\text{sek}$ pri ca. 920°C .

Pri klasičnih načinih ogrevanja je količina toplote enaka ali ne veliko večja od tiste, ki je potrebna za potek endotermne reakcije premene perlita v avstenit. Pri induksijskem ogrevanju ni principnih težav, ki bi onemogočile dovod takšne količine toplote, ki bi znatno preseglala toploto reakcije premene perlita v avstenit. Prebitek dovedene toplote v odnosu na potrebno toploto premene se porabi za hitro povišanje temperature ogrevane plasti^{7, 10, 12}.

Termični parametri indukcijskega kaljenja

Jeklo zaradi ogrevanja nad temperaturo »Curie« točko (A_2) izgubi magnetičnost, zato se hitrost ogrevanja zmanjša, kar povzroča ponovno porazdelitev indukcijskega toka in s tem v zvezi spremembo temperaturnih gradientov posameznih con ogrevane površine. Zaradi navedenega vzroka nastopi hitro povečanje prevajanja toplote v notranjost, kar lahko povzroči v površinski coni ogrevane plasti zastoj v povišanju temperature ali celo njen padec. Navedeno je prikazano na sliki 12 s krivuljami ogrevanja jekla s ca. 0,6 % C, določenimi z oscilografom.

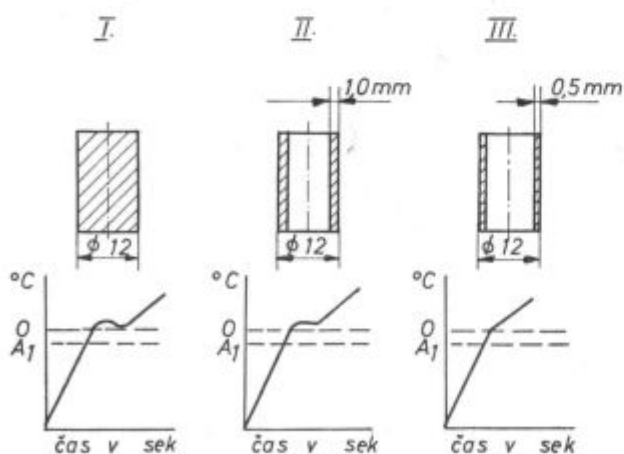


Slika 12
Krivulje ogrevanja jekla z 0,57 % C

Kinetika indukcijskega ogrevanja zavisi od oblike in dimenzije kosa, ki ga ogrevamo, kemijske sestave jekla in karakterja izhodne strukture. Različne oblike kinetike indukcijskega ogrevanja polnega kosa in cevi različnih debelin sten so prikazane na sliki 13.

Pri statičnem indukcijskem ogrevanju temperature kaljenja določamo s fotoelektričnim pirometrom, medtem ko pri progresivnem indukcijskem kaljenju merimo temperaturo z optičnim pirometrom.

Za izračun hitrosti indukcijskega ogrevanja v določenem temperaturnem intervalu moramo za ustrezní generator in induktor ter vrsto jekla do-

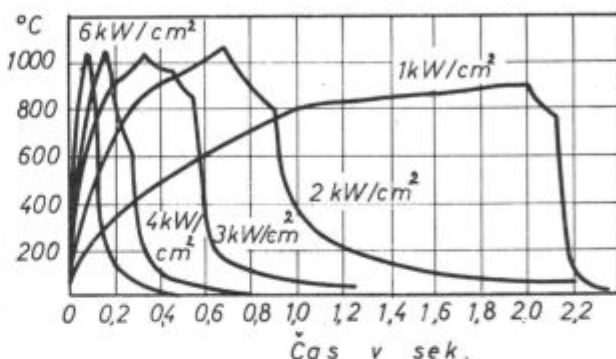


Slika 13
Različne oblike kinetike indukcijskega gretja

ločiti krivuljo ogrevanja s pomočjo oscilografa, kot je to prikazano na sliki 12.

Pri izračunu globine prodiranja toka za temperaturno območje od 0—769° C upoštevamo, da je $\rho = 0,25$ ohm, mm²/m in $\mu = 5-6$ in pri temperaturi nad 769° C upoštevamo, da je $\rho = 1,21$ ohm, mm²/m in $\mu = 1$.

Slika 14 prikazuje potek temperature na površini kosa v odvisnosti od časa za periodo ogrevanja, izenačevanja in ohlajanja. Iz krivulje za 1 kW/cm² je razvidno, da se krivulja temperature dviga do 800° C v času 1,0 sek. Zastoj v dvigu temperature je zaradi magnetne permeabilnosti, ko je ta dosegla vrednost 1. S tem je razvidna premaknitev »Curie« točke k višjim temperaturam, kar je še bolj izrazito pri krivuljah za 2 in 3 kW/cm²,

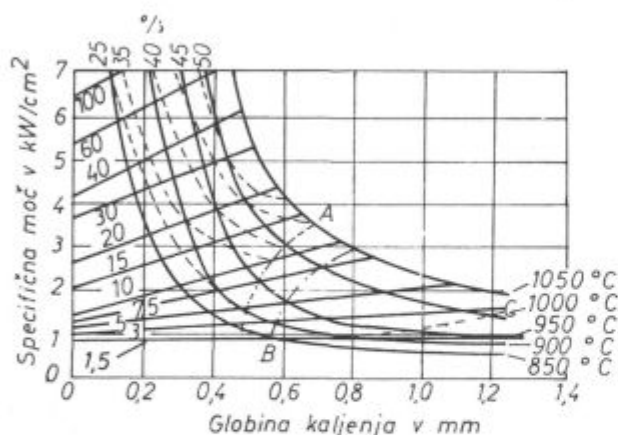


Slika 14
Potek gretja površine v času ogrevanja, izenačevanja in ohlajanja, frekvenca 550 KHz

nasprotno pri krivuljah za 4 in 6 kW/cm² pa ta vpliv še komaj ugotovimo. To povišanje temperature »Curie« točke je pogojeno s specifičnostjo izmeničnega toka. Če je površinska plast dosegla temperaturo »Curie« točke, ima magnetna permeabilnost vrednost 1, medtem ko nižje imajo plasti, ki še niso dosegle navedene temperature, magnetno permeabilnost večjo od 1. V trenutku, ko vse plasti globine prodiranja električnega toka dosežejo temperaturo »Curie« točke, ima celotna ogrevana plast magnetno permeabilnost 1. To stanje nastopa za moč 1 kW/cm² pri ca. 800° C, medtem ko za večje specifične moči ta pojav nastopa pri višjih temperaturah.

V vsakem primeru moramo pri indukcijskem kaljenju ogrevati jeklo na temperaturo A_3 . Na osnovi izračunov se določi globina oz. potrebna frekvenca, pri kateri z gotovostjo dosežemo zahtevano temperaturo avstenitizacije. Te vrednosti lahko določimo za različne specifične moči in jih izražamo z diagramom — slika 15 — za temperature 850, 900, 950, 1000 in 1050° C. Istočasno so s tem diagramom zajete hitrosti pomika za progresivno kaljenje. Iz tega diagrama ugotovimo, da za kaljenje globine 0,8 mm od temperature 850° C pri frekvenci 550 KHz moramo imeti pomik 1,3 mm/sek., in specifične moči pod 1 kW/cm².

Kljub obstoječim teoretičnim izračunom se še danes v tehnično razvitih deželah poslužujejo praktičnih poizkusov za določevanje potrebne specifične moči, frekvence, globine kaljenja itd.^{4, 6, 7, 11, 12.}



Slika 15
Diagram za določanje globine kaljenja jekla z
 $A_{c1} = 780 - 820^{\circ}C$, $f = 550$ KHz

Vplivni faktorji pri indukcijskem kaljenju

Vplivni faktor pri indukcijskem kaljenju je termični režim ogrevanja, ki vpliva na strukturo in trdoto jekla. Če ogrevamo jeklo na potrebno temperaturo kaljenja z optimalno hitrostjo, dobimo po kaljenju bolj grobo martenzitno strukturo. Povečanje hitrosti ogrevanja ob normalni temperaturi kaljenja povzroča nastanek finega martenzita.

Na strukturne spremembe pri indukcijskem kaljenju vpliva v znatni meri tudi izhodna struktura, to je struktura jekla pred indukcijskim ogrevanjem. Ker je perioda indukcijskega ogrevanja kratka in s tem v zvezi je čas avstenitizacije ter raztapljanja karbidov tudi kratek, mora imeti jeklo pred indukcijskim ogrevanjem takšno strukturo, ki bo omogočila čim ugodnejši potek transformacije v avstenit.

Določeni vpliv na mehanske lastnosti indukcijsko kaljenih delov ima lahko tudi prehodna plast, ki nastopi med kaljeno trdo plastjo ter nekaljenim mehkim jedrom. Ta prehodna plast je odvisna od začetne temperature kaljenja in časa ogrevanja. Martenzit kaljene trde plasti prehaja v prehodni plasti v sorbit. Kolikor je čas ogrevanja krajši in uporabljena specifična toplota večja, tem ožja je prehodna plast. Iz tega sledi, da je debelina prehodne plasti odvisna od porazdelitve temperature po prerezu. V praksi je ugotovljeno, da ima debelina prehodne plasti zelo majhen vpliv na mehanske lastnosti. Kljub temu obstajajo mišljenja, da pretanka prehodna plast lahko povzroči luščenje kaljene trde plasti od nekaljenega jedra. Praksa je dokazala, da to ne drži in da je ta plast oz. vez v vseh primerih izredno stabilna^{6, 7, 10.}

Postopki indukcijskega kaljenja

Raznolikost oblik strojnih delov, ki jih indukcijsko kalimo, je bila vzrok stabilizacije postopkov indukcijskega kaljenja. Tako imamo tri osnovne postopke indukcijskega kaljenja, in sicer:

- statični postopek indukcijskega kaljenja,
- progresivni — vzdolžni postopek indukcijskega kaljenja,
- progresivni — rotirajoči postopek indukcijskega kaljenja.

Pri statičnem postopku indukcijskega kaljenja miruje induktor in del, ki ga kalimo. Pri tem postopku se istočasno ogreva celotna kaljena plast, medtem ko temperaturo kaljenja reguliramo s časom ogrevanja. Ta postopek uporabljamo za kaljenje nepravilnih oblik kaljene plasti.

Za kaljenje pravilnih oblik in večjih dolžin kaljenih plasti uporabljamo progresivni — **vzdolžni postopek indukcijskega kaljenja**. Pri tem postopku ogrevni coni sledi cona ohlajanja in to na ta način, da se pomika ali induktor s hladilno napravo ali pa del, ki ga kalimo. S tem načinom indukcijskega kaljenja dosegamo velik koeficient izkoriščanja energije. Ta postopek indukcijskega kaljenja je najprimernejši za kaljenje strojnih nožev.

Pri progresivnem — rotirajočem postopku indukcijskega kaljenja del, ki ga kalimo, rotira s 100—500 obr./min. S tem dosegamo izredno enakomernost kaljene cone. Ta postopek uporabljamo za kaljenje zunanjih ali notranjih okroglih površin.

Razen navedenih postopkov indukcijskega kaljenja obstajajo še drugi postopki, ki so se razvili s popolnoma določenim namenom uporabe.

Ob navedenem je treba poudariti prednosti, ki jih ima železarna Ravne kot proizvajalec strojnih nožev. Sama proizvaja vse vrste jekel, ki se uporabljajo za izdelavo teh nožev. Poleg tega je železarna Ravne osvojila tudi vse tehnološke postopke izdelave in termične obdelave, ki so glede na vrsto in način uporabe zelo raznovrstni in zahtevni.

Pomembno je dejstvo, da je v železarni Ravne raziskovalna dejavnost tega področja zelo razvita, prav tako je tehnično razvita in dosledna kontrola. Vse izdelke strojnih nožev kontroliramo z metalografskim pregledom, ugotavljamo trdoto in obstojnost rezine nožev proti obrabi in udarcem ter površinske in notranje napake s ferofluksnimi in ultrazvočnimi metodami. Taka kontrola vsekakor daje garancijo visoke kakovosti, vzdržnosti in gospodarnosti uporabe strojnih nožev.

Literatura:

1. Sandvik — Švedska (katalog).
2. Klingelberg, Remscheid — ZR Nemčija (katalog).
3. Böhler — Avstrija (katalog).
4. Gudcov H. T.: Metallovedenie i termičeskaja obrabotka, Moskva 1957.

5. ASEA: Induktionswärmungöfen — komercialno-tehnična propagandna publikacija.
6. Stošić P.: Termična obrada metala.
7. Kioin I. N.: Fizičke osnove elektro-termičeskoj obratki metallov i splavov, Moskva 1969.
8. Lolić: Visoko-frekventno zagrevanje.
9. Leemann, Baden — Švica: Hinweise für Anwendung der induktiven Erwärmung in der Praxis. Peddinghaus, Sonderdruck aus »Industrie — Anzeiger« 8. nov. 1966.
10. Induction Hardening and Tempering, American Society for Metals, 1964.
11. Technische Rundschau, št. 9, 1969.
12. Höhne E.: Induktionshärten, Springer Verlag Berlin, 1955.
13. Schwartz M.: Modern Metal Joining Techniques.
14. Modern Tool Materials and Metal Fabrication, Metal Progress, May 1960.
15. Golobanenko S. A.: Proizvodstvo bimetallov, 1966.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Anwendung klassischer Sorten der legierten und hochlegierten Werkzeugstähle und der Wärmebehandlungsverfahren für die Produktion der Maschinenmesser der Zellstoff, der Holzverarbeitenden und der Graphischen Industrie, gibt keine Garantie, dass alle anspruchsvollen Bedingungen einer modernen Produktion auch erfüllt werden können. Das ist auch die Ursache der unaufhörlichen Bemühungen bei der Forschung immer neuer Werkzeugstähle, neuer Wärmebehandlungsverfahren und der Bestimmung der optimalen charakteristischen Betriebsbedingungen und der Eigenschaften der Maschinenmesser.

Nur mit der Auswahl der Stahlsorte kann man nicht allen Betriebsbedingungen genügen. Besonders nicht der Abtriebbeständigkeit bei der gleichzeitigen Schlagbeständigkeit der Schneide und nichtempfindlichkeit gegen das Auftreten der Schleifrisse. Nur mit der Kombination der richtigen Auswahl der Stahlsorte und der Wärmebehandlung kann erreicht werden, dass der Maschinenmesser alle diejenigen Eigenschaften besitzt, welche bei den normalen Betriebsbedingungen eine grösstmögliche Beständigkeit, Wirtschaftlichkeit und Erzeugungsqualität ermöglichen.

Auf Grund der Untersuchungen der Betriebsbedingungen, der Haltbarkeit und der Instandhaltung haben die renommierten Erzeuger und Verbraucher der Maschinenmesser folgendes festgestellt:

Maschinenmesser, wärmebehandelt auf eine gleichmässige Härte über die ganze Breite sind gegen Schlagbeanspruchungen und Vibrationen sehr schlecht beständig, und beim Schleifen auch sehr empfindlich auf das Auftreten der Schleifrisse.

Kennzeichnend für die Maschinenmesser welche nach dem Verfahren der Zonenhärtung wärmebehandelt sind, ist ein scharfer Übergang von der harten gehärteten Schneide in den nichtgehärteten weichen Rücken. Das ist auch die Ursache der schlechten Beständigkeit dieser Messer gegen die Schneidekraft. Aus demselben Grund brechen die Messer häufig an den Einklemmnuten und sind beim Schleifen empfindlich auf das Auftreten der Schleifrisse.

Maschinenmesser für die Zellstoff, Holzbearbeitende und Graphische Industrie aus platiertem Stahl hergestellt, sind gegen Beschädigungen auch wenig beständig. Schlechte Stellen sind an der Berührungsfläche des Schneide und tragfähigem Material. Da das Verhältniss der Dicken zwischen dem Schneide und tragendem Material ca 1:3 ist, sind solche Messer bedeutend weniger empfindlich auf das Auftreten der Schleifrisse.

Die Zementierten Maschinenmesser für die Zellstoff und Graphische Industrie sind gegen Abnutzung, schlagartigen und Schneidebeanspruchungen weniger beständig. Wegen des scharfen Überganges zwischen der zementierten und nichtzementierten Schicht sind Fälle dass die zementierte Schicht abbricht häufig.

Die beste Haltbarkeit, Leistungsfähigkeit, Qualität und Wirtschaftlichkeit wird in der Zellstoff, Holzverarbeitenden und Graphischen Industrie mit den Oberflächen gehärteten Maschinenmessern erreicht. Die Oberflächenhärtung ist in der Produktion der Maschinenmesser das modernste Verfahren der Wärmebehandlung geworden.

SUMMARY

Use of standard alloyed and high-alloyed tool steels, and the heat treatment processes in production of an Hing tools for cellulose, wood-processing, and graphic industries do not guarantee that all demands of modern production will be fulfilled. Never-ending investigations in finding new tool steel types, and heat treatment processes, analysing the »optimal compromise« operating conditions, and the properties of cutting tools are taking place.

All demands of the present operating conditions cannot be satisfied only by choice of the steel type if wear resistance is combined with the blade resistance against impacts and the unsensibility to grinding cracks. Only by combination of right choice of steel and heat treatment all those properties of the cutting tools are achieved which under normal operating conditions enable maximal possible life, and economy and quality of production.

Basing on investigations of operating conditions, endurance, and maintenance the most renowned producers and users of cutting tools came to the following conclusions:

Cutting tools heat-treated along the whole width on the same hardness have small resistance against impact loads and vibrations and are very sensitive to grinding cracks during grinding.

Our cutting tools heat-treated by »zone hardening« are characterized by sharp transition from the quenched hard cutter blade into the unquenched soft back. Therefore the cutters have small resistance against clamping and cutting force. Therefore cutters often break at clamping notches. They are also very sensitive to grinding cracks during grinding.

