

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA		Stran
Vodopivec Franc, Metalurški institut Ljubljana		
RAZISKAVE INTEGRANULARNE KRHKOSTI JEKLENE LITINE		109
Rodič Jože, Zelezarna Ravne		
RAZVOJ ORODNIH JEKEL		119
Bratina Janez, Zelezarna Ravne		
RACUNALNIŠKO UPRAVLJANJE ELEKTRIČ- NE MOČI OBLOČNIH PEČI		137
Tehnične novice		
NOVO ORODNO JEKLO UTOP Mo6 ZA DELO V HLADNEM V PROIZVODNEM PROGRAMU ZELEZARNE RAVNE		143

LETO 12 ŠT.4-1978

ŽEZB BQ 12 (4) 109—148 (1978)

ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 12

LJUBLJANA

SEPTEMBER 1978

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	
Franc Vodopivec in sodelavci	Franc Vodopivec in sodelavci	Franc Vodopivec in sodelavci	Franc Vodopivec in sodelavci
Raziskave intergranularne krhkosti jeklene litine 109	Untersuchung der interkristallinen Sprödigkeit des Stahlgusses. 109	Investigation on the intercrystalline embrittlement of cast steel 109	Исследования интергранулярной хрупкости стального литья 109
UDK 669.141.246 ASM/SLA: SS5, R2h	UDK 669.141.246 ASM/SLA: SS5, R2h	UDK 669.141.246 ASM/SLA: SS5, R2h	UDK 669.141.246 ASM/SLA: SS5, R2h
Jože Rodič	Jože Rodič	Jože Rodič	Jože Rodič
Razvoj orodnih jekel 119	Entwicklung der Werkzeugstähle 119	Development of tool steel 119	Развитие инструментальных сталей 119
UDK 669.14.018.25.001.6:620.1 ASM SLA: TSb, A9	UDK 669.14.018.25.001.6:620.1 ASM SLA: TSb, A9	UDK 669.14.018.25.001.6:620.1 ASM SLA: TSb, A9	UDK 669.14.018.25.001.6:620.1 ASM/SLA: TSb, A9
Janez Bratina	Janez Bratina	Janez Bratina	Janez Bratina
Računalniško upravljanje električnih moči obločnih pečí 137	Einsatz eines Rechners zur Regelung der elektrischen Kraft des Lichtbogenofens 137	Computer control of electric power for electric arc furnaces 137	Вычислительная машина при управлении электрической силой дуговых печей 137
UDK 621.365.2:681.142 ASM/SLA: D5, A5f, U7C, U4k	UDK 621.365.2:681.142 ASM/SLA: D5, A5f, U7C, U4k	UDK 621.365.2:681.142 ASM/SLA: D5, A5f, U7C, U4k	UDK 621.365.2:681.142 ASM/SLA: D5, A5f, U7C, U4l
Tehnične novice 143	Technische Nachrichten 143	Technical News 143	Технические новости 143

**For Avtomation and Process
Technology from conceptual
design to turn key system**

Control systems for material,
materials management

Analyses laboratories

Electric arc furnaces

Basic oxygen furnaces

(BOF) SIP Converter,
AOD Converter

Energy dispatch and control

Pollution monitoring

Heat treating optimization

Tailor-made software and systems
for your specific requirements

**Za avtomacijo in procesno
tehnologijo od idejnih zasnov
do sistemov na ključ**

Kontrolni sistemi za
materialno gospodarstvo

Analitski laboratorij

Elektro obločne peči

Bazične kisikove peči

LD — konverter in kisikovi
žilavilni postopki s pihanjem
od spodaj

AOD — konverter

Kontinuirno litje

Sistemi razdelitve in kontrole
porabe energije

Krmiljenje čistilnih naprav

Optimizacija toplotne obdelave

Software in sistemi prilagojeni
vašim posebnim zahtevam

**PROCESS CORPORATION
P. O. Box 11528
PITTSBURGH, PA 15238
USA**

For more detailed information please
contact the European representative:

Za podrobnejše informacije se, prosimo,
povežite z zastopstvom za Evropo:

**INTECO — Internationale
Technische Beratung Ges. m. b. H.
Bahnhofstrasse 9
8600 Bruck/Mur, Austria
Telephone: (038 62) 53 1 10
Telex: 36 720**

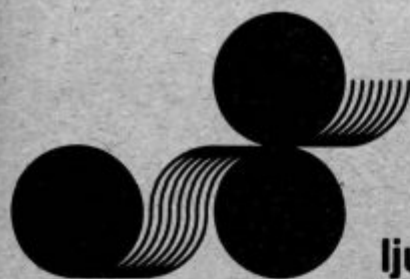


SLOVENSKE ŽELEZARNE
ŽELEZARNA RAVNE
n. sol. o.
RAVNE NA KOROŠKEM

PROIZVAJAMO:

- EPŽ JEKLA
- JEKLENE ULITKE
- ODKOVKE
- KOVANO PALICASTO JEKLO
- VALJANE PROFILE
- GRELNO ŽICO
- VLEČENO, LUSCENO IN BRUŠENO JEKLO
- LISTNATE VZMETI
- STROJNE NOŽE
- BRZOREZNO ORODJE IN KROŽNE ŽAGE
- PILE IN RASPE
- VALJE ZA HLADNO VALJANJE
- PILGER VALJE IN TRNE
- STROJE IN ORODJA NA PNEVMATSKI POGON
- KOLESNE DVOJICE
- SESTAVLJENE DELE IN ELEMENTE STROJEV IN NAPRAV
- STROJE ZA MEHANSKO PREOBLIKOVANJE (RAZLIČNE STISKALNICE ZA PREOBLIKOVANJE KOVIN V HLADNEM IN VROČEM STANJU ITD.)

**S KVALITETO IN SOLIDNO PROIZVODNJO GARANTIRAMO DOBRO
SODELOVANJE IN SE PRIPOROČAMO!**



slovenske železarne ljubljana

ŽELEZARNA JESENICE: proizvaja debelo in srednjo pločevino ter hladnovaljane trakove različnih kvalit. Vlečeno, luščeno in brušeno jeklo. Valjano in vlečeno žico v različnih kvalitetah in površinskih obdelavah. Hladno oblikovane profile, ograje za avtoceste in vratne podboje. Žične proizvode: žeblice, bodečo žico, žico, elektrode in praške za varjenje, vrvi in patentirane žice, jeklen pesek, tehnične pline: kisik in argon.

ŽELEZARNA RAVNE: proizvaja toplovaljane in kovane profile ter vlečene, brušene in luščene palice, v vseh vrstah kvalitetnih in plemenitih jekel, jeklene odlitke, industrijske nože, brzorezna orodja in krožne žage za obdelavo jekla, kovin in lesa; pile, vzmeti, pnevmatske stroje in orodja, valje za hladno valjanje kovin, univerzalne in kovaške ekscentrične stiskalnice, sestavne dele za vagončke, diske za poljedelske stroje...

ŽELEZARNA ŠTORE: proizvaja toplovaljane ter vlečene in brušene palice, v vzmetnih in ostalih kvalitetnih vrstah jekla, specialno surovo železo za livarne, ulitke iz sive in nodularne litine, litoželezne valje, ki jih lahko obdelajo in obrusijo, kontilite profile....

TOVARNA VERIG LESCE: proizvaja verige za široko potrošnjo, tehnične in siderne verige, opremo za verige, snežne in zaščitne verige za vozila, kovinske in lesne vijake, hangervijake, razcepke, kovice, odkovke in stiskance....

PLAMEN KROPA: proizvaja matične, nastavne in sponške vijake za splošne namene, matične in nastavne vijake srednje klase, matice in kovice.