Cutting tools for cellulose, wood-processing, and graphic industry made of plated materials by forging or rolling have small resistance against damages. Weak points are on the contacts between cutting and supporting material. As the thickness ratio between the cutting and supporting material is about 1:3 the cutters are considerably less sensitive to the grinding cracks.

Carburized cutting tools for cellulose and graphic industry have small resistance against wear, and impact and cutting loads. As the transition between the carburized and not carburized layer is sharp often happens that carburized layer breaks off. Thickness ratio between the carburized and non-carburized layer reduces the appearance of grinding cracks.

The best endurance, productivity, production quality and economy in cellulose, wood-processing, and graphic industry was achieved by case hardened cutting tools. Therefore the case hardening became the most modern process in heat treatment of cutting tools 1,2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Употребление классических сортов легированной и высоколегированной инструментальной стали и способы термической обработки в производстве обрабатываемых ножей для промышленности целлюлозы, обработки дерева и в индустрии полиграфии не удовлетворяет всем требованиям современного производства.

В статье приведены причины постоянных исследований и необходимости развития новых сортов инструментальной стали, способов тепловой обработки и определения оптимальных свойств восприятия в отношении специфики условий в обработке и свойств обрабатываемых ножей. Ограничьтесь только на выбор сорта стали не возможно удовлетворить всем требованиям которые возникают при работе, в особенности устойчивости износа при одновременной стойкости реза при толчках и низкой чувствительности на возникновение трещин при шлифовании. Лишь сочетание правильного выбора сорта стали и способа тепловой обработки дадут ножам те необходимые свойства, которые при нормальном режиме употребления способствуют максимальной устойчивости, экономичность и качество изделия.

На основании исследований условий режима процесса, устойчивости и содержания, производители пользующиеся хорошей репутацией и потребители ножей установили следующее:

ножи термически обработаны по целой ширине на одну и ту же твердость не достаточно устойчивы на удары и вибрации а при шлифовки очень чувствительны на появление трещин. Ножи

термически обработаны частичной закалкой (закалка определенной зоны) имеют острый переход от закаленной твердой полосы с рецом к мягкой тыльной стороне ножа. Ножи приготовленные таким способом термической обработки имеют недостаточную устойчивость ваянию слезы которая возникает во время закрепления ножа в приспособлении. Поэтому на закрепительных пазов часто наступают ломки ножей; в статье объяснены причины этих явлений.

Ножи для обработки целлюлозы, дерева и в полиграфии приготовленные из прокатной или октованной стали не имеют достаточную устойчивость к повреждениям. Слабые т. е. чувствительные места на механические нагрузки находятся в переходной зоне между рецом и тыльной части изделия. Так как отношение толщины между этими частями ножа. 1:3 то нож менее чувствителен на появление трещин во время шлифования.

Цементационные ножи для этих отраслей переработки имеют низкую устойчивость в отношении износа, ударам и нагрузки во время резания. Из-за острого перехода от цементационной части ножа к термически необработанной часто наступают ломки цементационной среды, частота этих явлений зависит от разницы толщины этих слоев ножа.

Самая лучшая устойчивость, высокая продуктивность, хорошее качество изделия и экономичность, обработки получено при помощи поверхностной закалке ножей, поэтому этот способ термической обработки считается наиболее современным.

Nove elektrode EVB-Mo, EVB-CrMo in EVB-2 CrMo za varjenje jekel z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri višjih temperaturah

V članku so podani rezultati preiskav elektrod EVB — Mo, EVB — Cr Mo, EVB — 2 Cr Mo proizvodnje Železarne Jesenice, namenjenih za varjenje jekel z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri povišani temperaturi. Istočasno je podan tudi pregled posameznih kvalitete teh jekel ter osnovni pojmi iz tehnologije varjenja.

I. UVOD

Splošna konstrukcijska jekla se pod obremenitvijo pri višji temperaturi deformirajo, kar končno privede do porušitve. Pri gradnji kotlov, posod, rezervoarjev, parovodov ter cevovodov, ki morajo obratovati pri višjih temperaturah, pa moramo uporabiti jekla, ki obdrže dobre mehanske lastnosti tudi pri teh temperaturah, to je, da pri določeni višji obratovalni temperaturi in pri določeni obremenitvi obdrže predpisano mehansko trdnost, oziroma mejo raztezanja. Istočasno pa se morajo ta jekla tudi dobro variti. S skupnim imenom nazivamo ta jekla — jekla z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri povišani temperaturi.

Po namenu uporabe jih delimo v:

1. jekla za kotlovsko pločevino
2. jekla za izdelavo cevovodov — parovodov
3. jekla, ki so obstojna proti atmosferi vodika

V spodnji razpredelnici so prikazane najvažnejše kvalitete teh jekel — od nelegiranih do visokolegiranih, ki se uporabljajo za namene, ki so zgoraj naštet, in so zajeta v naslednjih DIN normah.

1. Kesselbleche: DIN 17155
2. Röhren Stähle: DIN 17175
3. Warmfeste Stähle: Stahl — Eisen — Werkstoffblatt 610 — 63
4. Hochwarmfeste Stähle: St. Eise. W. St. blatt 670 — 69
5. Druchwasserstoffbeständige Stähle: St. E. W. blatt 590 — 61

Po sestavi in z ozirom na varilne lastnosti jih delimo v:

1. Nelegirana-feritno-perlitna jekla, uporabna do maks. 350° C. Sem spadajo npr. H I—H IV, St 35.8, St 45.8

Kotlovska pločevina	Jekla za cevi	Jekla, odporna proti H ₂
H I—H IV	St 35.8	25 CrMo 4
17 Mn 4	St 45.8	16 CrMo 7
19 Mn 5	15 Mo 3	24 CrMo 10
15 Mo 3	16 Mo 5	20 CrMo 9
16 Mo 5	14 Mo V 63	10 CrMo 11
13 CrMo 44	13 CrMo 44	17 CrMo V 10
10 CrMo 9.10	10 CrMo 9.10	20 CrMo V 13.5
10 CrSiMo V 7	10 CrSiMo V 7	12 CrMo 19.5
12 CrSiMo 9	X 12 CrMo 9.1	X 12 CrMo 9.1
	X 19 CrMo 12.1	X 20 CrMo V 12.1
	X 20 CrMo V 12.1	X 8 CrNiMoVNb 16.13
	X 22 CrMo V 12.1	
	X 8 CrNiNb 16.13	
	X 8 CrNiMoNb 16.16	
	X 8 CrNiMoVNb 16.13	

2. Nizkolegirana-feritno-perlitna Mn, Mo, MoV, CrMo in CrMoV legirana jekla, tipa:

1 % Mn npr. 17 Mn 4, 19 Mn 5 (Č 3133, Č 3105)
 0.5 % Mo npr. 15 Mo 3, 16 Mo 5 (Č 7100)
 1 % Cr, 0.5 % Mo npr. 13 CrMo 44 (Č 7400)
 2.5 % Cr, 1 % Mo npr. 10 CrMo 9.10 (Č 7401)

Uporabna so za temperaturno območje 350 do 550° C.

3 .Srednjelegirana-perlitno-martenzitna CrMo, CrMoV legirana jekla, tipa:

5 % Cr, 0.5 % Mo npr. 12 CrMo 19.5
 9 % Cr, 1 % Mo npr. X 12 CrMo 9.1
 12 % Cr, 1 % Mo npr. X 20 CrMo 12.1

Uporabna so za temperaturno območje 400 do 600° C.

4. Visokolegirana-avstenitna CrNi, CrNiMo in CrNiMoV legirana jekla, tipa:

16 % Cr, 13 % Ni — X 8 CrNiNb 16.13
 16 % Cr, 16 % Ni, 1.5 % Mo — X 8 CrNiMoNb 16.16
 16 % Cr, 13 % Ni — X 8 CrNiMoVNb 16.13
 1.5 % Mo, 0.7 % V

Uporabna so za temperaturno območje 600 do 800° C.

Pregled posameznih jekel z ozirom na legiranje prikazuje naslednja razdelitev:

Nelegirana feritno perlitna	Nizkolegirana feritno perlitna	Srednjelegirana perlitno martenzitna	Visokolegirana avstenitna
H I—H IV	17 Mn 4	12 CrMo 19.5	X CrNiNb 16.13
St 35.8	19 Mn 5	X 12 CrMo 9.1	X CrNiMoNb 16.16
St 45.8	15 Mo 3	X 20 CrMo 12.1	X CrNiMoVNb 16.13
	16 Mo 5	X 22 CrMo V 12.1	
	14 Mo V 63	X 22 CrMo V 12.1	
	13 CrMo 44	X 20 CrMoWV 12.1	
	10 CrMo 9.10		
	17 Mo V 84		
	24 CrMo 5		
	21 CrMo V 5.11		

Orientacijska sestava, območje uporabe in potrebna temperatura predgrevanja nekaterih najvažnejših jekel iz teh skupin je naslednja (Tabela št. 1):

Jekla kot 15 Mo 3, 14 Mo V 63, 13 Cr Mo 44, 10 Cr Mo 9.10 se rabijo predvsem v gradnji kotlov in cevovodov, jekla kot 21 Cr Mo V 5.11 ter 5, 9 in 12 % Cr jekla pa za cevovode, razna ohišja in

Tabela št. 1

W. n	DIN	C	Cr	Ni	Mo	V	Min. meja razt.	Maks. upor. temp.	Temp. predgr.
5415	15 Mo 3	0.15	—	—	0.3	—	28	530	100—200
7335	13 CrMo 44	0.15	0.9	—	0.45	—	29	560	200—250
7380	10 CrMo 9.10	0.13	2.3	—	1.0	—	27	590	200—300
5406	17 Mo V 84	0.17	0.3	—	0.8	0.35	60	590	200—300
7258	24 CrMo 5	0.24	1.1	—	0.2	—	45	590	200—300
8070	21 CrMo V 5.11	0.21	1.4	—	1.1	0.3	55	590	200—300
7362	12 CrMo 19.5	0.12	5	—	0.5	—	40	600	250—350
4921	X 20 CrMo 12.1	0.15	11.5	—	1.0	—	50	600	350—450
4922	X 22 CrMo V 12.1	0.20	11.5	0.4	1.0	0.3	60	600	350—450
4961	X 8 CrNiNb 16.13	0.06	16	13	+ Nb		22	800	100—200
4981	X 8 CrNiMoNb 16.16	0.06	16	16.5	1.8	+ Nb	23	800	100—200

turbine. Avstenitna jekla pa se predvsem uporabljajo za energetske naprave za proizvodnjo energije z delovno temperaturo nad 600°C. Mnogo se uporabljajo tudi v industriji nafte, kjer se postavljajo velike zahteve po obstojnosti pri višjih temperaturah in obstojnosti proti oksidaciji.

LASTNOSTI JEKEL

1. Feritno perlitna in perlitno martenzitna Cr-Mo jekla (nizko in srednje legirana jekla).

To so Mn legirana jekla z dodatkom Cr, Mo, V. So kaljiva že na zraku. Zato je pri varjenju teh jekel potrebna še posebna pozornost. V prehodni coni in v zvaru nastanejo pri ohlajanju zakaljene — krhke cone izredno visoke trdote. Ta zakalitev je tesno povezana s pojavom razpok v osnovnem materialu (coni termičnega vpliva) in materialu zvara. Vpliv tega se ugodno odstrani s predhodnim predgrevanjem. Po varjenju pa je potrebno izvesti naknadno toplotno obdelavo. Občutljivost za termično obdelavo je zelo velika, iz česar sledi, da bo imel zvar različne mehanske vrednosti že pri majhni izmeni režima termične obdelave, kot npr. višine temperature, časa trajanja na tej temperaturi, temperature in časa napuščanja ter pogojev hlajenja. Pri nizkolegiranih Cr Mo jeklih je predgrevanje 200—300°C; odvisno je od dimenzije in kvalitete jekla. Temperaturo predgrevanja je treba obdržati ves čas varjenja. Naknadna toplotna obdelava pa se izvrši pri 650—750°C in je ravno tako odvisna od dimenzije in kvalitete.

Pri srednje legiranih jeklih (sem spadajo 5—12 % Cr jekla kot 12 Cr Mo 19.5, X 12 Cr Mo 9.1, X 20 Cr Mo 12) je potrebno predgrevanje, odvisno od dimenzije in kvalitete, od 200—450°C. Tako je pri jeklih z 12 % Cr potrebno predgrevanje na 450°C. V vsakem primeru pa je potrebna naknad-

na toplotna obdelava (napuščno žarjenje ali ponovno poboljšanje). Zelo škodljiva je tudi prevelika koncentracija »Si« v zvaru. Pri električnem obločnem varjenju mora biti čim nižja (Si 0.50 %). Večji % Si posebno pri visokih kromovih jeklih povečuje krhkost.

3. Avstenitna-visokolegirana jekla so za zelo visoke temperature.

Varijo se v hladnem z ohlajanjem vmesnih slojev zaradi nevarnosti nastopa toplotnih razpok. Samo pri varjenju korena je priporočljivo predgrevanje na 100—150°C, pri zelo debelih pločevinah pa na maks. 200 za zmanjšanje notranjih napetosti, ni pa nujno potrebno. Med varjenjem te temperature ne smemo povečati. Naknadna toplotna obdelava ni nujno potrebna.

II. NIZKOLEGIRANA JEKLA Z GARANTIRANIMI MEHANSKIMI LASTNOSTMI PRI VIŠJI TEMPERATURI

Nizkolegirana, Mn, Mo in Cr Mo jekla se uporabljajo predvsem kot kotlovska pločevina in za izdelavo cevovodov z uporabnostjo do maksimalne temperature 590°C. V tabeli št. 2 so podani najbolj tipični začetni primeri iz števila teh jekel.

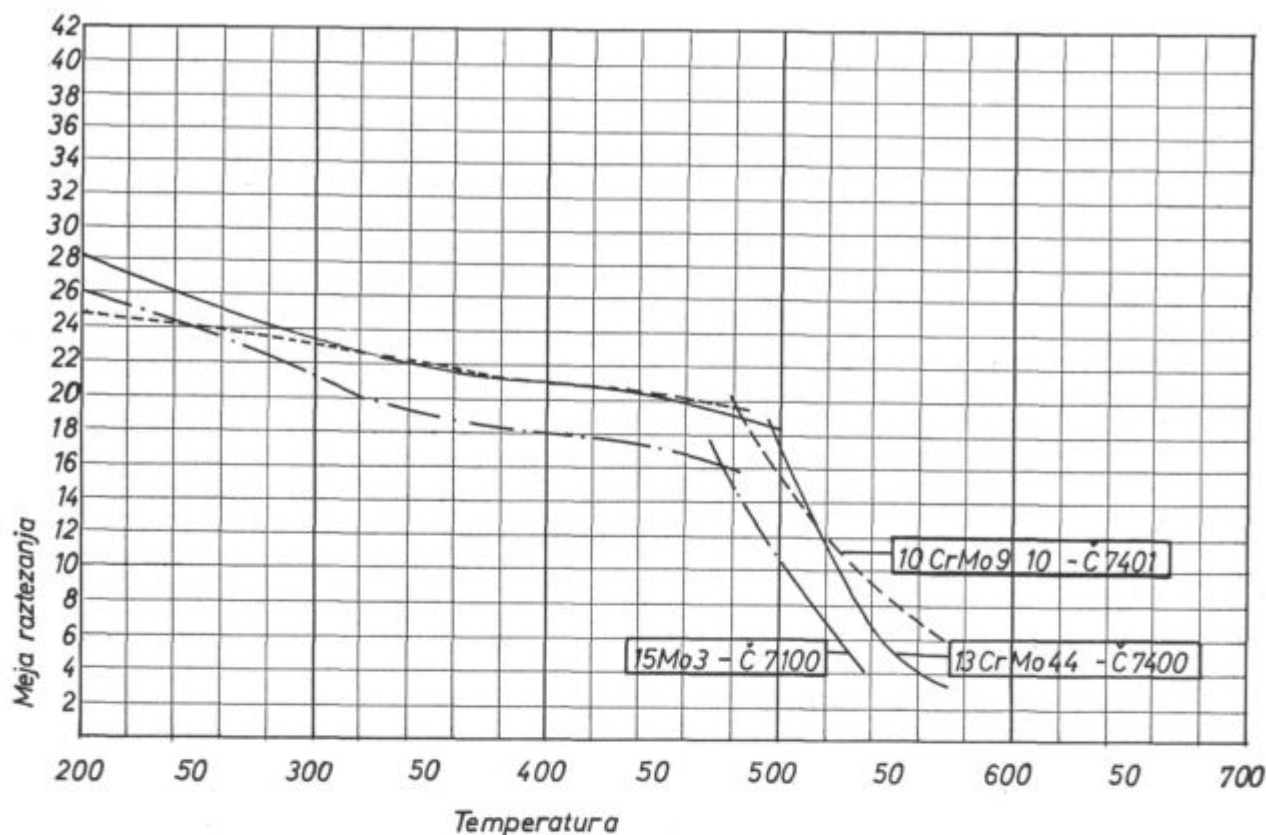
Iz tabele je razvidno, da gre pri teh jeklih za feritno-perlitna jekla z naraščajočo vsebnostjo kroma in molibdena. Mehanske lastnosti pri posameznih temperaturah pa prikazuje tabela št. 3

Vpliv temperature na mehanske lastnosti zadnjih treh prikazuje grafično tudi diagram — meja raztezanja/temper.

Jekla 17 Mn 4, 19 Mn 5, 15 Mo 3 so normalno žarjena, jekla 13 Cr Mo 44 in 10 Cr Mo 9.10 pa poboljšana na zraku. Način toplotne obdelave prikazuje tabela št. 4.

Tabela št. 2

JUS	DIN	W-n	C	Si	Mn	Cr	Mo
Č 3133	17 Mn 4	0844	0.14—	0.20	0.90	—	—
			0.20	0.40	1.20		
Č 3105	19 Mn 5	0845	0.17—	0.40	1.0	—	—
			0.23	0.60	1.30		
Č 7100	15 Mo 3	5415	0.12—	0.15—	0.50—	—	0.25—
			0.20	0.35	0.80		0.35
Č 7400	13 Cr Mo 44	7335	0.10—	0.15—	0.40—	0.70—	0.40—
			0.18	0.35	0.70	1.0	0.50
Č 7401	10 Cr Mo 9.10	7380	0.15—	0.15—	0.40—	2.0—	0.90—
				0.50	0.60	2.5	1.10



Vpliv temperature na mehanske lastnosti

Tabela št. 3

Kvaliteta	Natezna trdnost kp/mm ² 20°	Meja raztezanja pri temper. kp/mm ²							
		20	200	250	300	350	400	450	500 °C
17 Mn 4	35—56	28	25	23	21	18	16	14	—
19 Mn 5	52—62	32	27	25	23	21	18	16	—
15 Mo 3	45—55	29	26	24	21	19	18	17	15
13 Cr Mo 44	45—56	30	28	26	24	22	21	20	18
10 Cr Mo 9.10	45—60	27	25	24	23	22	21	20	19

Tabela št. 4

	normaliz.	poboljšanje (zračno)		napetostno odžarenje
		kaljenje	napušč.	
17 Mn 4	} 880—910	—	—	} 550—620
19 Mn 5		—	—	
15 Mo 3	910—940	—	—	650—700
13 Cr Mo 44	—	910—940	650—720	650—720
10 Cr Mo 9.10	—	900—960	680—780	730—780

Podano temperaturo je treba doseči čez ves presek. Ko je to doseženo, nadaljno zadrževanje pri normalizaciji in kaljenju na tej temperaturi ni potrebno. Pri napuščnem žarjenju, žarjenju za odpravo napetosti ali žarjenju po varjenju je potreb-

no na navedeni temperaturi držati 1—2 minuti za vsak 1 mm debeline preseka, a minimalno 20 minut, računano od dosežene spodnje temperature dalje. Po varjenju pri kvalitetah 17 Mn 4, 19 Mn 5, 15 Mo 3 do dimenzije 10 mm ni potrebno žarjenje,

pri večjih pa se priporoča. Pri Cr legiranih (13 Cr Mo 44 in 10 Cr Mo 9.10) je potrebno žarjenje po varjenju v vsakem primeru. Pri teh dveh kvalitetah je potrebno pri varjenju predgrevanje 200 do 300° ves čas varjenja. Za ostale ni nujno potrebno.

Kot je bilo omenjeno že na začetku, so jekla, legirana s kromom na zraku, kaljiva. Kar pomeni, da se zaradi pregretja pri varjenju in nato pri počasnem ohlajanju tvorijo v prehodni coni in zvaru kaljene cone, ki dosežejo npr. pri 13 Cr Mo 44 in 10 Cr Mo 9.10 trdoto tudi do 400 Vickersa, to je ca. 130 kg/mm². Zato se zgodi, da že pri samem varjenju teh jekel nastopijo razpoke v prehodni coni in v zvaru. To preprečimo z izbiro pravilne elektrode in pravilno toplotno obdelavo. Za varjenje Mn legiranih jekel uporabljamo elektrode EVB 50 (17 Mn 4) in EVB 60 (19 Mn 5). Za Mo in Cr Mo jekla pa nove elektrode EVB Mo (15 Mo 3), EVB Cr Mo (13 Cr Mo 44) in EVB 2 Cr Mo (10 Cr Mo 9.10).

DODAJNI MATERIAL

Dodajni material za varjenje jekel z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri povišani temperaturi mora imeti enake lastnosti kot jekla. Na splošno so vrednosti čistega vara pri raznih temperaturah nekoliko višje kot vrednosti odgovarjajočih jekel. Za varjenje Mo in Cr Mo jekel z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri višji temperaturi pridejo v poštev rutilne in bazične elektrode. Oba tipa imata svoje prednosti in pomanjkljivosti. Pri medsebojni primerjavi imajo rutilne elektrode boljše varilno tehnične lastnosti, to je lepše varijo, a dajo slabše mehanske vrednosti, medtem ko dajo bazične elektrode bolj ugodne mehanske rezultate. Do sedaj smo rutilnim elektrodam dajali prednost, predvsem zaradi njenih boljših varilno tehničnih lastnosti. Vendar pa je čisti var pri rutilnih elektrodah predvsem v pogledu raztezka in žilavosti mnogo bolj neugoden. Iz tega sledi, da je potrebno predhodno toplotno obdelavo izvesti izredno natančno in pazljivo, če hočemo preprečiti razpoke. To je še posebno važno pri debelejših pločevinah, n. pr. pri kvalitetah z večjo vsebnostjo legirnih elementov. To pa je na montaži dostikrat zelo težko izvedljivo. V takem slučaju ni nastanek razpok nobena redkost, oziroma nastopa zelo rad in pogosto. Te bojzani pa pri uporabi bazičnih elektrod nimamo, in to celo takrat ne, če predhodna toplotna obdelava ni izvršena zelo natančno po predpisih.

Poleg tega je vsebnost vodika pri rutilnih elektrodah mnogo večja kot pri bazičnih, kajti iz srednje legiranih jekel zelo počasi difundira, ker legirani elementi zavirajo njegovo difuzijsko hitrost.

Združeno z ostalimi zunanji vplivi kot je n. pr. hitra ohladitev tvori tudi vodik pri varjenju z rutilnimi elektrodami resno nevarnost za nastanek razpok v zvarjenih spojih, zato se rutilne elek-

trode ne priporoča uporabljati za varjenje teh jekel. V kolikor jih že uporabljamo, potem naj se uporabijo samo do vsebnosti 5 % Cr in 12 mm debeline, sicer pa se priporoča varjenje z bazičnimi elektrodami. Poleg tega je tudi izkoristek pri bazičnih elektr. večji, saj znaša ca. 115 %, medtem ko pri rutilnih ca. 95 % računamo na bazo osnovne žice.

III. NOVE ELEKTRODE EVB — Mo, EVB — Cr Mo, EVB — 2 Cr Mo

Z razvojem novih elektrod EVB — Mo, EVB — Cr Mo, EVB — 2 Cr Mo je bil razširjen in izpopolnjen program elektrod železarne Jesenice. Elektrode so bazičnega tipa z naslednjo orientacijsko sestavo:

	C	Si	Mn	Cr	Mo
EVB — Mo	0,08	0,50	0,8	—	0,50
EVB — Cr Mo	0,08	0,45	0,8	1,20	0,50
EVB — 2 Cr Mo	0,08	0,45	0,7	2,30	1,0

Iz tabele je razvidno, da se ime samih elektrod nanaša na oba glavna elementa Cr in Mo. Pripadajoča številka pove, % Cr koliko vsebuje čisti var. Analiza čistega vara posameznih elektrod je tako prirejena, da odgovarja jeklom 15 Mo 3, 13 Cr Mo 44 in 10 Cr Mo 9.10. Mehanske lastnosti čistega vara pa so podane pri zaključku.

Rezultati preiskav EVB — Mo, EVB — Cr Mo, EVB — 2 Cr Mo

1. EVB — Mo

Pri elektrodi EVB — Mo pridejo v poštev naslednje preiskave:

1. mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temp. (20° C) s predhodno toplotno obdelavo:

a. nežarjeno — to je v stanju varjenja

b. žarjenje za odpravo napetosti: 30 minut pri temp. 600—650° (ohlajanje na zraku)

c. normalizirano: žarjenje pri temperaturi 910—940° C

2. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi z isto predhodno toplotno obdelavo

Od števila teh preiskav smo na elektrodi EVB Mo izvršili naslednje:

1. analizo čistega vara

2. mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temperaturi (20°)

3. mehanske lastnosti čistega vara pri povišani temperaturi

4. mehanske lastnosti zvarnega spoja na kvaliteti 15 Mo 3 — C 7100

Čisti vari so bili varjeni po JUS C. H3.011 v pločevino Č 0400, debeline 20 mm, širine 120 in dol-

žine 500 mm. Kot robov žleba je bil 75°, odprtina spodaj 16—18 mm, odprtina zgoraj 20 mm. Varjenje se je vršilo z ohlajanjem vmesnih slojev na 150° C. Rezultati, ki so bili doseženi, so naslednji:

1. Analiza čistega vara:

C	Si	Mn	Mo	P	S
0,06	0,49	0,99	0,58		
0,05	0,38	0,80	0,48		
0,07	0,42	0,88	0,45		

2. Mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temperaturi (20° C) (nežarjeno stanje — v stanju varjenja)

meja raztezka kp/mm ²	trdnost kp/mm ²	raztezek L = 5 d %	kontrakcija %	trdota (BH)
43.7	53.8	26.0	63.6	
42.0	52.8	31.0	63.8	
51.0	60.5	24.0	63.0	
53.0	61.9	24.0	73.0	183
52.3	61.2	24	68.0	183
57.3	63.2	22.0	61.6	179
51.8	62.2	23.0	66.7	183
54.6	62.7	22.0	64.2	179
48.0	56.0	25.0	63.0	183
47.0	55.0	26.0	63.5	182
44—54	54—64	min. 22	65	182

Žilavost: V-notch pri temperaturah (kpm/cm²)

20° C: 15, 16, 15.5, 16.5, 12.5, 12.5, 14.8, 13.0, 15.5, 16.3, 17.5, 18.5, 16.0, 14.4, 15.2, 14.7 = 12 — 18

0° C: 11,6, 13,8, 13,3, 14,5, 14,3, 9,5 = 9 — 14

— 20° C: 8,75, 10,25, 11,0, 12,5, 13,5, 13,1, 11, 7,5, 8,7, 12,5, 9,7, 11 = 7 — 12

— 40° C: 6, 10,4, 8,2, 8,5, 6,75, 6,75, 6,9 = 5 — 10

3. Mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temperaturi (20°), normalizirano stanje

Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztez. L = 5 d %	Kontrakcija %	Žilavost kpm/cm ²
39.5	49.0	33.0	75	22.2, 23, 25
37	49	34	75	24.6, 23

4. Mehanske lastnosti čistega vara pri povišani temperaturi (nežarjeno stanje)

Temp. °C	Meja (0.2) kp/mm ²	Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
200	48.5	52.8	61.3
	55	57.6	66.2
300	50	53.5	65.9
	—	40.4	57.7
400	—	38.4	57.2
	45.7	46.8	55.5
450	45.6	47.4	58.8
	—	39.6	56.2
500	—	37.8	52.2
	—	46.7	58.5
550	—	46.3	57.1
	—	52.7	62.4
600	—	51.4	59.6
	36	40.2	52.1
650	—	33.2	47.7
	29.3	37.3	44.0
700	35.6	42.5	47.5
	—	29.3	40.7
750	—	28.8	40.2
	—	41.2	50.8
800	—	40.4	48.4
	—	40.5	47.6
850	—	41.2	48.3

5. Mehanske lastnosti zvarnih spojev

Zvarni spoji so bili izdelani na pločevini, dolžine 350 mm, debeline 20 mm. Pri V zvaru je bil kot 60—70°. Osnovni material je bil predgret na 250° C, kvaliteta Č 7100 (15 Mo 3)

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Upogib (teme) α ₁ (stop)	Upogib (koren) α ₂ (stop)	Mesto loma
37	51.3	180°	180°	v osnov. mat.
35.7	48.3	180°	180°	v osnov. mat.

Žilavost zvarnih spojev — V notch (kpm/cm²)

a) zvar: 20°: 13.1, 15.6, 17.5, 15, 16.9, 13.7
— 20°: 12.2, 11.0, 11.2, 7.7, 6.5, 6.5

b) Toplotno vplivana cona:

+ 20: 14.2, 22.2, 15.2, 17.5

— 20: 14.2, 16.0, 10.6, 22

Meritev trdot zvarnih spojev:

Rezultati meritev trdot zvarnih spojev so podani na diagramu št. 1 skupno z makroposnetki posameznih spojev in mikroposnetki struktur zvarov.

Diagram št. 1: zvarni spoj elektrode EVB — Mo



Struktura zvara (100:1)



Linija spajanja (100:1)

EVB — Cr Mo

Pri elektrodah, tipa Cr Mo, preiskujemo naslednje:

A) Čisti var:

1. Mehanske lastnosti pri normalni temperaturi (20°)

- a) napuščeno
- b) poboljšano

2. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi (200 — 550° C)

- a) napuščeno
- b) poboljšano

B) Zvarni spoj:

1. Mehanske lastnosti pri normalni temperaturi (20°)

- a) napuščeno
- b) poboljšano

Postopek toplotne obdelave

1. Napuščanje: ogrevanje na temp. 700 — 720° C zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na mirujočem zraku

2. Poboljšanje:

a) kaljenje: ogrevanje na temp. 900—920° zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na mirujočem zraku

b) napuščanje: ogrevanje na temp. 700—720° zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na mirujočem zraku

Preiskave, ki smo jih izvršili na elektrodi EVB Cr Mo, so dale naslednje rezultate:

1. Analiza čistega vara

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.04	0.58	0.97	1.11	0.50
0.05	0.47	0.83	1.13	0.54
0.06	0.44	0.66	1.30	0.61
0.06	0.36	0.64	1.25	0.61
0.05	0.40	0.86	1.15	0.60
0.05	0.42	0.78	1.25	0.67
0.06	0.38	0.72	1.10	0.45
0.07	0.45	0.80	1.20	0.5

2. Mehanske lastnosti čistega vara pri temperaturi (20°)

Toplotna obdelava: napuščeno žarjenje: 720° C/30 minut — zrak

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek L = 5 d %	Kontrak- cija %	Trdota (HB)	
57.8	66.9	22	66.9	217	229
56.5	67.5	22	67.1	217	229
48	58.1	20	68	223	229
65	72	20	64	223	223
51.7	61.0	21	65	217	217
51.1	61.2	22.0	53.7	217	223
58	66	22	66.4	217	— 227
56.8	64.2	22	72.2		
57.4	65.1	22.0	69.3		
54.6	62.3	22	66.0		
56.7	64.8	22	68.7		
55.7	63.6	22	67.3		

Zilavost V-notch pri temp. 20 C° (kpm/cm²)

20°: 8.86, 7.75, 6.5, 11.25, 14, 16, 17, 17, 11.75, 16, 16.4, 16.6, 17.2, 17.4, 6.2, 7.0, 7.8, 9.1, 14.8, 16, 17, 16, 17.5, 16.3, 15.6, 17.6, 16.0, 11.8, 11.0, 10.8, 10.5, 10, 10.8 (12—18)

a) Mehanske lastnosti čistega vara pri temp. (20°) (poboljšano)

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Kontrak- cija %	Zilavost V Notch 20° (kpm/cm ²)
51.5	59.5	26	69	21, 21.8, 21, 22
51.5	60.5	30	71	20, 21.9, 20.4 19.5, 22, 20

3. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi

a) napuščeno

Temp. °C	Meja 0.2 kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek L = 5 d %
200	52.0	52.8	59.6	—
	51.9	52.6	58.4	—
300	46.0	49.2	62.0	—
	47.0	50.2	62.3	—
400°	43.8	45.0	55.8	—
	43.7	44.8	57.1	—
	—	50.7	59.4	20.5
	—	49.7	59.3	21.0
	—	50.2	59.4	20.0
	—	49.5	57.8	20.5
	—	49.6	58.8	21.0
	—	49.6	58.3	21.0

500	38.4	39.1	41.1	—
	36.2	39.5	44.1	—
550	27.9	33.0	36.5	—
	28.1	35.5	38.0	—
	—	36.9	42.6	25.0
	—	36.9	42.6	22.0
	—	36.9	42.6	23.5
	—	36.0	43.0	23.0
	—	36.0	41.5	22.0
	—	36.0	42.6	22.5

b) poboljšano

Temper. °C	Meja 0.2 kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
500	24.8	26.3	42.2
	25.1	27.3	42.0
550	19.7	21.5	29.8
	19.4	20.8	26.9

4. Mehanske lastnosti zvarnega spoja

Za izdelavo zvarnega spoja je bila uporabljena pločevina kvalitete Č 7400 (13 Cr Mo 44). Dolžina 350 mm, debelina 20 mm. Osnovni material je bil predgret na 250° C.

Varjenje se je vršilo pri temp. ca. 250° C ves čas varjenja. Oblika zvara »V«. Kot 60—70°.