TOVIL LJUBLJANA: proizvaja vijake za kovline in za pločevino z ravnim in križnim utorom, samorezne vijake, vijake za les in kovice....

ŽIČNA CELJE: proizvaja iz žice razna pletiva, tkanine, mrežaste armature in predfabrikate, gabione, vibracijska sita in mreže za rudarstvo, žične transportne trakove, vzmeti, žične vložke in drugo žično konfekcijo.

METALURŠKI INŠTITUT LJUBLJANA: raziskuje na področjih: priprava mineralnih surovin, surovega železa, proizvodnje jekla, barvne metalurgije, livarstva, termične obdelave in plastične predelave jekla in kovin. Vršni kemijske, metalografske in fizikalne analize.



Skladišče EPZ ingotov v železarni Ravne

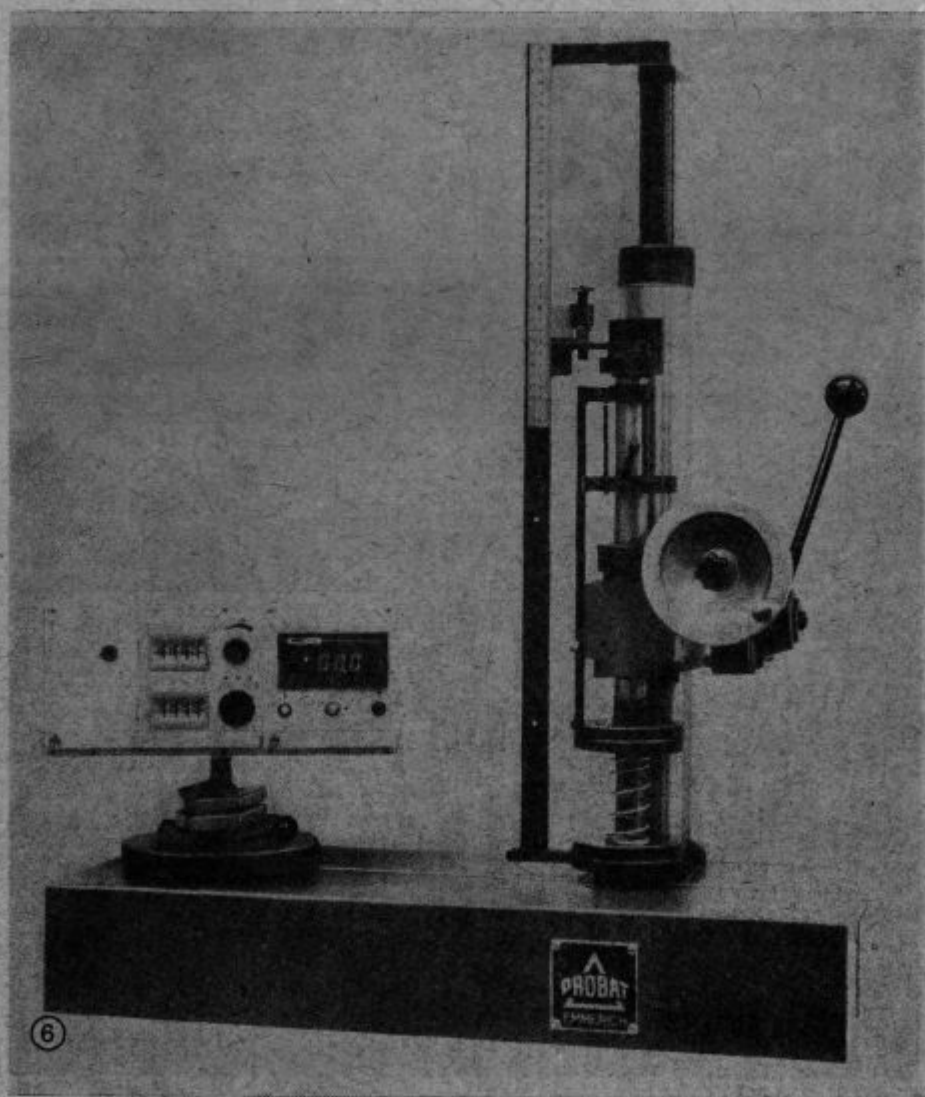


EMMERICH

PROBAT-WERKE

Proizvodi:

Aparate za ispitivanje spiralnih, lisnatih, torzionih opruga
i svih vrsta elastičnih elemenata



6

Raziskave intergranularne krhkosti jeklene litine*

F. Vodopivec¹, S. Lenasi², A. Rodič²,
E. Štruč², V. Strahovnik² in M. Kmetič¹

Ploščice alumunijevega nitrída po mejah dendritnih zrn zmanjšujejo plastičnost jeklene litine. Metalografske in kemijske raziskave kažejo, da nastanejo ploščice neposredno iz taline tik pred popolnim strjenjem litine. Krhkosti se je mogoče izogniti z omejitvijo količine aluminijskega dušika v litini in z vezavo aluminijskega dušika s močnejšim nitridotvorcem, kot je aluminij. Zadnja možnost je tehnološko najbolj primerna.

1. UVOD

Pri proizvodnji ogljikove in malolegirane jeklene litine se pojavlja kdaj pa kdaj izmeček zato, ker nima litina zadostne plastičnosti; lom trgalnih, žilavostnih in upogibnih preizkušancev pa ima značilen interkristalen ali mešan potek, v katerem so različni deleži transkristalne, krhke in interkristalne površine ter često manjši otoki žilave površine (sl. 1). Iz videza prelomnih površin, predvsem po smeri zlivanja grebenov, ki združujejo različne ravnine poteka makrorazpoke, je mogoče opredeliti, da se litina preje prelomi tam, kjer je prelom intrakristalen in krhek ter kasneje tam, kjer je prelom interkristalen, in razumljivo, najkasneje tam, kjer je prelom žilav. V literaturi je poznano, da interkristalna krhkost povzroči v jekleni litini najbolj pogosto aluminijev nitrid (ref. 1 do 7), lahko pa tudi vanadijev nitrid (8). Krhkost razumljivo lahko povzroča vsaka faza, ki je krhka in obdaja primarna ali sekundarna zrna, torej tudi

cementit in često niobijev karbonitrid. Ta se kot evtektična komponenta izoblikuje po dendritnih mejah v maloogljičnih mikrolegiranih jeklih (9, 10).

2. Raziskovalno delo

Iz redne proizvodnje železarne Ravne smo izbrali primerne vzorce za identifikacijo krhkosti; njeno poreklo in način odprave pa smo preverili na sintetičnih talinah, ki so bile izdelane v indukcijski peči. Sestave litin, na katerih je bila identificirana krhkost, so prikazane v tabeli 1, v tabeli 2 pa so mehanske lastnosti litin.

Podatki v prvi tabeli kažejo, da imajo litine sestavo, ki je predpisana po JUS standardu za posamične kvalitete in da imajo vse visoko količino aluminijskega dušika in alumunijevega nitrída. Krhkost se pojavlja, kot smo že omenili v uvodu, v zmanjšani deformacijski sposobnosti jeklene litine, nima pa zaznavnega vpliva na mejo plastičnosti in na trdnost.