4. Mehanske lastnosti zvarnega spoja

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Upogib (teme) (stop)	Upogib (koren) (stop)	Mesto loma
35.2	50.4	140	140	v osnovi
37.8	51.3	140	140	v osnovi

Zilavost zvarnih spojev V notch — kpm/cm²

a) zvar: 20°: 15, 16.2, 13, 14.7, 11.5, 11, 11, 11.2

b) toplotno vplivana cona:

20°: 16.7, 17, 15, 16.8, 17, 16, 16.2, 16, 16.1

5. Meritev trdot zvarnih spojev s podani na diagramu št. 2

EVB — 2 Cr Mo

Pri elektrodah, tipa 2 Cr Mo preiskujemo naslednje:

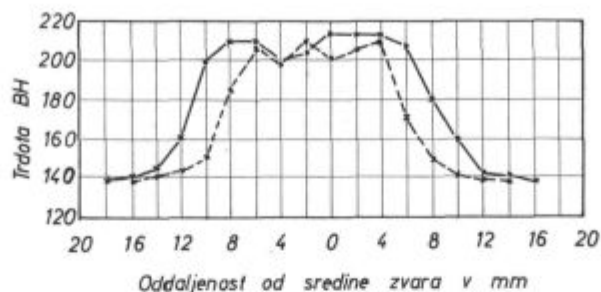
Čisti var

1. mehanske lastnosti pri normalni temperaturi (20°)

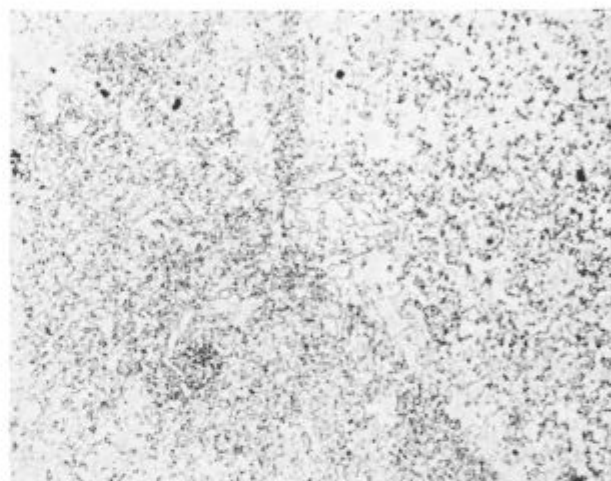
a) napuščeno

b) poboljšano

Diagram št. 2: zvarni spoj elektrode EVB — Cr Mo



Struktura zvara (100:1)



Linija spajanja (100:1)

2. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi (200—550°)

- napuščeno
- poboljšano

Zvarni spoj

1. Mehanske lastnosti pri normalni temperaturi (20°)

- napuščeno
- poboljšano

Postopek toplotne obdelave

1. Napuščanje: ogrevanje na temp. 700—760° C zadrževanje na temp. 30 minut, ohlajanje na 400—450 v peči, nato na mirujočem zraku

2. Poboljšanje:

a) Kaljenje: ogrevanje na temp. 940—960° C zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na mirujočem zraku

b) napuščanje: ogrevanje na temp. 740—760° C zadrževanje na temp. 30 minut — ohlajanje na 400—450° v peči in nato na mirujočem zraku.

Rezultati izvršenih preiskav na elektrodi EVB 2 Cr Mo

1. Čisti var

1. Analiza čistega vara

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.04	0.57	0.86	2.30	0.94
0.09	0.40	0.70	2.25	1.0
0.06	0.23	0.67	2.85	1.02
0.07	0.43	0.86	2.65	1.08
0.07	0.40	0.78	2.53	1.15
0.08	0.38	0.87	2.55	0.94
0.07	0.49	0.88	2.80	1.24
0.08	0.40	0.81	2.33	0.89

2. Mehanske lastnosti čistega vara pri temperaturi 20°

Toplotna obdelava: napuščeno 30 min — 760° C

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Kontrakcija %	Trdota (HB)	
56.0	66.2	23.0	65.3	217	223
54.5	64.5	24.0	68.6	217	217
59.9	70.0	21.0	67.5	217	217
56.6	67.0	26.0	69.4	223	217
57.1	68.3	25.0	68.5	217	217
48.4	65.0	21.0	65.2	217	217
52.5	63.5	21.0	67.0		
50.4	64.3	21.0	66.1		

Žilavost V-notch pri temp. 20°

kpm/cm² 18.25, 18.25, 18.8, 15.0, 15.1
10.35, 16.0, 14.0, 12.0
17.9, 19, 18, 19.5
16.9, 18.5, 15.1, 10

2. Mehanske lastnosti čistega vara pri normalni temperaturi (20°)

Toplotna obdelava: poboljšana 30'/960 in 30'/760

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Kontrakcija %
45.0	57	22	68
47	59	23	60
53	65	24	62
44	56	22	63
55	67	23	65

Žilavost V-notch pri temp. 20°

kpm/cm²: 20.4, 20.4, 22
20.0, 19.9, 16.0
16.7, 17.7, 19.1

Mehanske lastnosti čistega vara pri povišani temperaturi (200—550° C)

a) toplotna obdelava: napuščeno

Tempe °C	Meja 0.2 kp/mm ²	Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	
200	45.1	45.7	53.2	18	
	47.0	48.0	56.0		
300	41.5	43.3	51.4		
	47.2	48.1	54.6		
400	41.4	43.2	50		
	42.0	43.5	52.0		
	—	43.5	51.4		18
	—	43	51.3		18

—	43.3	51.4	18
—	44.2	53.3	18.5
—	44.4	54.0	18.5
—	44.3	53.7	18.5
—	46.2	57.6	16.0
—	38.2	55.4	19.0
—	41.2	54.1	17.0
—	49.0	59.4	20.0
—	45.0	60.0	18.0

500	29.5	35.6	40.0	—
	28.5	34.0	39.0	—
	32.0	38.0	41.5	—
550	28.0	35.0	37.6	—
	27.0	36.0	38.1	—
	—	35.5	37.9	—
	—	34.7	37.6	—
	—	34.5	38.7	—
	—	34.6	38.2	—
600	11.2	15.9	23.5	—
	12.8	17.1	24.5	—
	10.0	19.1	26.5	—

b. Toplotna obdelava: poboljšano

Temp.	Meja 0.2 kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
500	22.3	24.5	33.4
	23.0	27.2	34.8
	24.6	29.3	34.0
600	10.5	13.2	21.5
	10.7	14.2	20.9

Mehanske lastnosti zvarnega spoja

Pločevina: Č 7401, (10 Cr 9.10) dolžina 350 mm, debelina 20 mm

Oblika zvara: V_α zvar kot 60—70°

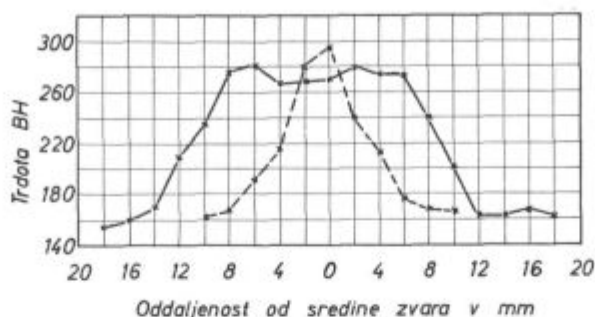
Osnovni material je bil predgret na 250° C. Varili smo pri temperaturi 250°.

Meja raztezka kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Upogib (teme) stop	Upogib (koren) stop	Mesto loma
43.2	48.8	140°	140°	v osnovi
44.3	48.3	140°	140°	v osnovi
42.1	47.7	140°	140°	v osnovi
41.2	47.7	140°	140°	v osnovi

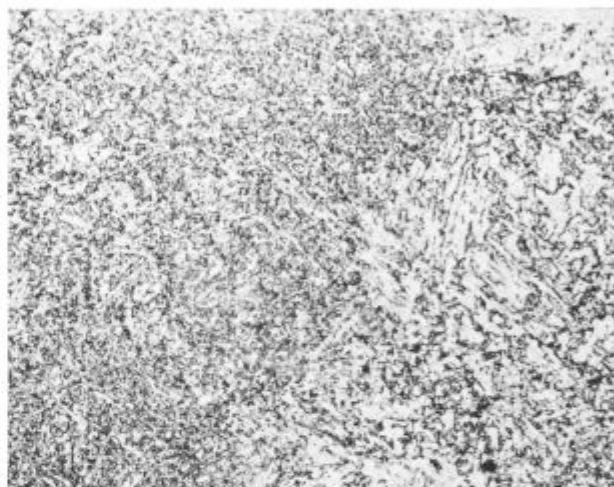
Žilavost zvarnih spojev V-notch pri temp. 20° (kpm/cm²)

a) zvar: 14.7, 11.7, 8.7, 11.7
7.5, 5.6, 5.6, 6.5

Diagram št. 3: zvarni spoj elektrode EVB — 2 Cr Mo



Struktura zvara (500:1)



Linija spajanja (200:1)

b) toplotna, vplivana cona:

16,5, 17,2, 20, 17,9
17,5, 18,7, 19,4, 18,2

Meritev trdot zvarnih spojev je podana na diagramu št. 3.

Na osnovi izvršenih preiskav so lastnosti čistega vara za omenjene elektrode sledeče:

EVB — Mo — lastnosti čistega vara

1. Orientacijska analiza

C	Si	Mn	Mo
0,08	0,50	0,08	0,50

2. Mehanske lastnosti pri temperaturi 20°

Toplotna obdelava	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Kontrakcija %
nežarjeno	44—54	54—64	min. 22	ca. 65
normaliz.	32—40	45—53	min. 30	ca. 70

3. Žilavost — V notch nežarjeno:

20°:	12—18 kpm/cm ²
0°:	9—14 kpm/cm ²
—20°:	7—12 kpm/cm ²
—40°:	5—10 kpm/cm ²

4. Mehanske lastnosti pri višji temperaturi (nežarjeno)

Temper. °C	Meja raztez. (0.2) kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
200	min. 41	min. 43	min. 53
300	min. 39	min. 41	min. 51
350	min. 37	min. 39	min. 49
400	min. 34	min. 36	min. 46
450	min. 29	min. 31	min. 41
500	min. 24	min. 26	min. 36

Vrednosti se nanašajo na čisti var brez predhodne toplotne obdelave (nežarjeno) in predstavljajo minimalne vrednosti. Povprečne vrednosti so za 3—5 kp/mm² višje.

Namen uporabe:

1. Č 1206, Č 1207, Č 3133, Č 3105
(H III, H III A, 17 Mn 4, 19 Mn 5, H IV)
2. Č 7100, ČL 7130
(15 Mo 3), GS 22 Mo 4
3. Visokotrдна jekla trdnosti do 65 kp/mm²

EVB — Cr Mo — Lastnosti čistega vara

1. Orientacijska analiza

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,08	0,45	0,80	1,20	0,5

2. Mehanske lastnosti pri temperaturi 20° C

Toplotna obdelava	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Zilavost V Notch kpm/cm ²
napuščeno	48—58	58—68	min. 20	12—18
poboljšano	38—48	48—58	min. 25	15—22

3. Mehanske lastnosti pri višji temperaturi napuščeno:

Temper. °C	Meja raztez. (0.2) kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
200	min. 44	min. 46	min. 56
300	min. 42	min. 44	min. 54
400	min. 39	min. 41	min. 50
500	min. 34	min. 36	min. 44
550	min. 26	min. 30	min. 37
poboljšano:			
400	min. 25	min. 28	min. 40
500	min. 22	min. 24	min. 34
550	min. 18	min. 20	min. 27

Vrednosti so minimalne. Povprečne vrednosti so ca. 3—5 kp/mm² višje.

Napuščanje: ogrevanje na temp. 720° — z zadrževanjem na temp. 30 minut, ohlajati na mirujočem zraku

Poboljšanje: ogrevanje na temp. 930° — z zadrževanjem na temp. 30 minut, ohlajati na mirujočem zraku, ponovno ogrevati na temperaturi 720° — 30 minut in ohladi na mirujočem zraku.

Namen uporabe:

1. Jekla z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri višji temperaturi za izdelavo kotlov in cevi kakor tudi enake in sorodne jeklo litine, katerih obratovalna temperatura znaša do 530° C. N. pr. Č 7400 (13 Cr Mo 44).

2. Za nizkolegirana jekla zaboljšanje in cementacijo.

EVB 2 Cr Mo — Lastnosti čistega vara

1. Orientacijska analiza

C	Si	Mn	Cr	Mo
0,08	0,45	0,70	2,3	1,0

2. Mehanske lastnosti pri temperaturi 20° C

Toplotna obdelava	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Zilavost V notch kpm/cm ²
napuščeno:	53—63	63—73	min. 18	min. 12
poboljšano:	43—53	54—64	min. 20	min. 15

3. Mehanske lastnosti pri višjih temperaturah (200—550°)

a. napuščeno

Temp.	Meja raztez. (0.2) kp/mm ²	Meja raztez. kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²
200° C	min. 45	min. 47	min. 57
300	min. 42	min. 44	min. 54
400	min. 38	min. 40	min. 50
500	min. 32	min. 35	min. 43
550	min. 24	min. 28	min. 35
600	min. 12	min. 15	min. 25

b. poboljšano:

500	min. 20	min. 25	min. 33
600	min. 10	min. 13	min. 21

Vrednosti so minimalne. Povprečne vrednosti so za 3—5 kp/mm² višje.

Napuščanje: ogrevanje na temperaturi 760° C z zadrževanjem na temperaturi 30 minut, ohlajati do temp. 400° v peči in nato na mirujočem zraku.

Poboljšanje: ogrevanje na temp. 960° C in zadrževati na tej temperaturi 30 minut, ohladiti na zraku, ponovno žariti na temp. 760° z zadrževanjem na temp. 30 minut, ohlajati do temperature 400° v peči in nato na mirujočem zraku.

Namen:

Za jekla z garantiranimi mehanskimi lastnostmi pri višji temperaturi in jekla, odporna proti

atmosferi vodika, za delovne temperature do 550° C. N. pr. Č 7401 (10 Cr Mo 9.10). Čisti var je tudi odporen proti tvorbi škaže in slabo oksidirajoči atmosferi do 600° C.

2. Za parovode.
3. Za jeklolitine, enake in sorodne sestave.

PREDPIS TOPLLOTNE OBDELAVE PRI VARJENJU Z EVB — Cr Mo IN EVB 2 Cr Mo

1. Predgrevanje:

je odvisno od debeline pločevine in od vsebnosti kroma. Pri dimenziji do 12 mm predgrevamo do 200° C. Z naraščanjem dimenzije nad 12 mm ali z naraščanjem vsebnosti kroma je treba dvigniti temperaturo predgrevanja na 300—350° C. Izbrana temperatura predgrevanja mora ostati ista ves čas varjenja in se ne sme zmanjšati.

Toplotna obdelava po varjenju

Možno jo je izvesti takoj po varjenju. Na splošno se uporablja napuščno žarjenje, in to za Cr Mo jekla z 1.5 % Cr pri 720° C, za jekla z 2—5 % Cr pa pri 760° C. Čas napuščanja je odvisen od dimenzije in je ca. 1—1.5 h za vsakih 25 mm debeline. Širina napuščne cone, to je cone za toplotno obdelavo, mora znašati minimalno 6 × debelina pločevine na obe strani zvara. Vendar pa

Primerjava z drugimi proizvajalci

Jesenice	EVB Mo	EVB-CrMo	EVB-2CrMo
Oerlikon	Molykord Kb	Cromokord-Kb	Cromokord II
Böhler	FOX DMO-Kb	FOX-DCMS-Kb	FOX-CM 2 Kb
Arcos	Ductilend Mo	Chromend L-1	Chromend L 2
Kestra	Kb-Mo	Kb-Cromo	Kb-Cromo 2
Phönix	SH-Schwarz 3 K	SH-Kupfer 1	SH-Chromo 2KS
Philips-Peng	KV-2	KV-5	KV-3
Esab	OK-D2	OK-V1	OK-V2
Smit	SL-12	SL-19	SL-20
Messer Gr.	N-1K	N-2K	N-3K
Secheron	Molytherme	Cromotherme 1	Cromotherme 2

ZUSAMMENFASSUNG

Für das Schweißen warmfester Stähle werden solche Elektroden verwendet, bei denen die Zusammensetzung des Schweißgutes ähnlich der des Stahles ist. Es werden sowohl die rutilisauernden als auch die basischen Elektroden verwendet. Die Anwendung der rutilen Elektroden wird jedoch wegen der schlechteren mechanischen Eigenschaften und wegen dem höheren Wasserstoffgehalt im Schweißgut nicht empfohlen. Wenn aber diese schon angewendet werden, dann sind dem Gebrauch bestimmte Grenzen gesetzt. Es werden sonst nur basische Elektroden gebraucht. In der Elektrodenfabrik der Hüttenwerke Jesenice wurden für das Schweißen warmfester Stähle drei neue Elektroden EVB Mo, EVB Cr Mo und EVB 2 Cr Mo

ne sme biti cona, ki je podvržena toplotni obdelavi, ožja od 50 mm. Po napuščanju je potrebno material zelo počasi ohladiti na 450° C na mirujočem zraku, v peči ali pokriti z azbestom in nato na mirujočem zraku.

Zaključek:

Podani so bili rezultati preiskav čistega vara in zvarnih spojev elektrod EVB-Mo, EVB-CrMo in EVB 2 CrMo proizvodnje železarne Jesenice, namenjene za varjenje jekel, ki se uporabljajo za delovne temperature do 600° C. Iz rezultatov je razvidno, da elektrode popolnoma odgovarjajo svojemu namenu. Elektrode imajo tudi dobre varilnotehnične lastnosti in jih je mogoče uporabljati za vse položaje varjenja, razen od zgoraj navzdol. Preizkušene so bile tudi pri Zavodu za varjenje v Ljubljani in pri klasifikacijskem društvu LR—

Literatura

- Seferjanov: Metalurgija zavarivanja
 Secheron: Fachblatt für den Schweisser 1963/X
 DIN-norme: 4 Teil A — 1967
 DIN-norme: Schweisstechnische Normen 1969
 Thyssenrohr: Düsseldorf Stahl für die Chemie
 Stahl-Eisen: Werkstoffblatt 590—61

entwickelt und in den Produktionsprogramm eingeführt. Die Elektroden sind basisch mit einem Ausbringen von ca 115 %.

Im Artikel sind die Ergebnisse der Untersuchungen am Schweißgut und der Schweißnaht dieser Elektroden bei 20° C und bei den Temperaturen von 200 bis 550° C angegeben. Auch der Zweck der Anwendung ist angegeben. Zusätzlich ist zu den Untersuchungen der Elektroden auch die Technologie des Schweißens der warmfesten Stähle bei höheren Temperaturen beschrieben.

Auch eine Übersicht über die Stahlsorten der warmfester Stähle ist angegeben.

SUMMARY

Electrodes which gave similar composition of the weld as it is of the basic steel are used for welding steels with guaranteed mechanical properties at higher temperatures. Basic or rutile electrodes are used for these purposes. But rutile electrodes are not recommended due to poorer mechanical properties and higher hydrogen content in the weld. If they are used there are certain restrictions. Only basic electrodes are really recommended for welding such steels. Three new electrodes EVB Mo, EVB CrMo, and EVB 2 CrMo were introduced into the production program of Jesenice ironworks for welding

steels with guaranteed mechanical properties at higher temperatures. They are basic electrodes with about 115% yield.

In the paper investigation results of pure weld and junctions of these electrodes at 20°C and 200 to 550°C are given. Also their applicability is given. As a supplement to the electrode investigations the welding technology of steels with guaranteed mechanical properties at higher temperatures, and the review of single steel qualities are described.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для сварки стали с гарантированными механическими свойствами при высоких температурах употребляются электроды состава чистого шлага состава стали. Для этой цели можно употребить рутильные а также и основные электроды. Несмотря на это употребление рутильных электрод не рекомендуется вследствие низких механических свойств и большого содержания водорода в сварном шове, поэтому эти электроды надо употреблять с определенным ограничением.

Для сварки упомянутых марок стали рекомендуется употребление только основных электрод.

В металлургическом комбинате Есенице (Zelezarna Jesenice) взяты в программу для сварки стали с гарантированными механическими свойствами при высоких температурах три новые электрода EVB Mo, EVB Cr Mo и EVB 2 Cr Mo.

Эти электроды основного типа с выходом прибл. 115%. В статье рассмотрены результаты испытания чистой сварки и соединений этих электрод при температуре 20° и интервале 200—550° Ц.

Предложено также назначения употребления этих электрод; описан технологический способ сварки и дан обзор отдельных сортов стали.

Iz dela metalografskega laboratorija

S sorazmerno vse večjo uporabo aluminija in njegovih zlitin v strojništvu so tudi vse bolj številni specifični primeri napak in poškodb v konstrukcijskih elementih izdelanih iz teh materialov.

V članku opisujemo primer livarskih napak, napak nastalih pri preoblikovanju, kemični obdelavi in uporabi predmetov iz aluminija in njegovih zlitin.

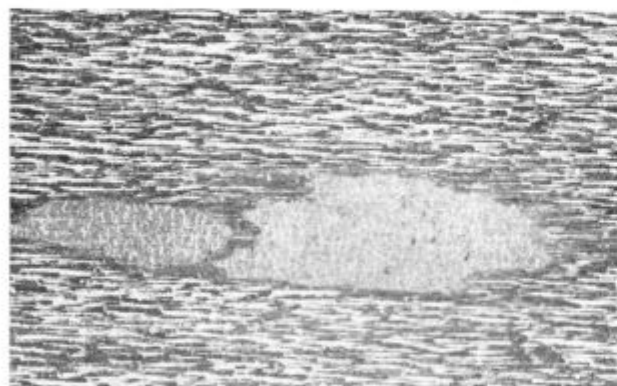
1. Elementi za velike hladilne sisteme so izdelani iz tanke aluminijeve pločevine. Z ustreznim postopkom se lahko dve taki pločevini hladno zvarita v en hladilni element tako, da tvorita cel sistem povezanih kanalov za pretok hladilnega medija. V večini primerov se zaradi mogočega korozijskega napada zunanja površina takega elementa prevleče z ustreznim lakom. Le-ta pa se nanaša na površino šele, ko je bila ta temeljito kemično očiščena.

Na takih hladilnih elementih izdelanih iz tanke pločevine tehniško čistega aluminija (99,6 %) sta se pojavljali dve vrsti površinskih napak, zaradi katerih bi bilo morda ogroženo delovanje hladilnega sistema. Primere prvih napak kažeta sl. 1 in 2. Število takih mest je bilo veliko, gostota pa neenakomerna. Mikroskopska preiskava je pokazala, da je bila površina na teh mestih »natrgana«. Taka napaka je nastala pri valjanju, njen izvor pa je v napaki v materialu. Na presekih pločevine v področju natrgnin ali pa stran od njih smo opazili mnogo ločenih skupin velikih nekovinskih vključkov (sl. 3, 4, 5, 6). Večina teh vključkov se je med valjanjem zdrobila, niso se pa razpotegnili v smeri preoblikovanja. Ti trdi in krhki vključki so vključki aluminijevega oksida. Taka množina

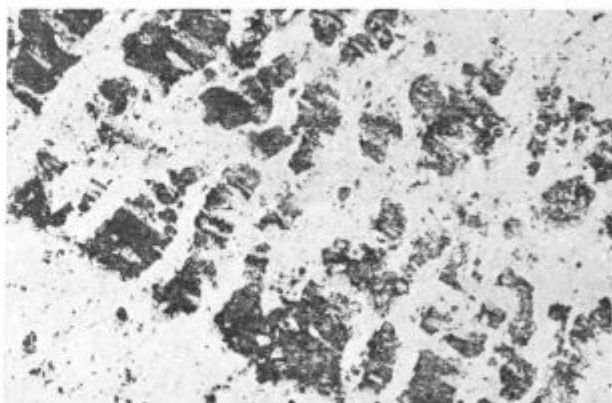
in velikost sta posledici nezadostne rafinacije aluminija pred vlivanjem. Pri valjanju je večina con z gostimi in grobimi vključki, ki so bili zadosti blizu površine, razpokala, kar se kaže v značilno natrgani površini pločevine. Globina teh poškodb pa v primeri z debelino pločevine ni velika, zato ne more vplivati na funkcionalnost hladilnih elementov. Druga vrsta napak se je pojavila na nekaterih hladilnih elementih med luženjem, ki je normalna operacija v sklopu postopka za zaščito površine pred korozijo. Na sliki 7 in 8 sta dva primera izredno močnega korozijskega napada. V mikrostrukturi materiala in pa na površini pločevin nismo našli žarišč, v katerih bi začela korozija. Pregled korodiranih površin in vzporedni poskusi so pokazali, da poškodovana površina (natrgana) ni inicial za začetek korozijskega napada. Opazili smo le, da se pri luženju ta



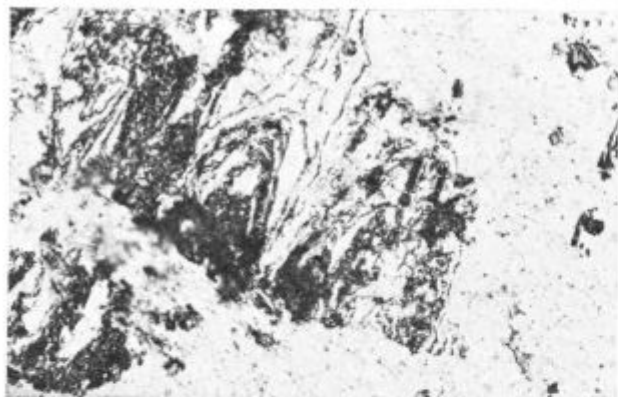
Slika 2
Primer mesta z natrgano površino; pov. pribl. 10×



Slika 1
Primer mesta z natrgano površino; pov. pribl. 10×



Slika 3
Detajl natrgane površine; pov. 100×



Slika 4

Mikroskopski videz natrgane površine; polirano, pov. 500×



Slika 5

Vključki aluminijevega oksida v pločevini; pov. 200×



Slika 6

Vključki aluminijevega oksida; pov. 500×

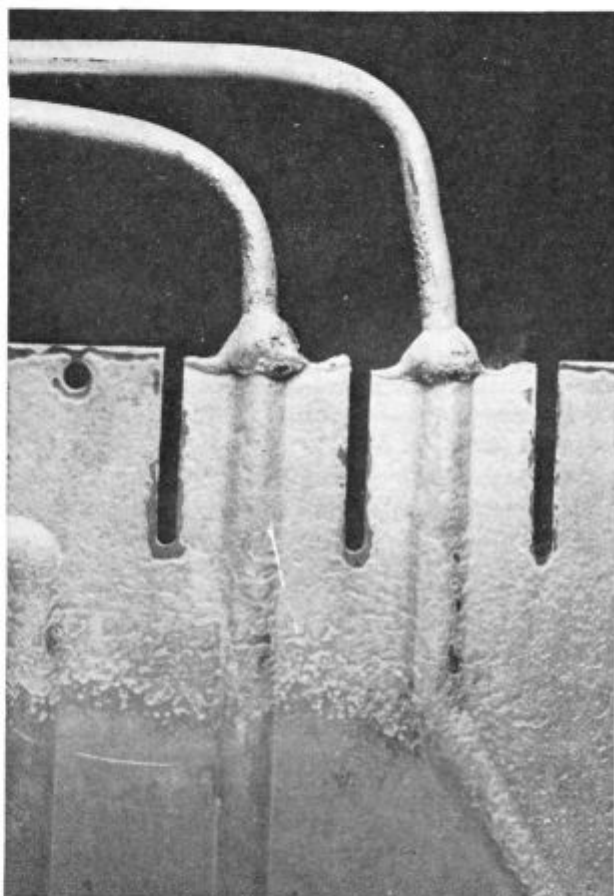
mesta močnejše jedkajo do globine, ki približno odgovarja globini poškodbe.

Kemična analiza pa je pokazala, da se je sestava lužilne raztopine med delom bistveno spremenila in da se je velik del aktivne substance že iztrošil. Prav tako se je spremenilo tudi razmerje komponent (žveplene kisline in natrijevega bikromata). Z uporabo sveže lužilne raztopine so vse težave zaradi prehitre lokalne korozije odpadle.

2. Drugi primer je analiza poškodb na sponkah daljnovoda.

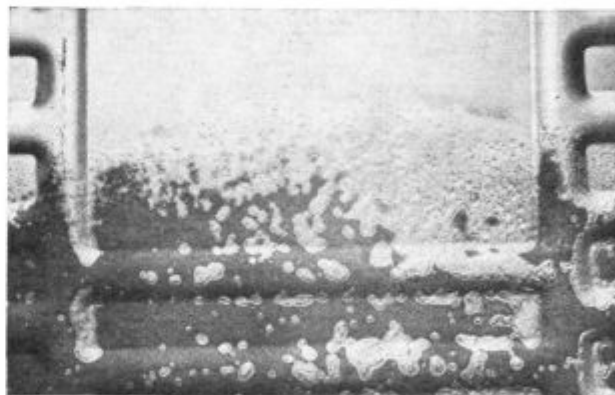
Sponke so bile sestavljene iz dveh delov. Del, ki je izdelan iz aluminijeve zlitine, je bil pravit v del, izdelan iz bakrove zlitine. S čepom je bilo preprečeno odvijanje. Med obema deloma je bila gumijasta izolacija, ki je preprečevala vdor vode med navoje, kar bi lahko povzročilo korozijo.

Daljnovodne sponke so bile močno poškodovane na notranji površini. Zaradi boljšega oprijema aluminijaste vrvi v sponkah podložene kovinske ploščice, so praktično popolnoma razpadle. Na



Slika 7, 8

Primeri korodiranih polj na površini hladilnih sistemov

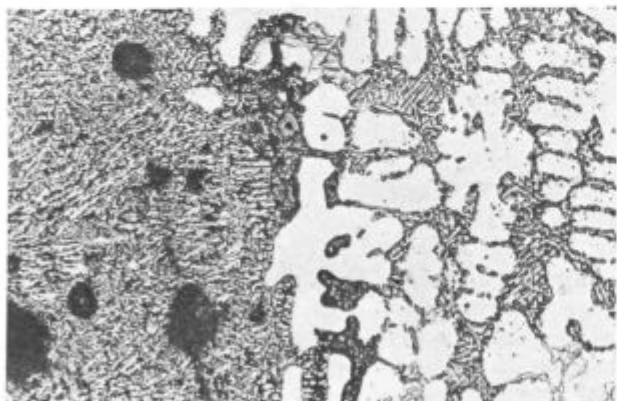


mnogih mestih pa je bilo na notranji površini aluminijastih delov sponke opaziti znake nataljevanja.

S kemično analizo smo ugotovili, da so bili aluminijasti deli sponke izdelani iz zlitine s 5,9 % Si, 3,0 % Cu, 0,5 % Mg in 0,39 % Fe, bakrova zlitina pa je bila sestavljena še iz 4,2 % Sn, 0,6 % Zn ter sledov P in Al.

Podložne ploščice so bile izdelane iz cinka.

Mikrostruktura ob notranji površini aluminijastih delov sponke je pokazala, da je res prišlo do lokalnega nataljevanja (slika 9).



Slika 9

Mikrostruktura meje med nataljenim (levo) in nenataljenim delom silumina; jedkano; pov. 100×

V desni polovici slike je prvotna mikrostruktura, ki sestoji iz dendritov, v njihovih žepih pa je porazdeljen eutektik. V nataljenem delu so mikrostrukturne komponente izredno drobne in enakomerno porazdeljene, kar kaže na drugačen režim ohlajanja ali eventualno tudi drugačno kemično sestavo. Tudi izredno pogosta mikroporoznost v tem delu govori za to, da se je ta del stalil.

Na osnovi rezultatov preiskave sklepamo, da je prišlo do poškodbe na naslednji način: Zaradi korozije ali pa nizkotemperaturne oksidacije so najprej razpadle cinkove ploščice podložene v sponkah. Zato se je povečala električna upornost med površino sponke in vrvjo. Posledica tega je bilo lokalno segrevanje materiala nad temperaturo tališča, istočasno pa so se segreli tudi drugi deli sponke, saj se je poškodovalo tudi gumijasto tesnilo in varovalna barva na bakrovi zlitini.

Izvor poškodbe je v napačno izbranem podložnem materialu (cink) med vrvjo in notranjo steno sponke. Izvedba same sponke je bila v redu, saj praktično na zunanji površini ni bilo pomembnejših znakov korozije, pravtako tudi na navojih ni bilo opaziti korozijskih poškodb.

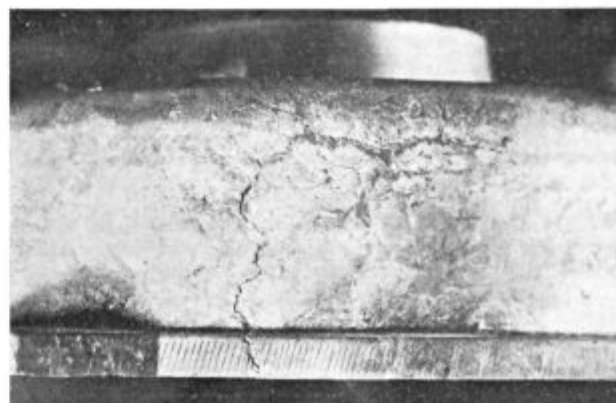
Res je, da bi cinkova ploščevina, če bi bila v posrednem stiku z aluminijevo ali bakrovo zlitino, preprečevala korozijo, saj je električno najbolj negativna in bi sama korodirala. V tem primeru pa je povzročila druge nevšečnosti, katerih posledica je bilo lokalno nataljevanje in neuporabnost sponke.

3. Ohišje reduktorja, bi moralo biti vlitto iz zlitine $KAlSi10MgCu$, ki je odporna napram vibracijam, katerim je lahko ohišje med obratovanjem podvrženo.

Površina ohišja je bila slaba, polna prelitih mest in bradavic (sl. 10). Na presekih stene ohišja smo opazili številne mikropore (sl. 11) in cela področja strukture obdane z oksidno kožico (sl. 12, 13).

Zlitina je bila modificirana, vendar se kaže v mikrostrukturi nepopolnost oz. nehomogenost modifikacije, saj se prepletajo polja povsem eutektske sestave s polji dendritov in eutektika. Ta v določeni meri neenakomerna modifikacija verjetno nima pomembnega vpliva na kvaliteto ohišja. Ohišje je bilo tudi neprimerno toplotno obdelano, saj je bila trdota le 64 kp/mm^2 (HB), kar je mnogo pod predpisano mejo.

Na sliki 10 je s puščico označena razpoka, ki poteka preko cele debeline daleč v ohišje reduktorja. V podaljšku te razpoke smo opazili oksidno kožico (sl. 13). Ta razpoka je verjetno nastala v končni velikosti po gašenju ali zaradi zunanje sile, posreden vzrok zanjo pa je bila napaka za-



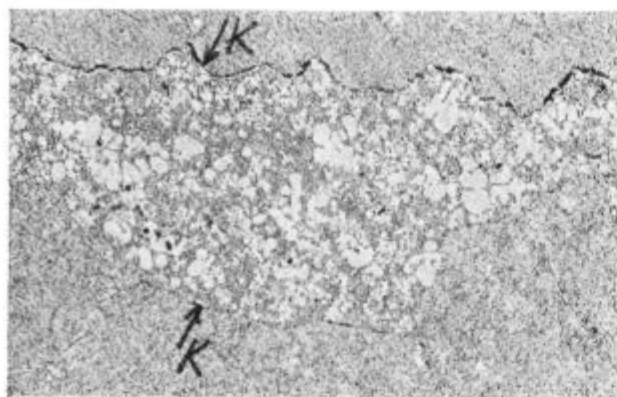
Slika 10

Ohišje reduktorja; (R-razpoka); pov. pribli. 1,7×



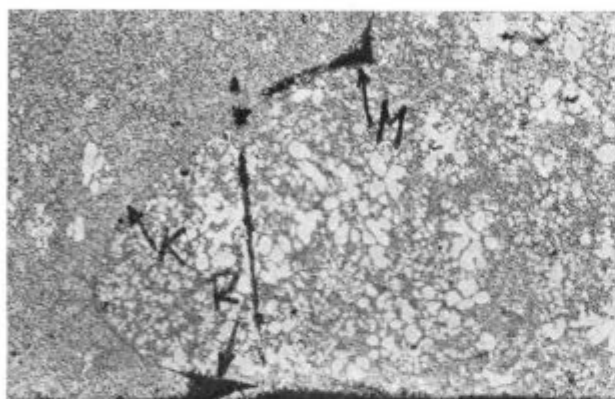
Slika 11

Mikrostruktura na prečnem preseku ohišja; Vidljivo se znaki mikroporoznosti (M), oksidna kožica (K) ter nehomogena porazdelitev strukturnih komponent; polirano; pov. 100×



Slika 12

Z oksidno kožico obdan otok sestavljen iz dendritov in eutektika; polirano; pov. 100×



Slika 13

Struktura v okolici in podaljšku razpoke s sl. 10. Mikro-poroznost (M) in oksidna kožica (K) ob podaljšku razpoke (R); pov. 100×

radi prelitja. Seveda tako ohišje, zaradi opisanih livarskih napak, ni sposobno prenašati dinamičnih obremenitev.