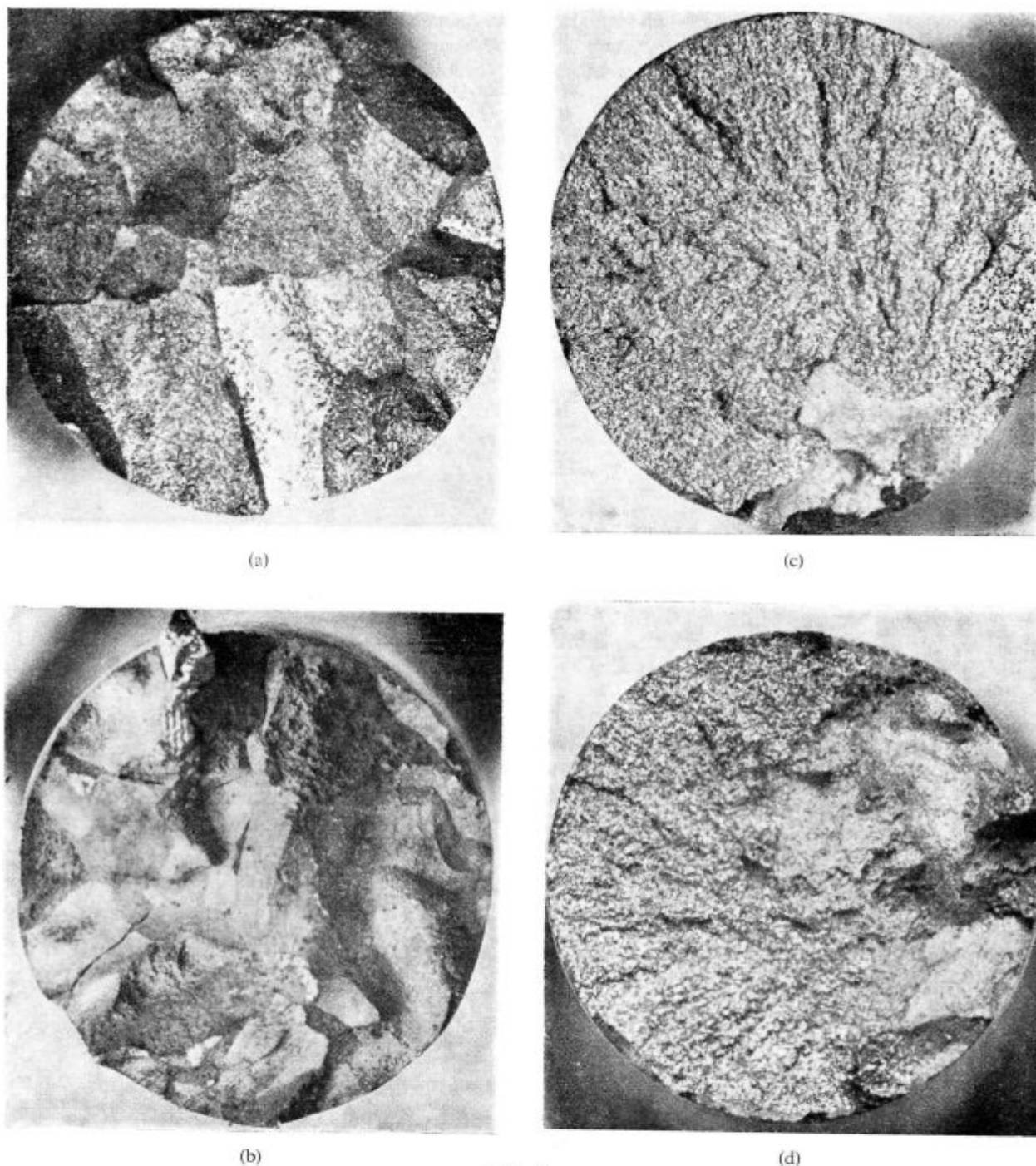
Drugi elementi, ki so tudi prisotni v litini, ne kažejo nobene logične povezave s krhkostjo. Iz podatkov v tabelah 1 in 2 ni mogoče razložiti, pri kateri količini alumunijevega nitrída se krhkost pojavi. Velja le, da je krhka že litina, v kateri je 0,0063 % dušika vezano v aluminijevem nitridu.

Pazljivo opazovanje pri nekajkratni povečavi pokaže, da je interkristalna prelomna površina oblikovana iz drobnih ravnih teras, ki s stopničastimi prehodi iz ene v drugo oblikujejo razmera zaobljene izbokline posameznih kristalnih zrn.

¹ SZ Metalurški inštitut Ljubljana

² SZ Železarna Ravne

* Predavanje na 5. kongresu livarjev Jugoslavije, Split, 1977.



Slika 1

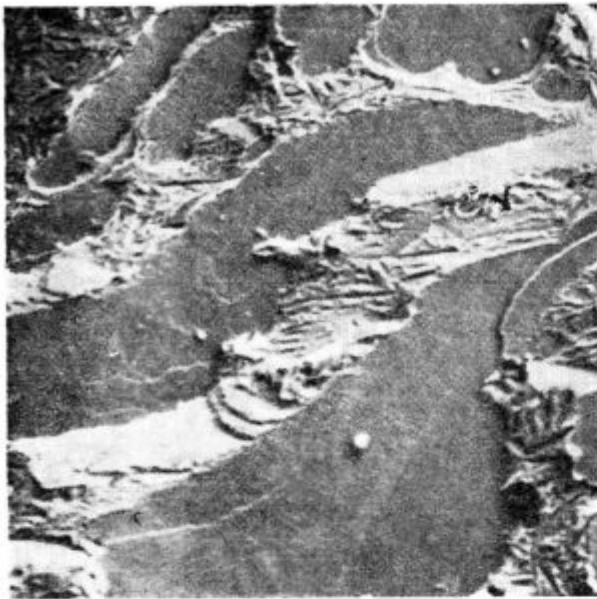
Pov. 5 ×. Posnetki prelomov preizkušancev iz jeklene litine z interkristalnim prelomom (a), z žilavim in interkristalnim prelomom (b), s krhkim in interkristalnim prelomom (c) in z vsemi tremi oblikami preloma (d)

Fig. 1

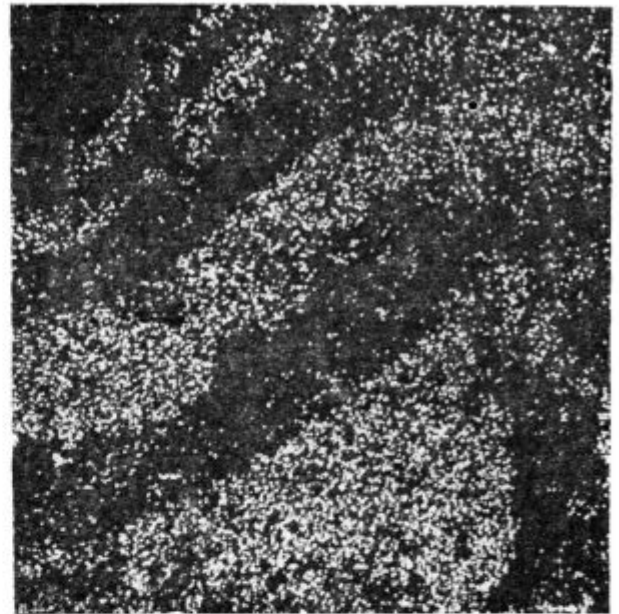
Mag. 5 ×. Pictures of fractures of cast steel samples with intercrystalline fracture (a), tough and intercrystalline fracture (b), brittle and intercrystalline fracture (c), and with all the three forms of fracture (d)

Ce opazujemo pri večji povečavi, se ta terasasta oblika pokaže zelo jasno (sl. 2), vidi pa se tudi, da nastane v stopničkah, ki terase združujejo, prelom žilavega značaja. To je razlaga, zakaj ima interkristalna prelomna površina večjo žilavost kot krhka transkristalna površina, kljub temu da ploščice aluminijevega nitrída, ki pokrivajo posa-

mezne terase, nimajo pravzaprav nobene deformacijske sposobnosti. Analiza v elektronskem mikroskopu pokaže, da je na površini nekaterih teras mnogo aluminija, mnogo več, kot ustreza povprečni sestavi jekla. Vendar pa ni mogoče določiti tudi v mikroanalizatorju lokalne koncentracije aluminija, ker so ploščice zelo tanke in jih snop