S kemično in metalografsko analizo smo tudi ugotovili, da ohišje reduktorja ni bilo izdelano iz zahtevne zlitine $KAlSi10MgCu$, temveč podobne zlitine $KAlSi10Mg$. Po namenu uporabe se ti dve zlitini ločita; prva je odporna proti vibracijam, druga pa proti udarcem. Trdnost in meja 0,2 sta pri obeh približno enaki, močno pa se razlikujeta v intervalu raztezkov in v maksimalno doseženih trdotah. Znanim delovnim pogojem ohišja reduktorja bi tudi druga zlitina odgovarjala, če bi bila pravilno toplotno obdelana in bila brez livarskih napak, od katerih so zlasti napake zaradi prelitja najbolj neugodne.

SKLEP:

Pri treh konstrukcijskih elementih izdelanih iz aluminija ali njegovih zlitin smo opazili napake, katerih izvor je bil že ali v nepravilni tehnologiji priprave taline in vlivanja, v nepravilnih pogojih luženja ali pa v majhni pomanjkljivosti konstrukcije. Nepravilen režim toplotne obdelave, posebno zlitin z bolj pestro sestavo, je tudi pogost vzrok neprimerne kvalitete. Prav pri toplotni obdelavi aluminija je zgrešenih mnogo napak, precej več kot pri toplotni obdelavi jekla. Velika selekcija materialov tako po lastnostih in namenu uporabe je pogoj za kvaliteto različnih strojnih delov, obenem pa narekuje povsem nov pristop k preiskavam in odpira mejo med posameznimi kovinami.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Arteikel werden einige Beispiele der Giessfehler, Fehler welche bei der Verformung, bei der chemischen Oberflächenbehandlung, bei der Wärmebehandlung, und bei der praktischen Anwendung an aus Aluminium und Aluminiumlegierungen gefertigten Gegenstände entstanden sind beschrieben.

Die angegebenen Fehler zählen zu den allgemeinen Fehlern, welche an Gegenständen die aus Leichtmetallen

gefertigt sind, sehr oft auftreten können. Die grosse Auswahl der Werkstoffe sowohl in Hinsicht der spezifischen Anwendung und der optimalen Eigenschaften verlangt die Anwendung eines grossen Spekter verschiedener Werkstoffe in einem Erzeugniss. Deshalb fallen die Sperrn welche die Technologen künstlich zwischen die einzelnen Metalle gestellt haben, und führen zur einheitlichen Behandlung aller metallischen Werkstoffe.

SUMMARY

Examples of faulty casts, defects which appear in working, in chemical surface processing, in heat treatment, and during the use of pieces made of aluminium and its alloys are described in the paper.

These defects are examples of general defects which often appear in light metal products. Great choice of

materials for specific uses and with optimal properties demand the use of very wide range of materials in a single composite product. Therefore the barriers which were artificially erected between single metals by technologists are knocked down, and metal materials are treated more and more uniformly.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны случаи античных пороков на изделиях из алюминия и его сплавах полученные во время формовки, химической обработке поверхности отливки, термической обработки а также пороков которые появляются во время их употребления. Описанная порода представляет именно тот вид пороков, которые часто появляются на изделиях из легких металлах.

Большая селекция материала что касается специфичности употребления а также и оптимальности качества указывает на необходимость применения более широкого спектра материала в одном изделии. Поэтому, искусственно от стороны технологов поставленные барьеры между отдельными металлами все более и более ослабевают и ведёт к унификации оценки всех металлических изделий.

Karakterizacija visokolegiranih feritnih jekel z Mössbauerjevo spektroskopijo

Z metodo Mössbauerjeve spektroskopije smo okarakterizirali skupino visokolegiranih feritnih jekel z namenom pregledati možnost, da se ta metoda uporabi za hitro določevanje vrste oziroma kakovosti feritnih jekel, ki so zelo pomembna v tehnologiji hitrih reaktorjev.

Uvod

Metodo Mössbauerjeve spektroskopije smo izbrali za karakterizacijo feritnih jekel, ker nam že ne glede na podrobno razumevanje spektra poda kvalitativno razliko med posameznimi vrstami jekla. Struktura spektra se karakteristično spreminja glede na lastnosti oziroma strukturo posameznih faz jekla.

Pri brezodrivni resonančni absorpciji žarkov gama (Mössbauerjev efekt) med osnovnim in prvim vzbujenim stanjem jedra, lahko mnogokrat opazujemo hiperfino strukturo absorpcijskega spektra, ki nam zelo nazorno popiše lastnosti efektivnih magnetnih polj na mestu opazovanega jedra.

Jedro železovega izotopa ^{57}Fe ustreza potrebnim pogojem brezodrivne resonančne absorpcije in že v naravni koncentraciji zadošča za uspešno meritev. Kvadrupolni moment vzbujenega stanja jedra ^{57}Fe pa predstavlja pridobitev, ker v osnovnem stanju lahko študiramo le magnetne interakcije¹.

V feromagnetnih snoveh lahko izmerimo z Mössbauerjevo spektroskopijo efektivna magnetna polja, katerih vpliv na magnetne momente jeder lahko popišemo s hamiltonianom:

$$H = -\gamma h I \vec{H}_e$$

kjer je $\gamma h I = \mu$ magnetni moment jedra, γ je giromagnetno razmerje in H_e je efektivno magnetno polje na mestu jedra. Slednje je zaradi polarizacije s elektronov običajno obratnega predznaka kot lokalno magnetno polje H_0 , ki ga lahko definiramo z enačbo

$$\vec{H}_e = \vec{H}_0 + \frac{1}{4} \pi \vec{M} - \vec{H}_{DM} \quad *$$

* Z zunanjim magnetnim poljem določimo predznak efektivnega, to je hiperfinega polja na mestu železovega jedra.

kjer je H_0 zunanje magnetno polje, M magnetizacija in H_{DM} demagnetizacijsko polje, ki ima obratno smer od zunanjega polja ter je odvisno od smeri domen v vzorcu.

Posamezne absorpcijske črte v spektru feromagnetnega jekla so še dodatno premaknjene med seboj zaradi kvadrupolne interakcije kvadrupolnega momenta jedra z gradientom električnega polja EFG (electrical field gradient):

$$\epsilon = Q \nabla \vec{E}$$

kjer je Q proporcionalen električnemu kvadrupolnemu momentu jedra in ∇E gradient električnega polja na mestu jedra. Kvadrupolni premiki predvsem določajo lokalno simetrijo električnih polj na mestu jedra. Težišče izmerjenega spektra je nadalje premaknjeno zaradi izomernega premika, torej relativnega premika osnovnega oziroma vzbujenega stanja zaradi različne elektronske strukture v okolici jedra v absorberju oziroma izvoru. Zaznati pa ga je možno zaradi različnih radijev jedra v osnovnem oziroma vzbujenem stanju. Izomerni premik zapišemo z znano relacijo:

$$\delta = \frac{4\pi}{5} Ze R^2 \frac{\Delta R}{R} \left| \Psi(O) \right|_{ab}^2 - \left| \Psi(O) \right|_{iz}^2$$

kjer je $|\Psi(O)|^2$ gostota s elektronov na mestu jedra, $\Delta R = R_v - R_0$ je razlika v radijih vzbujenega in osnovnega stanja jedra, Ze je naboj jedra in R radij jedra. Izomerni premik premakne vseh šest železovih hiperfinih komponent — absorpcijskih črt. Vrednosti izomernih premikov so v tabeli 1 in 2 podane glede na težišče spektra v feritu α .

Efektivno magnetno polje, gradient električnega polja in izomerni premik so parametri s katerimi smo okarakterizirali posamezna feritna jekla. So zelo občutljivi na majhne spremembe v sestavi zlitine in deformacije kristalne mreže. S korelacijami med metalografskimi, kemijskimi in Mössbauerskimi rezultati je rutinska analiza lahko poenostavljena.

Eksploiment

Vzorci feritnih jekel so bili izdelani na Metalurškem inštitutu v Ljubljani. Podroben opis vzorcev, njihovo kemijsko analizo in metalografsko



karakterizacijo so opisali Krstić, Perme, Vodopivec². Vzorci za Mössbauerjevo analizo so bili pripravljani glede na pogoje, da naj bo železa 25 mg/cm². Le vzorec 5 nam je uspelo v hladnem izvaljati. Sicer smo pa vse vzorce previdno zdrobili v prah. Valjano ploščico smo popuščali s segrevanjem do 550^o, pol ure. Spektra prahu in valjane ploščice za vzorec 5 sta enaka, razlika je le v efektivnem magnetnem polju, ki se poveča za približno 5 % glede na vzorec v prahu. Povečanje efektivnega magnetnega polja lahko pripišemo termomehanski obdelavi³. Čeprav tovrstna priprava vzorca ni primerna, pa je glede na trdoto jekla in način merjenja edina rešitev.

Za registracijo Mössbauerjevega efekta v omejenih jeklih, ki so služili kot absorberji, smo uporabili Mössbauerjev spektrometer⁴ z 256 kanalnim analizatorjem. Za izvor žarkov γ je služil Co⁵⁷ z aktivnostjo 5 mC vdolan v paladijevi foliji. Izvor smo premikali z elektromehanskim sistemom v smeri najkrajše razdalje med izvorom in absorberjem. Žarkom gama tako zvezno spreminjamo energijo $\Delta E = \frac{v}{c} E$, kjer je E energija žarkov gama, c svetlobna hitrost in v relativna hitrost gibanja izvora glede na absorber. Eksperimentalni podatki so v enotah hitrosti mm/s. Hitrost je označena pozitivno kadar se izvor približuje absorberju.

Rezultati in diskusija

Mössbauerjevi spektri posameznih vzorcev jekel z zaporednimi številkami od 1—5, merjeni pri sobni temperaturi, so podani v sliki 1. Kvalitativno lahko ločimo posamezne vzorce glede na različno intenziteto in število komponent absorpcijskih črt.

Ker sta osnovno in vzbujeno stanje ⁵⁷Fe oddaljena približno 14,4 keV lahko za vsakega posebej uporabimo metodo motenj v prvem redu za izračun posameznih hiperfinih nivojev jedra, kot posledico odpravljene degeneracije z efektivnim magnetnim poljem v vsaki posamezni fazi:

$$H = -\mu_i \vec{H}_e$$

pri tem predstavlja μ_i vrednosti za magnetni moment osnovnega oziroma vzbujenega stanja, $\mu_o = 0,0903$ jedrskih magnetonov in $\mu_v = -0,153$ jedrskih magnetonov. Energijske nivoje lahko zapišemo:

$$E_{mv} = E_v - m_v \gamma_v h |\vec{H}_e|$$

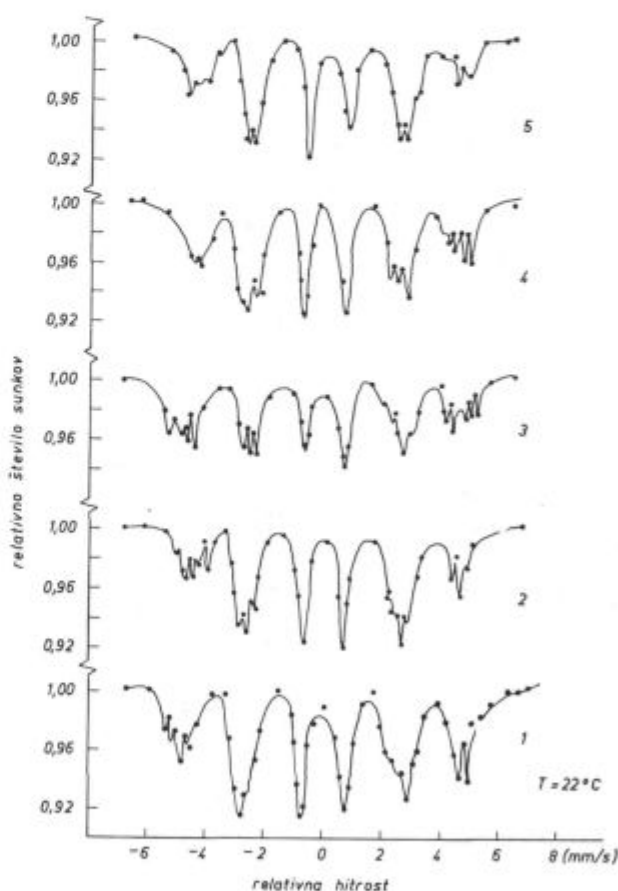
$$E_{mo} = E_o + m_o \gamma_o h |\vec{H}_e|$$

kjer sta E_v in E_o energiji vzbujenega in osnovnega stanja, drugi člen pa označuje energijske premike

zaradi interakcije magnetnih momentov jedra z efektivnim magnetnim poljem. Glede na izbirna pravila $|m_v - m_o| = 0$ ali 1 dobimo šest absorpcijskih črt za vsako feromagnetno fazo v jeklu. Kot je razvidno iz merjenih spektrov, se velikosti efektivnih magnetnih polj v posameznih fazah le malo razlikujejo, zato se ustrezne Mössbauerjeve črte delno ali v celoti prekrivajo. Zaradi prekrivanja se ne more pojaviti v merjenih jeklih Lorentzova oblika Mössbauerjevih absorpcijskih črt.

Razdalje med posameznimi absorpcijskimi črtami so še rahlo spremenjene zaradi kvadrupolne interakcije med električnim kvadrupolnim momentom vzbujenega stanja jedra ⁵⁷Fe in gradientom električnega polja EFG. Za primer aksialne simetrije gradienta električnega polja in pogoja, da je hiperfina razcepitev mnogo večja od kvadrupolnih premikov lahko zapišemo popravek k nivojem vzbujenega stanja v obliki:

$$\epsilon = (-1)^{|m_I| + \frac{1}{2}} \frac{e q Q}{4} \frac{3 \cos^2 \Theta - 1}{2}$$



Slika 1
Mössbauerjevi absorpcijski spektri za vzorce visokolegiranih feritnih jekel 1—5 pri sobni temperaturi z izvorom ⁵⁷Co v platini.

kjer je Θ kot med smerjo efektivnega magnetnega polja in osjo simetrije gradienta električnega polja, e naboj elektrona, q je proporcionalen gradientu električnega polja ($q = 1/e \delta^2 V/\delta z^2$) Q pa je kvadrupolni moment (za ^{57}Fe je $0,29 \cdot 10^{-24} \text{ cm}^2$). Premike zaradi kvadrupolne interakcije lahko izmerimo, primerjamo jih pa le težko z izračunanimi vrednostmi gradienta električnega polja za kristalno mrežo, ker so vrednosti zaradi doprinosa oddaljenih ionov zasenčene z valenčnimi elektroni. Vsekakor pa lahko sklepamo na relativne spremembe gradienta električnega polja na mestu železa. Kvadrupolni premiki pomenijo, da okolica jedra ni več kubična. V kubični nedeformirani lokalni simetriji so vse tri glavne vrednosti tenzorja gradienta električnega polja enake, so torej enake nič, ker velja:

$$\Delta V = 0, \sum_i V_{ii} = 0$$

$$V_{ii} = V_{kk} = V_{jj} = 0$$

kjer je V električni potencial.

V tabeli 1 so poleg kemijske sestave 5 vrst jekel podani parametri Mössbauerskih spektrov in povprečna efektivna magnetna polja na mestu železovega jedra pri sobni temperaturi. Zaradi slabe ločljivosti so izmerjena le povprečja in maksimalne ter minimalne vrednosti magnetnega polja na mestu železovega jedra.

Ce izpišemo hamiltonian za magnetno interakcijo v obliki:

$$H = -\gamma_e \gamma_j h^2 I \left\{ \frac{3}{8\pi} \delta(r) \vec{S} + \left[\frac{\vec{l}}{r^3} - \frac{3(\vec{r}\vec{S})\vec{r}}{r^5} - r^2 \vec{S} \right] \right\}$$

kjer pomeni e elektron, j pa jedro, prvi člen v zavitem oklepaju predstavlja Fermijevo kontaktno interakcijo in je od nič različna le za sisteme s končno verjetnostjo s elektronov na mestu jedra, drugi člen pa dipolno interakcijo jedra z zu-

nanjimi elektroni s spinom S in orbitalno vrtilno količino l . Efektivno polje lahko izračunamo iz enačbe:

$$H_e = - \langle \Psi | H | \Psi \rangle / I \gamma_j h$$

kjer je povprečje le po valovnih funkcijah elektrona. Prvi kontaktni člen v glavnem prispeva k hiperfini razcepitvi jedrskih energijskih nivojev in ga zapišemo tudi v obliki:

$$H_{\text{kont}} = \frac{8\pi}{3} \gamma_e h \langle \vec{S} \rangle \left| \Psi(0) \right|^2 = \frac{8\pi}{3} \gamma_e h \left| \Psi_{\uparrow}(0) \right|^2$$

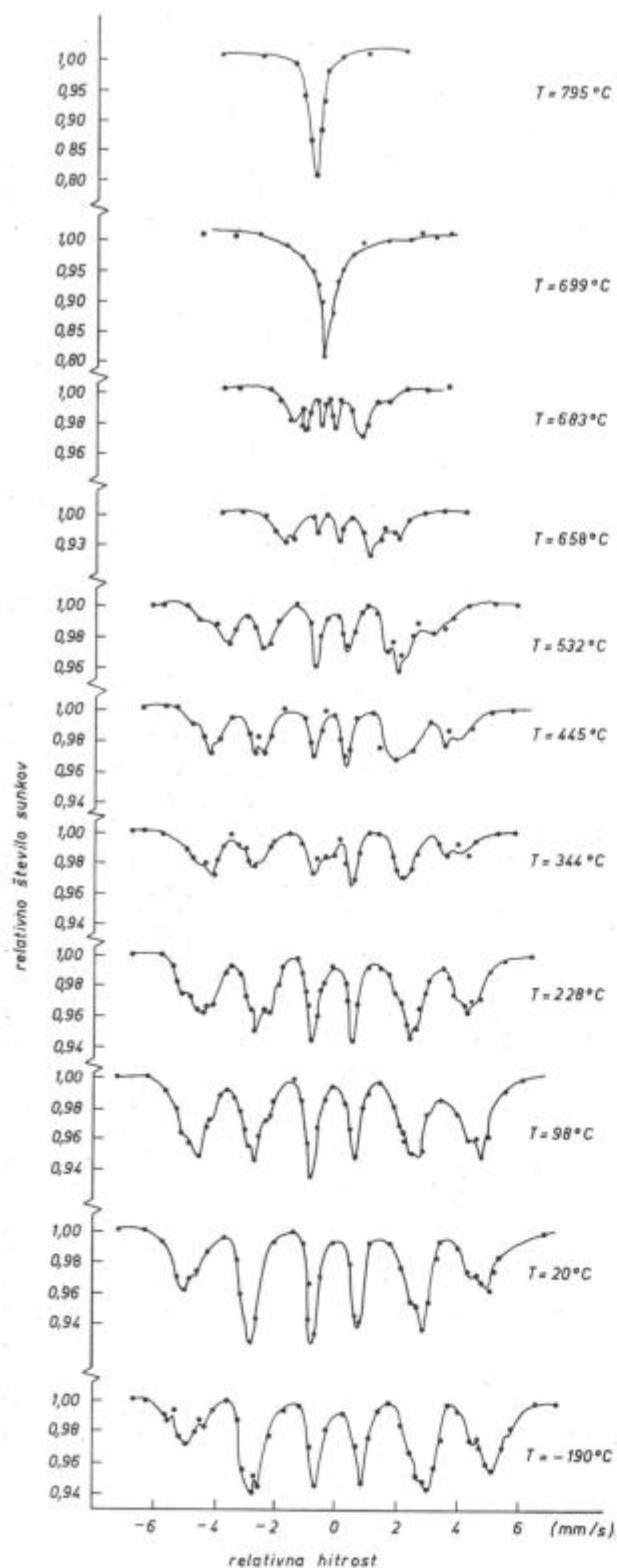
kjer je $\left| \Psi_{\uparrow}(0) \right|^2$

gostota nesparjenih s elektronov na mestu jedra. Pri železu in zlitinah $3d$ elektroni polarizirajo s elektrone in je doprinos zaradi kontaktne interakcije k efektivnemu polju $\approx 300 \text{ kG}$, drugi člen $H_L = \langle l/r^3 \rangle \gamma h \langle L \rangle$ pa prispeva le do $\approx 70 \text{ kG}$.

V naših vzorcih lahko ločimo po pet neekvivalentnih železovih jeder glede na lokacijo v fazi oziroma sosede v kristalni mreži posamezne faze. V vzorcih 1, 2 in 3 po štiri, in po pet v vzorcih 4 in 5. Ferit α , to je metalurška oznaka za železo z nizko vsebnostjo ogljika (prostorsko centrirana kristalna mreža železa) je prisoten v vseh vzorcih. Vmes so vrinjene spojine kot železov karbid, ki se izločijo pri ohlajanju jekla. Tega najdemo pri vseh merjenih jeklih. Železo prehaja pri ohlajanju čez več možnih faz, ki lahko tvorijo mikrostrukturo jekla. Elementi kot Cr, Mn, Ni, Ti in drugi pa legirajo posamezne faze, torej zamenjajo v kristalni mreži železo. Značilno za vseh pet vzorcev je torej, da vsebujejo ferit α in δ ter karbide; vzorec štiri pa še martenzit, ki je karakteriziran s tetragonalno prostorsko centrirano mrežo. Ustrezne faze je potrdila tudi predhodna metalografska preiskava². Zaradi dodanih legirnih elementov pa imajo v posameznih fazah železovi atomi različne okolice, ki spremenijo velikost efektivnega polja na mestu železa, kar se izraža v dodatnih absorpcijskih črtah, ki so prav izrazite na skrajnih zunanjih delih merjenih spektrov. Vsaka vrsta sosedov ima specifičen doprinos pri spremembi efektivnega magnetnega polja, ki se običajno se-

Tabela 1 — Mössbauerjevi parametri vzorcev feritnih jekel 1—5 pri sobni temperaturi. Izomerni premiki so podani glede na težišče spektra ferita α . Kemijska analiza v utežnih procentih je povzeta iz literature².

St. vz.	C	Cr	Ni	Mn	Mo	Ti	Si	P	S %	ϵ (mm/s)	δ (mm/s)	B_{prop} (KG)	B_{max} (KG)	B_{min} (KG)
1	0,16	9,72		0,765	2,10		0,38	0,015	0,01	$0,01 \pm 0,05$	$0,01 \pm 0,05$	300 ± 4	333 ± 8	252 ± 8
2	0,16	13,24		0,765	2,12		0,38	0,015	0,01	0,05	0,01	276	298	246
3	0,16	13,20		0,765	3,20		0,38	0,015	0,01	0,03	0,04	281	295	250
4	0,16	13,72	3,66	0,765	3,20		0,38	0,015	0,01	0,06	0,02	282,7	303	257
5	0,16	13,20	3,44	0,765	3,12	0,22	0,38	0,015	0,01	0,01	0,04	278,5	301	270



Slika 2
Mössbauerjevi spektri za jeklo št. 5 pri raznih temperaturah. Izvor ^{57}Co v Pt je na sobni temperaturi.

števa glede na število legirnih atomov. Seveda pa elektronska struktura posameznega elementa vpliva tako lokalno kot tudi na večje razdalje. Na primer, če dodajamo Si, pri katerem se pola-

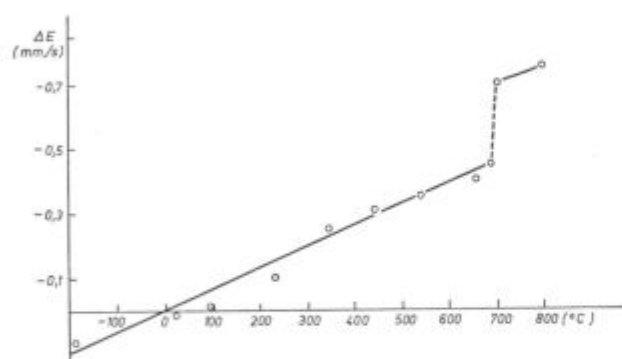
rizacija notranjih elektronskih obel ne spremeni, je zmanjšanje efektivnega magnetnega polja možno pripisati izmenjalni interakciji z vrzeljo v mreži magnetnih ionov železa preko $4s$ prevodnega pasu⁵. Kontaktna Fermijeva interakcija ni posledica samo polarizacije notranjih zaključnih s obel po $3d$ elektronih, ampak tudi $4s$ prevodnih elektronov. Tu moramo razlikovati polarizacijo zaradi izmenjave s $3d$ elektroni podobno kot velja za zasedene notrajne s lupine. Upoštevati je treba tudi mešanje $4s$ elektronov s $3d$ elektronskim pasom. Na podlagi naših analiz smo prišli do zaključka, da legirni elementi znižajo povprečno efektivno magnetno polje na mestu železovega jedra, podobno kot ogljik pri ogljikovih jeklih⁶. Za naše vzorce so možne le okvirne kvalitativne primerjave. Korelacija s kemijsko analizo je praktično nemogoča glede na podobne doprinose posameznih elementov. Seveda velja pripomniti, da je med posameznimi vzorci, ki smo jih preiskali zelo majhna razlika v sestavi in mikrostrukturi posameznih faz, tako da izmerjeni spektri potrjujejo občutljivost metode.

Mössbauerjevi spektri, merjeni pri raznih temperaturah, so dani v sliki 2. Iz spektrov je razvidno, da se z višanjem temperature pojavljajo vedno manjše razcepitve, tako da dobimo pri temperaturi 699°C le še eno črto. Razcepitev se zmanjšuje zaradi pojemajočega efektivnega notranjega magnetnega polja na mestu železovega jedra z naraščajočo temperaturo, kot je razvidno iz tabele 2. Pri temperaturi 699°C — Curijevi temperaturi — magnetno polje v celoti izgine, magnetna urejenost preide v paramagnetno stanje. V merjenih spektrih se je pokazalo, da obstaja več Curijejevih temperatur v območju nekaj stopinj, ki ustrezajo posameznim fazam jekla. Zaradi omejene natančnosti regulacije temperature ($\pm 10^\circ\text{C}$), smo lahko določili le povprečno vrednost Curijejeve temperature, ki znaša 699°C . V spektrih posnetih v temperaturnem območju do 700°C se niso pojavile dodatne črte, ki bi kazale na nastanek novih faz. Tudi avstenitne faze nismo nikjer zasledili.

Tabela 2: Velikosti povprečnih notranjih magnetnih polj in izomernih premikov pri raznih temperaturah v vzorcu št. 5.

T [$^\circ\text{C}$]	g_0 [mm/s]	g_1 [mm/s]	ΔE [mm/s]	B_{povp} [KG]
-190	$3,61 \pm 0,05$	$2,10 \pm 0,05$	305 ± 4	$+0,15 \pm 0,05$
20	3,54	2,08	299	0,05
98	3,30	1,94	279	-0,1
228	$3,10 \pm 0,1$	1,82	262 ± 8	-0,2
344	2,90	1,71	245	-0,2
445	$2,84 \pm 0,15$	1,68	240	-0,3
532	2,65	1,57	224 ± 15	-0,4
658	1,94	—	164 ± 20	-0,4
683	1,40	—	118 ± 30	-0,4
699	0	—	0	$-0,7 \pm 0,05$

Na sliki 3 je prikazana odvisnost izomernega premika ΔE za vzorec 5 kot funkcijo temperature. Definiran je glede na čisto železo in s povišano temperaturo približno linearno raste v negativni smeri do faznega prehoda v paramagnetno fazo, kjer doživi skok. Glede na negativni predznak ΔR



Slika 3

Izomerni premiki vzorca 5 v odvisnosti od temperature.

to pomeni, da je gostota s elektronov v vzorcu številka 5 večja kot v feritu α in da se stalno veča z višanjem temperature. Na podlagi tega lahko sklepamo, da z višanjem delokalizacije $4s$ elektronov dobimo večjo gostoto zaključenih notranjih s

orbital na mestu železovega jedra v vzorcu št. 5. Če primerjamo ta podatek s tem da se manjša hiperfino magnetno polje z višanjem temperature, pridemo do zaključka, da je izomerni premik merilo za gostoto s elektronov na mestu jedra, medtem ko je hiperfino magnetno polje odvisno od spinsko nesparjenih polariziranih s elektronov. Slednji z rastočo temperaturo padejo tako kot magnetizacija, ki je rezultat izmenjave v mrežici spinov feromagnetne faze.

Literatura:

1. Günther K. Wertheim, Mössbauer Effect: Principles and Applications, Academic Press, New York and London (1968), 49—84.
2. T. Perme, Dj. Krstić in F. Vodopivec, Meritve toplotne prevodnosti in električne upornosti visokolegiranih feritnih jekel, IJS Poročilo P-245 (1969).
3. D. W. Crist and P. M. Giles, Mössbauer Effect Methodology 3, 37, Edited by I. J. Gruverman, Plenum Press New York (1967).
4. D. Hanžel, Osnove Mössbauerjeve spektroskopije in raziskave hiperfine strukture nivoja energije 14.4 keV v nekaterih železnih spojinah, NIJS Poročilo P-212 (1967).
5. M. B. Stearns, Spin density oscillations in ferromagnetic alloys. Localized solute atoms: Al, Si, Mn, V and Cr in Fe. Phys. Rev. 147, 439 (1966).
6. W. E. Sauer and R. J. Reynik, Mössbauer Effect Methodology 4, 201, Ed. I. J. Gruverman, Plenum Press, New York 1968.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel werden die Untersuchungen der ferritischen Stähle mit der Mössbauerspektroskopie an fünf Proben welche verschiedene Konzentrationen der Legierungselemente Cr, Ni, Mn, Mo und Ti enthalten behandelt. Aus dem gemessenen komplexen Spektrum sind die hyperfeinen Interaktionen des Eisenkernes 57 bei der Raumtemperatur bestimmt worden. Trotz kleinen Unterschieden in der chemischen Zusammensetzung der Proben ist es aber möglich schon aus der Form der Spektren diese qualitativ nach den einzelnen Gefügebestandteilen und Phasenumwandlungen die Eisen enthalten, zu trennen. Unsere qualitative Identifizierung stimmt mit den entspre-

chenden metallographischen Untersuchungen völlig überein. Auf einer Probe des ferritischen Stahles ist auch die Abhängigkeit des Mössbauerspektrums von der Temperatur im Bereich von -190°C bis 800°C verfolgt worden. Aus den Spektren ist dann die Grösse des Innenmagnetfeldes im Eisenkern und der Temperaturübergang aus der krommagnetischen in die paramagnetische Phase (699°C) bestimmt worden.

In keinem der gemessenen Spektren der angewendeten Proben aus ferritischem Stahl fanden wir die Absorptionslinien, welche der paramagnetischen Phase, dem Austenit, entsprechen würde.

SUMMARY

Investigations of five samples of ferritic steels with various concentrations of alloying elements as Cr, Ni, Mn, Mo, and Ti by Mössbauer spectroscopy are given in the paper. From the measured complex spectra hyperfine interactions of iron 57 nucleus at room temperature were determined. Though the chemical composition of samples varied very little they can be qualitatively distinguished already by the shape of spectra according to single structure phases and phase transitions which contain iron. Our qualitative phase identification is in complete agreement with corresponding metallographical analyses.

Relationship between the Mössbauer spectrum and the temperature in the range between -190°C to 800°C was studied on one sample of ferritic steel. From spectra the magnitude of the internal magnetic field on the spot of iron nucleus, and the transition temperature from ferromagnetic into paramagnetic phase (699°C) were determined.

None of the measured spectra of the mentioned ferritic steel samples gave the absorption line corresponding to the paramagnetic phase — austenite.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье описаны исследования выполненные с образцами ферритных сталей при помощи Мёссбауер-овой спектроскопии. Взяты пять образцов стали с различным содержанием легируемых элементов Cr, Ni, Mn, Mo и Ti. При измерении комплексных спектров определены сверхтонкие взаимодействия ядра железа 57 при комнатной темп-ры. Несмотря на весьма незначительные различия химического состава образцов их можно согласно отдельных структурных фаз и изменений фаз которая содержит железо качественно различить на основании формы спектров. Эта качественная идентификация фаз полностью совпадает с соответствующим

металлографическим анализом. На одном из образцов ферритной стали наблюдалась зависимость Мёссбауер-ового спектра от темп-ры в интервале $-190-800^{\circ}\text{C}$.

Из спектров определена величина внутреннего магнитного поля на положении ядра железа а также и темп-ра превращения из ферромагнитной фазы в парамагнитную фазу (699°C).

На испытываемых образцах ферритной стали при измерении спектров абсорбционные линии которые соответствуют парамагнитной фазы т. е. аустениту не обнаружены.

Določevanje cianida v galvanskih odpadnih vodah

Na sintetiziranih alkalijskih kompleksnih cianidih smo proučevali dva destilacijska postopka. Enega za določevanje celotne množine cianida v odpadnih vodah, drugega pa za kontrolo čiščenja galvanskih odpadnih vod s klorom in hipokloritom. Eksperimentalno smo ugotovili, da z destilacijo po obeh postopkih ne dosežemo popolne sprostitve HCN iz kompleksnih cianidov, vendar smatramo, da je destilacijski postopek pri pH 5,2 do 5,5 z ozirom na natančnost, ki je zaželena, primeren za kontrolo čiščenja galvanskih odpadnih voda.

Poleg prostega cianida so v galvanskih odpadnih vodah lahko tudi kompleksni srebrov, bakrov, železov, nikljev, cinkov in kadmijev cianid. Kompleksi so stabilni, zato so nekateri teh kompleksov celo pri večjih množinah v vodah skoraj nestrupeni. Kot mejo strupenosti za prosti CN^- navajajo koncentracijo cianida do 0,02 ppm (1).

Za analizo celotne množine cianida v odpadnih vodah uporabljamo destilacijo (2), kjer razkrojimo preiskovano raztopino z $MgCl_2$, $HgCl_2$ in H_2SO_4 (pH od 0 do 2) in destiliramo nastali prosti HCN v raztopino NaOH ter ga v tej raztopini volumetrično ali fotometrično določimo. Tak postopek destilacije pa ni primeren za ocenjevanje kvalitete postopka za čiščenje galvanskih odpadnih vod s klorom ali hipokloritom. Pri tovrstnih postopkih se razkroje alkalijski cianidi in kompleksni cianidi Cu, Cd, Ni in Ag, medtem ko se ne razkroje železovi kompleksni cianidi. Za kontroliranje čiščenja bi bila ustrezna metoda, ki bi omogočala razlikovanje bakrovega, nikljevega, cinkovega, srebrovega in kadmijevega od železovega kompleksnega cianida. Do nedavnega pogosto predlagana metoda (3) destilacije cianovodikove kisline z vinsko kislino ni ustrezala, ker je koncentracija cianida v destilatu odvisna tudi od vrste kovinskega kompleksnega cianida. Novejši rezultati (4) nakazujejo, da se zelenim zahtevam najbolj približa destilacijski postopek pri pH 5,2 do 5,5. Pri tem postopku pretvorimo s cinkovim acetatom železov kompleksni cianid v težko topno spojino, s kalijevim bikromatom pa pretvorimo (Cu^I) v lažje razkrojljivi (Cu^{II}) kompleksni cianid. S tem postopkom razkrojimo vse omenjene kovinske kompleksne cianide razen železovega.