(a)



(b)

Slika 2

Pov. 150 \times . Interkristalna površina v litini 15; a) topografija in b) porazdelitev Al na površini

Fig. 2

Mag. 150 \times . Intercrystalline surface of sample 15; (a) topography, and (b) distribution of Al on the surface



(a)



(b)

Slika 3

Interkristalna površina v litini 15; a) topografija, b) porazdelitev Al na površini

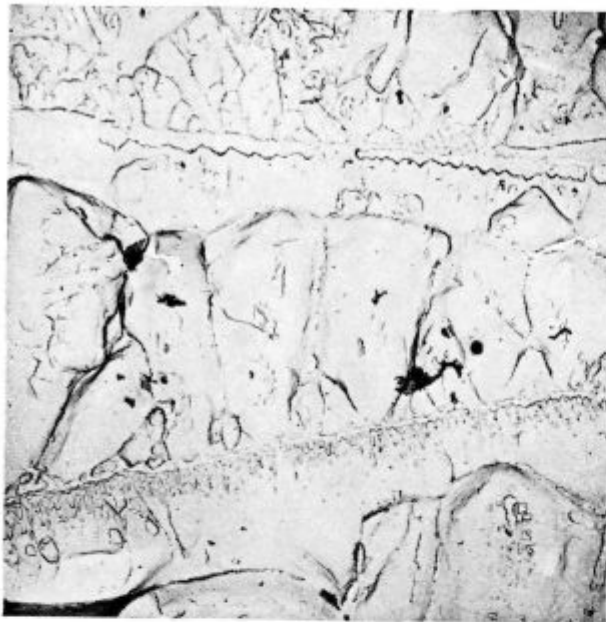
Fig. 3

Intercrystalline surface of sample 15; (a) topography, (b) distribution of Al on the surface

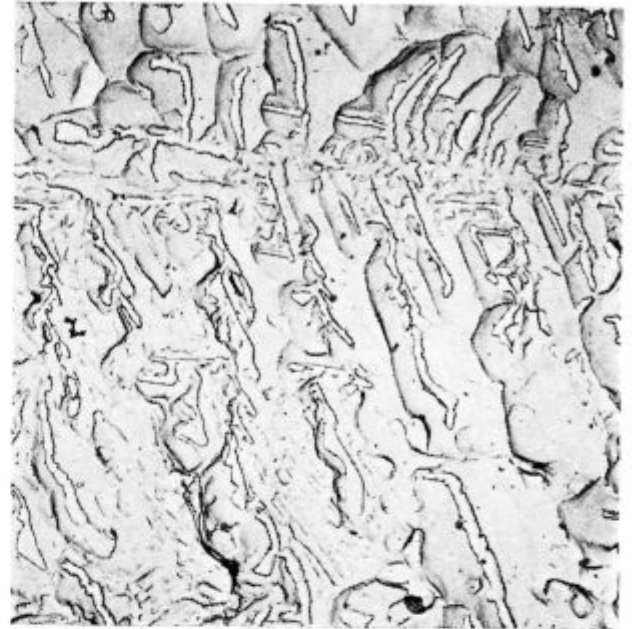
elektronov, s katerimi v mikroanalizatorju poteka analiza, prebije in vzbuja osnovo pod njimi.

V mikroskopu je bilo na nekaterih delih interkristalne površine, oz. mikroterasah lepo razločiti drobne dendrite, katerih površina je bila bogatejša z aluminijem kot okolica (sl. 3). Obstoje takih

dendritnih tvorb in dele duktilnega preloma med njimi je pokazalo tudi opazovanje v transmisijem elektronskem mikroskopu (sl. 4). Moremotaorej sklepati, da se izloča aluminijev nitrid, ki krhkost povzroča, lahko tudi v obliki dendritnih tvorb ali pa tako obliko privzema pri nastanku.



(a)



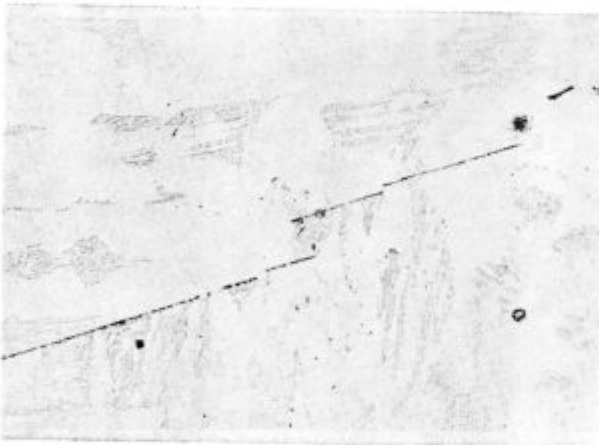
(b)

Slika 4

Pov. 5800 ×. Indirektne replike vzorcev 7 in 15; a) žilavi pasovi med interkristalnimi področji, b) dendriška razporeditev lamel AlN

Fig. 4

Mag. 5800 ×. Indirect replicas of samples 7 and 15; (a) tough belts between intercrystalline regions, (b) dendritic distribution of AlN lamellae

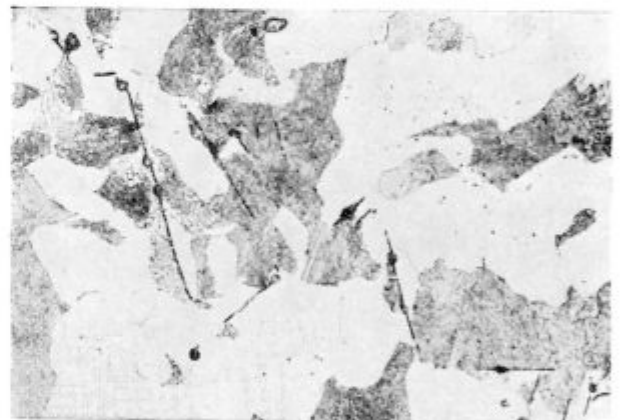


Slika 5

Pov. 500 ×, jedkano z nitalom. Terasasta porazdelitev ploščic AlN, ki so vzporedne s primarno kristalno mejo

Fig. 5

Mag. 500 ×, etched with Nital. Distribution of AlN plates in cascades parallel with primary grain boundary



Slika 6

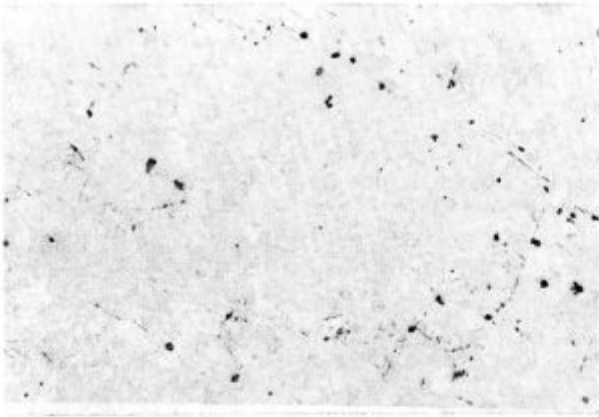
Pov. 500 ×, jedkano z nitalom. Ploščice AlN so pod različnimi koti na kristalno mejo

Fig. 6

Mag. 500 ×, etched with Nital. AlN plates are oriented under various angles to the grain boundary

V optičnem mikroskopu je bilo razločiti tri značilne oblike razporeditve lamel krhke faze po primarnih mejah. Ena je bila zaporedje ravnih tankih ploščic, ki so stopničasto prehajale iz terase v teraso (sl. 5) in tako sledile zaobljeni primarni kristalni meji. Drugi tip pa je bila razdelitev ploščic po kristalnih mejah tako, da je bila dolga os ploščic pod večjim ali manjšim kotom glede na ravnino primarne kristalne meje (sl. 6). V po-

samičnih primerih smo opazili velike kolonije takih izločkov (sl. 7), med njimi pa bolj goste nekovinske vključke kot drugod. Očitno gre za zadnje strjene meddendritne prostore. V obeh primerih je bila debelina ploščic približno enaka in je bila vedno približno 0,5 mikrona, dolžina pa je dosegla do 60 mikronov. Prva oblika lege ploščic krhke faze daje prelome take oblike, kot jih kaže sl. 3, druga in tretja oblika pa prelomno površino

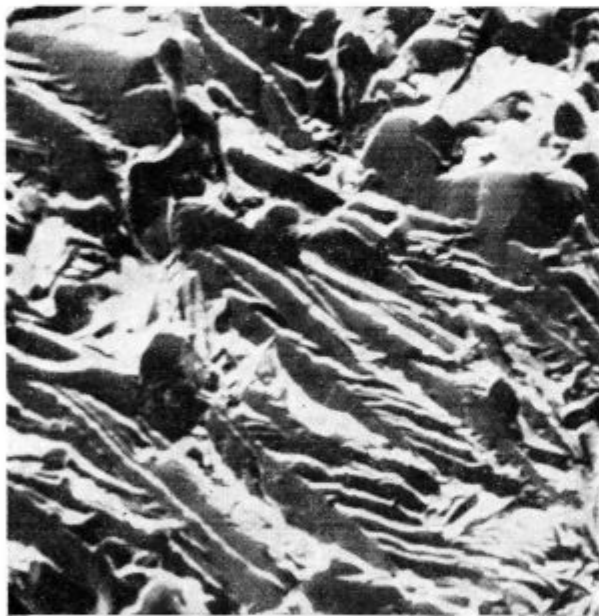


Slika 7

Pov. 100 ×. Porazdelitev ploščic AlN okoli manjšega primarnega avstenitnega zrna

Fig. 7

Mag. 100 ×. Distribution of AlN plates around a small primary austenitic grain



Slika 8

Pov. 150 ×. Razčlenjen prelom na mestih, kjer dekohezijska razpoka poteka po primarnih mejah, na katerih so lamelle AlN postavljene kot na sl. 6 in 7

Fig. 8

Mag. 150 ×. Branched fracture on the spots where decohesion crack passes along primary boundaries with precipitated AlN lamellae as in Figs. 6 and 7

z obliko, kot jo vidimo na sliki 8. Lega ploščic krhke faze glede na ravnino primarne kristalne meje vpliva na plastičnost litine ter razlaga, zakaj imajo nekateri vzorci litine večji raztezak in kontrakcijo kljub večji količini aluminijevega nitrida.

V normalizirani litini ležijo ploščice aluminijevega nitrda neodvisno od komponent sekundarne

mikrostrukture. Najdemo jih na meji med perlitnimi in feritnimi zrnji ter v notranjosti zrn ene in druge faze. To pomeni, da nimajo intergranularne ploščice nobenega vpliva na dogajanja v mikrostrukturi pri normalizaciji litine.

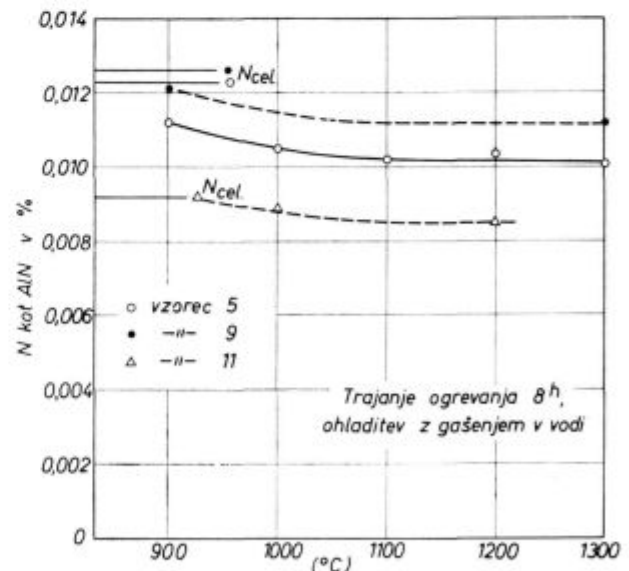
3. Stabilnost aluminijevega nitrda pri ogrevanju litine in mehanizem nastanka krhkosti

Izmed litin v tabeli 1 smo izbrali tri vzorce in jih 8 ur ogrevali pri temperaturah 900, 1000, 1100, 1200 in 1300 °C. Na sliki 9 vidimo, da ostaja koncentracija aluminijevega nitrda stalna v vsem temperaturnem intervalu po rahlem padcu med temperaturama 900 in 1000 °C. Topnostni produkt za AlN v avstenitu ima obliko

$$\log(\text{Al}) \times (\text{N}) = \frac{A}{T} + B \quad (11).$$

V izrazu so: (Al) in (N) masne koncentracije obeh elementov v trdni raztopini v avstenitu, T absolutna temperatura in A in B konstanti. Sprememba količine AlN v litini, ki jo kaže slika 9, tej odvisnosti ne ustreza, saj ne opazimo nobenega zmanjšanja količine AlN z naraščanjem temperature ogrevanja litine.

Mikroskopska opazovanja so pokazala, da prihaja pri ogrevanju pri visoki temperaturi nad 1100 °C do delne koagulacije ploščic AlN po mejah, zato se ploščice razdelijo v zaporedje podolgovatih

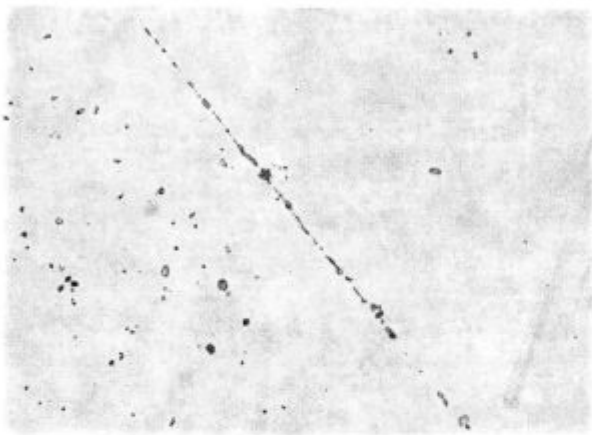


Slika 9

Vpliv temperature 8-urnega ogrevanja različnih litin na količino AlN v njih

Fig. 9

Temperature influence of 8-hour annealing of various cast steel on the amount of AlN



Slika 10

Pov. 500 \times , jedkano z nitalom, AlN po primarnih mejah po 8-urnem žarjenju litine pri 1300 °C

Fig. 10

Mag. 500 \times , etched with Nital. AlN on primary boundaries after 8-hour annealing at 1300 °C

zaobljenih delov (sl. 10). Ni mogoče pričakovati, da bi lahko ta sprememba oblike krhke faze pomembno vplivala na plastičnost litine, zato je razumljivo, da krhkosti z ogrevanjem ni mogoče odpraviti. Enako ugotovitev najdemo tudi v nekaterih citiranih virih.