Zaradi predvidenega nepopolnega razkroja alkalijskih kompleksnih kovinskih cianidov smo proučevali dva destilacijska postopka. Enega za

določevanje celokupnega cianida (2), drugega pa za kontrolo čiščenja galvanskih odplak (4) s klorom ali hipokloritom. Destilacijo oziroma razkroj alkalijskih kompleksnih kovinskih cianidov smo študirali na spojinah, ki smo jih sintetizirali (5).

Med določitvenimi metodami so najpomembnejši volumetrični in fotometrični postopki. Pri naših raziskavah smo se omejili na jodometrično (6) in kompleksometrično (7) določevanje cianida. Za določitev mikrogramskih množin pa smo izbrali fotometrične postopke:

- Določevanje cianida s kloraminom T v prisotnosti piridina (8, 9)
- Določevanje cianida z dimedonom (10, 11)
- Določevanje cianida z 1-fenil-3-metil-5-pirazolonom in bis-pirazolonom (12, 13)
- Določevanje cianida z variamin modrim (14)

Eksperimentalni del

Volumetrične metode, ki smo jih reproducirali so se ujemale s podatki v literaturi (6,7) in jih zato priporočamo za analizo HCN. S temi postopki smo standardizirali raztopino HCN, ki nam je služila za ocenitev fotometričnih postopkov.

- Določitev cianida s kloraminom T in piridinom

Postopek temelji na nastanku rumeno obarvane cianidne raztopine s kloraminom T v prisotnosti piridina in merjenjem intenzitete pri 430 nm. Beerov zakon velja v območju 4–16 ppm. Občutljivost: $\epsilon = 3400$ pri 430 nm. Meritve moramo izvesti po 10 minutah. V kolikor ne določujemo cianida v destilatih nastanejo pozitivne napake v prisotnosti bisulfata, nitrita in borata pri koncentracijah, ki so večje od 40; 200 in 60 ppm. Reakcijo motijo tiosulfat, jodid, sulfid, bisulfit in arzenit pri koncentracijah, ki so večje od 1; 1; 20; 100 in 5 ppm. Zaradi motenj priporočamo destilacijo.

Reagenti:

- Standardna raztopina KCN
- 10 % vodna raztopina piridina
- 0,1 N raztopina kloramina T v vodi

Postopek:

Raztopini cianida dodamo 1 ml 10 % vodne raztopine piridina in 1 ml 0,1 N raztopine kloramina T. Po dodatku reagentov raztopino dobro premešamo in dopolnimo z vodo do 10 ml in po 10 minutah merimo absorpcijo pri 430 nm v 1 cm kivetah.

b) Določevanje cianida z dimedonom

Metoda temelji na pretvorbi cianida v klorocian, ki reagira z raztopino dimedona v piridinu tako, da dobimo vijolično obarvanje, stabilno pri pH = 7, katerega intenziteto merimo po 30 minutah pri 580 nm. Občutljivost: $\epsilon = 48000$. Zaradi številnih interferenc je nujna predhodna destilacija.

Reagenti:

- A. Standardna raztopina KCN
- B. 1 % raztopina kloramina T v vodi
- C. 3 % raztopina dimedona v 30 % piridinu
- Č. Fosfatni pufer: 29,63 ml 0,1 N NaOH
50,00 ml 0,1 M KH_2PO_4
20,37 ml H_2O

Postopek:

Raztopino cianida razredčimo s sveže prevreto vodo do približno 40 ml, dodamo 5 ml puferne raztopine ter 1 ml 1 % raztopine kloramina T. Dobro premešamo in po 1 minuti dodamo 3 ml raztopine dimedona. Ponovno dobro premešamo. Po 10 minutah razredčimo na 50 ml ter po 30 do 35 minutah izmerimo intenziteto nastale barve.

c) Določevanje cianida z 1-fenil-3-metil-5-pirazolonom in bis-pirazolonom

Metoda temelji na reakciji med cianidom, kloraminom T, 1-fenil-3-metil-5-pirazolonom in bis-pirazolonom pri pH 6-7. Pri reakciji se raztopina modro obarva. Intenziteto merimo po 30 minutah pri 630 nm. Občutljivost: $\epsilon = 240000$ pri 630 nm.

Reagenti:

- A. Standardna raztopina KCN
- B. Raztopina I.: 0,5 g 1-fenil-3-metil-5-pirazolona raztopimo v 200 ml vroče destilirane vode in mešamo dokler se ne ohladi na sobno temperaturo.
- Raztopina II.: 0,025 g bis-pirazolon-3,3'-dimetil-1,1'-difenil-(4,4'-bis-2-pirazolon)-5,5'-diona raztopimo v 25 ml piridina in mešamo nekaj minut. Raztopino pripravimo vsak dan svežo.
- Č. Raztopina III.: 125 ml raztopine I zmešamo z vso raztopino II.
- D. Raztopina kloramina T: 1 g kloramina T raztopimo v 100 ml destilirane vode. Reagent si pripravimo vedno svež.

Postopek:

Raztopino, ki vsebuje 0,2 do 1 μCN^- po potrebi nevtraliziramo z CH_3COOH (1 + 4) do pH 6-7. Nato dodamo 0,25 ml raztopine kloramina T in dobro premešamo. Po 1 minuti dodamo 15 ml raztopine III in razredčimo do 50 ml. Raztopini, ki se obarva modro, izmerimo ekstinkcijo po 30 minutah v 1 cm kivetu pri 630 nm.

d) Določitev cianida z variamin modrim

Ako imamo v cianidni raztopini dvovalenten baker in redoks indikator lahko s spremembo bar-

ve indikatorja ugotovimo množino cianida. Ta reakcija je bila v literaturi predlagana za dokaz in za fotometrično določevanje cianida. Poleg različnih redoks indikatorjev, kot so benzidin, p-diaminodifenilamin itd., se je izkazal kot najprimernejši za fotometrično določitev cianida variamin modro. Intenziteto barve, ki se stabilizira po 30 minutah izmerimo pri 530 nm. Občutljivost: $\epsilon = 13000$ pri 530 nm. Kot pri prej navedenih postopkih je tudi nujna predhodna destilacija HCN.

Reagenti:

- A. Standardna raztopina KCN
- B. Raztopina CuSO_4 : 0,9822 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ raztopimo v 250 ml vode
- C. 0,01 % raztopina variamin modrega. 10 mg variamin modrega (baze) raztopimo v 2 ml 0,1 M očetne kisline in razredčimo na 100 ml.

Postopek:

Raztopini cianida (4-45 μg) dodamo 5 ml variamin modrega in 2 ml raztopine bakrovega sulfata ter dopolnimo z vodo do 50 ml. Po 30 minutah merimo ekstinkcijo vijolične barve pri 350 nm v 1 cm kivetah.

Rezultati in diskusija

Pri analizi raztopin, ki vsebujejo poleg prostega cianida tudi slabo disociirane kompleksne cianidne spojine, je potrebna predhodna destilacija HCN. V ta namen smo večkrat reproducirali ob enakih delovnih pogojih dve vrsti destilacij. Eno za določevanje celokupnega cianida (2), drugo pa za kontrolo čiščenja galvanskih odpadnih vod (4) s klorom ali hipokloritom. Za razliko od prvega, se pri drugem destilacijskem postopku ne razkroji železov kompleksni cianid. Oba destilacijska postopka HCN smo študirali na sintetiziranih alkaljskih kompleksnih cianidih (5). Rezultate, ki predstavljajo povprečno vrednost treh do petih destilacij po obeh postopkih prikazuje tabela 1.

Tabela 1

Kompleksna spojina (zatehta 50 mg)	Postopek z MgCl_2 , HgCl_2 , H_2SO_4 , pH=0-2 (2)	Postopek z $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, pH=5,2-5,5 (4)
	% HCN	% HCN
$\text{K}_2 [\text{Cd}(\text{CN})_4]$	98,9	98,3
$\text{K}_2 [\text{Zn}(\text{CN})_4]$	94,4	95,0
$\text{K}_3 [\text{Cu}(\text{CN})_4]$	93,5	80,7
$\text{K}_2 [\text{Ni}(\text{CN})_4] \cdot \text{H}_2\text{O}$	76,0	70,7
$\text{K}_4 [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	97,3	0,5

Rezultati potrjujejo domnevo, da z destilacijo po obeh postopkih ne dosežemo popolne sprostitve HCN iz kompleksnih cianidov. Medtem, ko je pri večini oddestilirane nad 90 % HCN, pa tega ne dosežemo pri analogni nikljevi in bakrovi spojini. Zaradi rešitve problema sprostitve HCN iz kompleksnih cianidov smatramo, da bi bilo umestno raziskati nepopoln razkroj nikljeve in bakrove kompleksne spojine. Še prav posebno se nam zdi rešitev tega problema aktualna, ker sta bakrenje in nikljanje zelo pogosta galvanska procesa. Kljub temu pa smatramo, da bi bil destilacijski postopek (4) primeren z ozirom na natančnost, ki je zaželen pri kontroli čiščenja galvanskih odpadnih vod.

Množino oddestilirane HCN smo kontrolirali z jodomometrično (6) in kompleksometrično metodo (7). Uporabljeni volumetrični metodi smo predhodno reproducirali, pri čemer smo ugotovili skladnost z literaturnimi podatki, zaradi česar ne navajamo rezultatov. Za določevanje mikrogramskih množin pa smo reproducirali štiri različno občutljive fotometrične postopke. Na ta način smo razširili koncentracijsko območje, ki ga po volumetričnih postopkih ni mogoče zajeti. Z izbiro enega izmed štirih fotometričnih postopkov lahko določimo cianid od 0,004 — 16 ppm.

In sicer: Z 1-fenil-3-metil-5-pirazolonom in bis-pirazolonom od 0,004—0,02 ppm, z dimedonom od 0,05—0,4 ppm, z variamin modrim od 0,08 do 0,9 ppm in s kloraminom T in piridinom od 4 do

16 ppm. Rezultati analiz fotometričnih postopkov predhodno standardiziranih raztopin cianida so pokazali, da dobimo v posameznih koncentracijskih območjih ponovljive vrednosti. V bolj razredčenih raztopinah cianida (< 0,05 ppm) pa so rezultati prenizki, in so verjetno posledica prisotnosti ogljikove kisline, katera izpodrine HCN iz raztopin. Temu pa se pri običajnih eksperimentalnih pogojih le težko izognemo na preprost način.

Literatura

1. Meinck, F., Stooff, H., in H. Kohlschütter: *Industrie-Abwässer*, 3. Auflage. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag 1960
2. Welcher, F. J., *Standard Methods of Chemical Analysis*, Volume Two, Part B. London: D. Van Nostrand Company, Inc. 1966
3. Haase, L. W., *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung*, Weinheim: Verlag Chemie. GMBH 1954
4. Buchsteg, W., Kallweit G., in F. Dietz: *Z. Anal. Chem.* 200, 54 (1964)
5. Brauer, G.: *Handbuch der Präparativen Anorganischen Chemie*, II. Bd. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag 1960
6. Schulek, E.: *Z. Anal. Chem.* 62, 337 (1923)
7. Huditz, F., in H. Flaschka: *Z. Anal. Chem.* 136, 185 (1952)
8. Desmukh, G. S., in Tatwawadi, S. V.: *J. Sci. Ind. Res., India*, 19 (6) 159 (1960)
9. *Analyt. Abstr.* (8), 971 (1961)
10. Kratochvil, V., *Czech. Chem. Comm.* 25, 299 (1960)
11. *Analyt. Abstr.* (7), 3697 (1960)
12. Epstein, J.: *Analyt. Chem.* 19, 272 (1947)
13. Kruse, J., in M. G. Mellon: *Analyt. Chem.* 25, 446 (1953)
14. Gregorowicz, Z., in F. Buhl: *Z. Anal. Chem.* 187, 1 (1962)

ZUSAMMENFASSUNG

Neben dem freien Zyanid können in galvanischen Abwässern auch die komplexen Silber, Kupfer, Eisen, Nickel, Zink und Kadmium Zyanide auftreten. Für die Analyse der gesamten Zyanidmenge in den Abwässern wird die Destillation angewendet. Die untersuchte Lösung wird durch $MgCl_2$, $HgCl_2$ und H_2SO_4 (pH von 0 bis 2) zersetzt und der entstehende freie HCN in eine NaOH Lösung abdestilliert, und in dieser Lösung auch volumetrisch oder photometrisch bestimmt.

Dieses Destillationsverfahren ist aber für die Bewertung des Verfahrens für die Reinigung der galvanischen Abwässer mit Chlor oder Hypochlorit nicht geeignet. Bei diesen Verfahren werden die alkalischen Zyanide und die komplexen Zyanide des Cu, Cd, Ni und Ag zersetzt, während die komplexen Eisen-Zyanide nicht zersetzt werden. Für die Reinigkeitskontrolle sind solche Methoden geeignet, welche die Unterscheidung von Kupfer, Nickel, Zink, Silber und Kadmium Zyanid von dem komplexen Eisenzyanid ermöglichen. Den gewünschten Forderungen entspricht am besten der Destillationsprozess bei pH 5,2 bis 5,5, wobei der komplexe Eisenzyanid mit Zink-

azetat in eine schwer lösliche Verbindung und (Cu I.) mit Kalidichromat in ein leichter zersetzbares (Cu II.) komplexes Zyanid umgewandelt wird.

Mit diesem Verfahren werden alle genannte metallische komplexe Zyanide ausser Eisenzyanid, zersetzt.

Beide Destillationsverfahren für HCN sind an synthetischen alkalischen komplexen Zyaniden studiert worden. Indem bei dem grösseren Teil über 90 % HCN abdestilliert worden ist, wird das bei den analogen Nickel und Kupferverbindungen nicht erreicht. Wir sind trotzdem der Meinung, dass das Destillationsverfahren bei pH 5,2 bis 5,5 im Bezug auf die Genauigkeit, die bei der Kontrolle der galvanischen Abwässerreinigung erwünscht ist, geeignet sein könnte.

Die Menge der abdestillierten HCN ist mit der jodometrischen und komplexometrischen Methode kontrolliert worden. Für die Bestimmung der Mikrogrammengen sind vier verschieden empfindliche Photometrische Verfahren reproduziert worden. Sie ermöglichen die Bestimmung von 0,004 bis 16 ppm Zyanid.

SUMMARY

Besides the free cyanide in galvanic wastes also complex silver, copper, iron, nickel, zinc, and cadmium cyanide can be present. To analyze the total cyanide in wastes distillation is used so that the tested solution is decomposed by $MgCl_2$, $HgCl_2$, and H_2SO_4 (pH from 0 to 2), and free HCN is distilled into NaOH solution, and is

volumetrically or photometrically determined in the solution. This distillation procedure is not suitable to estimate the quality of purification of galvanic wastes by chlorine or hypochlorite. In such processes alkali metal cyanides and complex cyanides of Cu, Cd, Ni, and Ag are dissociated, but iron complex cyanides remain intact. To control

the purification the method which enables distinguishing copper, nickel, zinc, silver, and cadmium cyanide from the iron complex cyanide is suitable. Distillation procedure at pH 5.2 to 5.5 where iron complex cyanide is converted into low-soluble compound by zinc acetate, and cupro-cyanide is converted into easily dissociable cupri-complex-cyanide by potassium bichromate is the method which is the closest to the desired demands.

Both distillation procedures for HCN were studied on synthetic alkali metal complex cyanides. In majority

cases more than 90 % of HCN was distilled off, but this was not achieved with corresponding nickel and copper compounds. Nevertheless we are of opinion, that the distillation at pH 5.2 to 5.5 is suitable due to accuracy demanded for control of purification of galvanic wastes.

Amount of distilled off HCN was controled iodometrically and complexometrically. To determine amounts in micrograms four various sensitive photometric procedures were used by which cyanide amounts from 0.004 to 16 ppm could be determined.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кроме свободного цианида в сточных гальванических водах могут находиться также комплексные цианиды серебра, меди, железа, никеля и кадмия. Для химического анализа всех этих цианидов в сточных водах гальванизации прибегают к дистилляции при чём раствор разлагают при помощи солей $MgCl_2$, $HgCl_2$ и кислоты H_2SO_4 (pH 0—2) и свободную HCN кислоту перегоняют в раствор NaOH; циан определяют объёмным или фотометрическим методом.

Но этот способ дистилляции не пригоден для оценки качества способа очищения гальванических вод с хлором или гипохлоритом. При этом способе очищения происходит разложение щелочных и комплексных цианидов Cu, Cd, Ni и Hg; остаются в соединении лишь комплексные цианиды железа. Требованию лучше всего отвечает дистилляция при pH 5.2—5.5, при чём комплексный цианид железа с ацетатом цинка переходит в тяжело растворимое соеди-

нение а с дихроматом калия (CuI) в легко растворимый комплексный цианид (CuII). Этим способом разлагаются все упомянутые комплексные цианиды металлов с исключением цианида железа.

Оба способа дистилляции HCN исследованы на синтетических щелочных комплексных цианидах. Исключая соединения никеля и меди при дистилляции переходят свыше 90 % HCN, но, несмотря на это, можно считать, что этот метод дистилляции при 5.2—5.5 pH отвечает требованию что касается точности которая необходима для контроля сточной гальванической воды.

Количество полученно перегонкой HCN проверено иодометрическим и комплексометрическим методами. Для определения микрограммских количеств репродуцированы четыре метода фотометрического анализа различной чувствительности с которыми можно определить цианид в количестве до 0.0004 гр.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Clani: Jože Rodič, dipl. inž., Janez Barborič, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik.

Tisk: ČP »Gorenjski tisk«, Kranj