Preiskava na ekstrakcijskih replikah v elektronskem mikroskopu je pokazala, da so v litini poleg ploščic AlN, ki jih je mogoče razločiti v optičnem mikroskopu, še drobnejši poliedrični, večinoma kockasti izločki (sl. 11), katerih velikost



Slika 11

Pov. 4400 \times , ekstrakcijska replika. Perlit in drobni AlN izločki po primarnih mejah in v notranjosti avstenitnih zrn

Fig. 11

Mag. 4400 \times , extraction replica. Pearlite and fine AlN precipitates on primary boundaries and in the interior of austenite grains

je v intervalu med 0,03 in 0,1 mikrona. Te velikosti so izločki AlN, ki jih dobimo v jeklih, pomirjenih z aluminijem in katerim pripisujemo zadrževanje rasti kristalnih zrn in doseganje drobnorzne feritno perlitne mikrostrukture pri normalizaciji. Lahko rečemo, da je v njih zbran aluminijev nitrid, ki ima pozitiven vpliv na jeklo. Pri ogrevanju nad 1100 °C so nekateri drobni izločki zrastle v večje, termodinamično bolj stabilne delce, ki se razločijo v optičnem mikroskopu.

Analiza v elektronskem mikroanalizatorju je pokazala, da v normalizirani litini ni gradienta koncentracije Al ob ploščicah AlN, ki bi bil dokaz za zaznaven difuzijski prenos aluminija iz notranjosti kristalnih zrn na meje. Koncentracija AlN ostaja konstantna do kristalne meje, tu pa zraste na količino, ki ustreza količini aluminija v AlN.

Do nastanka ploščic AlN po kristalnih mejah lahko pride na dva načina: eden je tvorba neposredno iz taline, drugi pa je tvorba iz prenasičenega avstenita pri počasnem ohlajanju ulitkov v peščenih formah.

Sodeč po produktih topnosti se kaže popolnoma logična možnost, da ploščice AlN nastanejo z izločanjem iz prenasičenega avstenita. Ta način pojava krhkosti litine zagovarjajo avtorji v virih 2, 5 in 7. S to razlago pa se ne ujemajo naslednje empirične ugotovitve:

- do tvorbe meje prihaja le po mejah nekaterih od mnogih primarnih zrn;

- ploščice ležijo lahko v ravnini kristalne meje, torej tako, kot bi pričakovali, če so nastale iz prenasičenega avstenita; često pa ležijo pod velikim kotom na to mejo in v vzporednih snopih ali skupinah;

- ob ploščicah AlN ni opaziti skoraj nobenega difuzijskega gradienta za aluminij;

- v nekaterih primerih je lega ploščic izrazito interdendritna;

- med zrnji AlN v notranjosti kristalnih zrn, ki so nastala z izločanjem iz prenasičenega avstenita, in ploščicami po mejah je velika razlika v linearni velikosti. Še večja razlika je v prostornini, saj dosega nekaj redov velikosti. V notranjosti kristalnih zrn zrastejo izločki na primerljivo velikost šele po nekajurnem ogrevanju pri 1300 °C. Takih pogojev za rast izločkov, kot so med tem ogrevanjem, ni med normalnim ohlajanjem prilitih preizkušancev.

Torej je bolj verjetno, da se lamele AlN izoblikujejo že v talini in se nato odlagajo v meddendritne prostore, kar razlaga njihovo specifično porazdelitev na nekaterih vzorcih. Pri naših raziskavah nismo našli nobenega znaka, ki bi zanikal možnost nastanka iz taline, pač pa preje našete ugotovitve lahko razlagamo le, če sprejmemo, da so ploščice AlN nastale iz taline.

Pri peritektični reakciji in pri nastanku avstenita se talina bogati z aluminijem in dušikom zato, ker je topnost obeh elementov v avstenitu in v

Tabela 1 — Kemijske sestavine litin z intergranularno krhkostjo

Ozna-ka	Kvali-teta	Sarža	Št. pre-izku-šanca	C	Si	Mn	P	S	Al topni %	N celo-kupni %	N kot AlN %	N v razto-pini %	Delež ¹ N vezan v AlN %
5	Cl. 0501		0771	0,23	0,43	0,70	0,017	0,026	0,20	0,0125	0,0098	0,0027	78
6	Cl. 4730	62959	0893	0,22	0,46	0,69	0,015	0,023	0,22	0,0102	0,0088	0,0014	86
7	Cl. 1330	48767	R-156	0,21	0,44	0,75	0,018	0,022	0,13	0,0105	0,0086	0,0019	82
8	Cl. 4730	62976	0900	0,22	0,42	0,71	0,019	0,026	0,23	0,0128	0,0108	0,0020	84
9	Cl. 0600	61859	0459	0,30	0,40	0,76	0,021	0,028	0,21	0,0123	0,0088	0,0035	72
10	Cl. 0501	61946	0478/1	0,22	0,60	0,65	0,019	0,021	0,22	0,0109	0,0091	0,0018	83
11	Cl. 0501	54442	0609	0,27	0,36	0,94	0,023	0,020	0,29	0,0092	0,0063	0,0029	61
12	Cl. 0501	61947	0479	0,29	0,39	0,82	0,021	0,029	0,19	0,0098	0,0079	0,0019	80
13	Cl. 0501	61937	0470/1	0,23	0,47	0,67	0,017	0,021	0,20	0,0117	0,0106	0,0011	91
14	Cl. 0500	19118	0491	0,30	0,48	0,74	0,008	0,017	0,12	0,0099	0,0086	0,0013	86
15	Cl. 0600	61859	0459	0,30	0,40	0,76	0,021	0,028	0,21	0,0100	0,0066	0,0034	66

¹ V razmerju s celotno količino N v jeklu, oz. s teoretično možno količino AlN

Tabela 2 — Mehanske lastnosti litin z intergranularno krhkostjo

Ozna-ka	Kvaliteta	Sarža št.	Štev. preizku-šanca	Vrsta preizku-šanca	Meja plastič-nosti kp/mm ²	Trdnost	Raztezek %	Kontrak-cija %
5	Cl. 0501					ni podatkov		
6	Cl. 4730	62959	0893	"	51,0	74,5	11,7	17,8
7	Cl. 1330	48767	R-156	"	35,1	53,6	16,0	20,2
8	Cl. 4730	62976	0900	"	51,5	68,8	10,0	11,6
9	Cl. 0600	61859	0459	"	40,5	71,9	12,5	12,8
10	Cl. 0501	61946	0478/1	"	34,0	51,3	6,2	7,3
11	Cl. 0501	54442	0609	"	34,0	41,9	2,8	2,4
12	Cl. 0501	61947	0479	"	32,9	59,0	17,3	24,9
13	Cl. 0501	61937	0470/1	"	33,7	53,8	5,8	7,3
14	Cl. 0500	19118	0491	"	31,0	57,5	20,0	24,9
15	Cl. 0600	61859	0459	"	40,3	70,6	10,2	10,5

feritu manjša od topnosti v talini. Istočasno se v talini bogati tudi ogljik. Vse to znižuje tališče preostale taline. V zadnjih ostankih taline doseže koncentracija Al in N tako velikost, da iz nje kristalizirajo neposredno ploščice AlN. Te nato napredujoča kristalizacija potisne na površino kristalov, oz. v meddendritne meje tudi tam, kjer prihaja do izrazite tvorbe dendritov jekla. S tem se ustvari vtis, kot da so kristalizirali dendriti AlN. Vprašljivo je, če ni nastanek AlN po dendritnih mejah, posebno tam, kjer najdemo skupine lamel AlN, ki ležijo pod ostrim kotom na kristalno mejo in pod različnim kotom ena na drugo (sl. 7), povezan z neke vrste evtektično reakcijo, podobno kot velja za nastanek evtektične oblike niobijeva karbonitrida med kristalizacijo mikrolegiranih jekel, ki imajo podobno osnovno sestavo kot jeklena litina, vsebujejo pa še do 0,05 % Nb (9, 10).

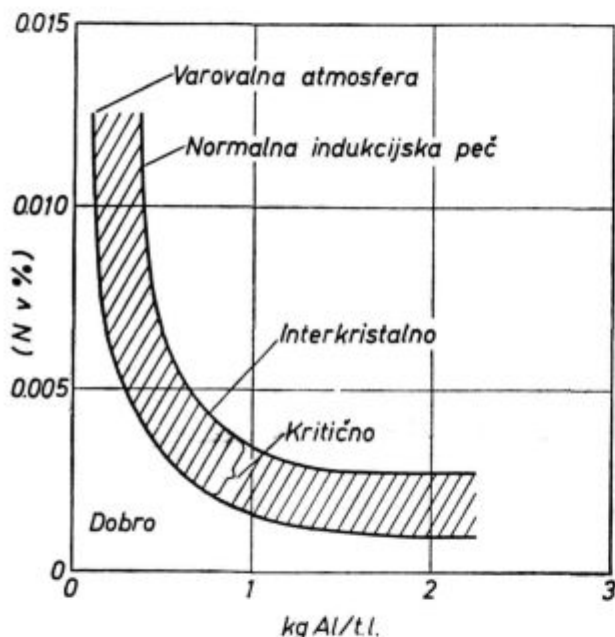
Pri ohlajanju jeklenih ulitkov se na ploščice, nastale iz taline, odlaga AlN, ki nastane s precipitacijo iz prenasičenega avstenita. To se dogaja le, če je ohlajanje litine primerno počasno, da se more izvršiti prenos dušika in predvsem prenos aluminija z difuzijo na površino kristalnih zrn. Ta dvojni način nastanka AlN po mejah bi lahko razložil, zakaj so razni avtorji uporabili tako različne načine za povzročitev krhkosti, na primer: izotermno zadržanje na visoki temperaturi po ohladitvi s temperature vliivanja (2, 3), zelo počasno ohlajanje litine v peči (5) in vliivanje v vroče forme (4). Takih pogojev ni pri ohlajanju jeklene litine, še posebej jih ni pri ohlajanju prilitih preizkušancev, na katerih smo krhkost zasledili mi. Ne more veljati trditev, da pride do krhkosti pri ponovnem ogrevanju litine pri 900 °C (3). Pri tem ogrevanju pride, kot tudi sicer pri normalizaciji,

do tvorbe drobnih izločkov, ki imajo afinacijski učinek na kristalna zrna. Do takega izločanja pride tudi v valjanih in kovanih jeklih s podobno sestavo, kot jo imajo jeklene litine v tabeli 1.

4. Vpliv sestave litine na krhkost

Pri isti količini Al in N je litina tem bolj nagnjena k interkristalni krhkosti, čim bolj je trda (3), zato krhkost narašča z naraščanjem količine mangana v litini. Fosfor je brez zaznavnega vpliva, naraščanje žvepla pa krhkost zmanjšuje zaradi vpliva porazdelitve sulfidnih vključkov na začetek in potek interkristalnega preloma.

V tehničnih jeklenih litinah pride do krhkosti pri približno 0,1 % Al in 0,01 % N (4), priporočljivo pa je, naj pri 0,006 do 0,01 % N, količina Al ne prekorači 0,07 %, da ostaja neka varnostna rezerva (7). V vzorcih, ki so bili počasi ohlajeni v peči, je do krhkosti prišlo že pri 0,06 Al in 0,004 N (5).



Slika 12

Vpliv razmerja med količino Al in N v jekleni litini na pojav interkristalnega preloma (po viru 5)

Fig. 12

Influence of the Al/N ratio in the cast steel on the intercrystalline fracture (ref. 5)

V tem delu pa niso bile opravljene nobene preiskave mikrostrukture, zato je do krhkosti lahko prišlo tudi iz drugih razlogov, na primer zaradi tvorbe cementita po mejah. Pač pa je ta avtor potrdil že preje poznano hiperbolično odvisnost med količino Al in N ter pojavom krhkosti (sl. 12).

5. Ukrepi za preprečitev nastanka krhkosti

Viri 2 do 7 soglašajo v mnenju, ki ga potrjujejo tudi naša opazovanja, da z žarjenjem ulitkov krhkosti ni mogoče odpraviti.

Aluminij se dodaja v talino zaradi dezoksidacije, afinacije kristalnih zrn, za preprečitev staranja in končno za preprečitev nastanka mehurčkov v jeklenih ulitkih. Krhkosti se lahko izognemo z majhnim dodatkom aluminija v talino, z zmanjšanjem količine dušika v talini in končno s tem, da se prepreči vezava dušika z aluminijem.

Vsebnost 0,05 % Al zadostuje, da se prepreči mehurčavost ulitka, problematična pa postane stvar, če mora litina ostati v ponovci dalj časa. Pri tem zadržanju lahko aluminij iz litine odgori in znova postane mogoč nastanek mehurčkov. Strah pred to nevarnostjo je glavni razlog, da najdemo v litini preveliko količino aluminija.

Pri izpiranju jeklene taline z argonom se količina dušika v talini ne spremeni (12, 13), pri vakuumiranju pa pade količina dušika za 60 do 80 % (14). To je zadosti, da se prepreči nevarnost tvorbe AlN po mejah primarnih zrn, vendar prihaja vakuumiranje v poštev le v posebnih primerih. Intenzivno kuhanje taline v žilavilni periodi zmanjša količino dušika v talini, vendar je težko doseči vsebnost pod 0,01 % (7). Jeklena talina, ki je bogata z aluminijem, pa absorbira dušik in je zato težko ohraniti nizko vsebnost tega elementa pri daljšem stanju.

Tako torej ni enostavne možnosti, da se zmanjša količina N v talini, zato ostaja kot najbolj primerna možnost, da se veže dušik z elementom, ki je močnejši nitridotvorec od aluminija. Najprimernejši tak element je titan (3, 4, 5). Titan pobere iz taline najprej dušik, nato se veže s kisikom in končno se veže tudi z žveplom, medtem ko nastaja titanov karbid le s precipitacijo iz avstenita. Dodatek titana nekoliko zmanjša mehanske lastnosti litine, podoben učinek ima tudi cirkonij (4). Isti vir navaja, da imajo pozitiven vpliv tudi cer in mišmetal, vendar ju je potrebno zelo pazljivo dozirati. V večji množini lahko povzročita drugo obliko interkristalne krhkosti. Njun nedostatek je tudi v tem, da se zelo energično vežeta s kisikom in žveplom, zato je težje precizno doziranje.

Tabela 3 — Količine nekaterih sestavin v preizkusnih litinah (%)

Vzorec	Al _i	N _{tot}	Ti _{tot}	O	N kot AlN	Delež N, vezan v AlN
1A	0,16	0,012	—	0,0068	0,0109	90
1B	0,17	0,0124	—	0,0082	0,0093	75
2A	0,30	0,0126	—	0,0064	0,0108	85
2B	0,33	0,0127	—	0,0061	0,0099	72
3A	0,26	0,0154	0,065	0,0070	0,0017	11
3B	0,27	0,0152	0,075	n. d.	0,0011	7
4A	0,078	0,0158	0,030	0,057	0,0045	28
4B	0,032	0,0196	0,028	0,023	0,0056	28

n. d. — ni določen

Tabela 4 — Mehanske lastnosti preizkusnih litin

Vzorec	Meja plastičnosti kp/mm ²	Trdnost kp/mm ²	Raztezek %	Kontrakcija %	Žilavost ¹ kp/cm ²	Upogib
1A	32,9	56,1	13,7	15,6	3,7	90°
1B	32,9	57,2	16,5	16,7	5,1	80°
2A	32,8	56,3	10,8	10,5	4,4	80°
2B	31,7	55,8	12,4	14,2	4,4	90°
3A	34,5	56,3	20,8	30,8	3,7	180°
3B	33,4	57,1	19,7	27,2	2,9	180°
4A	34,1	56,2	22,0	33,8	5,1	180°
4B	30,6	47,6	25,2	35,8	7,2	180°

¹ Žilavost je aritmetično povprečje treh preizkušancev

V viru 2 najdemo trditev, da je cirkonij brez vpliva na interkristalno krhkost, drugod so podatki, da dodatek cirkonija povzra žilavost (15), vendar dosegamo najboljši učinek z obdelavo jeklene litine s kompleksnim dezoksidantom, ki ugodno vpliva tudi na obliko in porazdelitev oksidnih in sulfidnih vključkov.

Če rezimiramo vse te podatke, pridemo do sklepa, da je pričakovati največji uspeh od obdelave taline s titanom. Zato smo učinek titana tudi praktično preverili. Pripravili smo 4 vzorce jeklene litine, kvalitete C. 0501. Količina aluminija, dušika, titana in AlN je navedena v tabeli 3, v tabeli 4 pa mehanske lastnosti litin. Pri trdnosti in plastičnosti ni razlike, ki bi bila lahko v zvezi z različno količino aluminija. To potrjuje podatke iz industrijskih talin in podatke iz literature. Povečani aluminij nekoliko zmanjša raztezek in kontrakcijo, četudi ne povzroči pomembnih razlik v količini AlN. To je znak, da gre za učinek utrditve ferita z raztopljenim aluminijem. Z dodatkom titana samega ali v kombinaciji s CaSi pa dosežemo povečanje kontrakcije za več od 100 %, povečanje raztezka za tretjino do dveh tretjin in zagotovimo upogib 180°. Zanimivo je, da dodatek titana žilavost nekoliko zmanjša, v kombinaciji s CaSi pa žilavost poveča. Mogoče je to posledica spremembe oblike ali porazdelitve vključkov. To ugotovitev, ki je lahko obetajoča s stališča žilavosti, bi bilo potrebno preveriti.

Pri mikroskopski preiskavi smo v vzorcih 1 in 2 opazili značilne ploščice AlN po kristalnih mejah, v vzorcih 3 in 4 pa značilna, večinoma kockasta zrna titanovega nitrída rožnate barve.

Če iz tega poizkusa povzamemo ugotovitve, ki so pomembne za tehnološko prakso, lahko ugotovimo, da s čakanjem v ponovci raste količina dušika v litini, istočasno pa pada količina aluminija. Vezavo dušika v titanov nitrid lahko dosežemo le pri dodatku, ki presega teoretično potrebnega. Ker je v industrijskih jeklenih litinah največ približno 0,013 % N, se je mogoče izogniti interkri-

stalni krhkosti z dodatkom 0,05 do 0,06 % Ti, vendar je kljub temu potrebno litino dezoksidirati z aluminijem.

ZAKLJUČEK

Z metalografsko in kemijsko preiskavo preizkušancev, ki so imeli interkristalni prelom, smo ugotovili, da imajo litine nezadostno plastičnost zaradi prisotnosti aluminijevega nitrída po mejah dendritnih zrn. Iz porazdelitve ploščic AlN v litini, iz njihove lege na dendritnih mejah in iz velikosti sklepamo, da nastajajo neposredno iz taline. Trdno jeklo je vedno siromašnejše z dušikom in aluminijem kot preostala talina. Bogatenje taline doseže med strjevanjem litine tako stopnjo, da je preokračena topnost v talini in neposredno iz nje nastajajo ploščice AlN. Te se odlagajo v ugodnih pogojih v meddendritne prostore, zato imajo včasih na prelomih dendritno porazdelitev.

Pri dolgotrajnem ogrevanju litine pri temperaturi do 1300 °C prihaja do koagulacije ploščic aluminijevega nitrída po mejah zrn. Koagulacija pa je v tehnoloških pogojih žarjenja premajhna, da bi se krhkost odpravila.

Interkristalna krhkost se da preprečiti z zmanjšanjem količine dušika in aluminija v litini ali pa z vezavo dušika z močnejšim nitridotvorcem, kot je aluminij. Količino dušika je mogoče zmanjšati le z vakuumiranjem litine, kar pride v poštev le v posebnih primerih. Zaradi nevarnosti poroznosti je težko doseči, da bo v litini največ 0,05 % Al, pri čemer ni nevarnosti za pojav interkristalne krhkosti. Zato je najprimernejša vezava dušika z nitridotvorcem, močnejšim od aluminija. Preizkusi so pokazali, da se da interkristalna krhkost preprečiti z dodatkom 0,05 do 0,06 titana v litino, ki je bila pred tem zadostno dezoksidirana z aluminijem.

Literatura:

1. C. H. Lorig in A. R. Ewans: Trans. Am. FS 55, 1947, 160 do 174, Loc. cit. ref. 5
2. B. C. Woodfine in A. G. Quarrell: Effect of Aluminum and nitrogen on the occurrence of intergranular fracture in steel castings containing aluminum and nitrogen; Journal of ISI 195, 1960, 400—414
3. J. A. Wright in A. G. Quarrell: Effect of chemical composition on the occurrence of intergranular fracture in plain carbon steel castings; Journal of ISI 200, 1962, 299—307
4. F. K. Nauman in K. Engler: Muschliger Bruch beim Stahl, seine Ursachen und Bildungsbedingungen; Stahl und Eisen 82, 1962, 610—621
5. V. Cristina: Muschelbruchbildung beim vergüteten Chrom-Nickel Molybden Stahlguss; Giesserei 50, 1962, 802—807
6. M. T. Leger: Diagnostic et remede de la fragilisation par precipitation de niture d'aluminium dans une piece en acier; Fonderie 359, 1976, 107—108
7. V. G. Fedorov: Pričini pojavljenja mrežkristaličeskikh treščin v stalnih otlivkah; Litejnoje Proizvodstvo, 1972, št. 7, 7—10

8. F. K. Nauman: Beitrag zur Frage der Bildung von Muschlicher Bruch in Stallegguss; Archiv Eisenhüttenwesen 35, 1964, 1009—1010
9. F. Vodopivec, M. Gabrovšek in B. Ralič: Solution of eutectic niobium carbonitride in austenite in mild steel; Metall Science 9, 1975, 324—326
10. F. Vodopivec, M. Gabrovšek in M. Kmetič: O vzroku stabilnosti eutektičnega niobijevega karbonitrida pri ogrevanju varivega jekla; Zelezarski zbornik 10, 1976, 193—198
11. P. König, W. Scholz in H. Ulmer: Stickstoff in Aluminium beruhigten mit Vanadin und Stickstoff legierten schweisbaren Baustählen mit rd 0,2 % C und 1,5 % Mn; Archiv Eisenhüttenwesen 32, 1961, 541—556
12. H. Bächtold in W. Waldvogel: Erfahrungen in der Stahlgießerei beim Spülen von Schmelzen mit Argon in der Giesspfanne; Giesserei 56, 1969, 313—318
13. J. Arh: Uvajanje prepihovanja jeklene taline v ponvi s plinastim argonom; Zelezarski zbornik 6, 1972, 1—9
14. A. Prešern: Uvajanje vakuumske metalurgije; Zelezarski zbornik 4, 1970, 247—257
15. G. A. Feljkov, A. A. Šerstjuk in V. A. Feljkov: Kompleksnoje modificirovanie litij stali; Metall. Term. Obrab. Metallov, 1975, št. 12, 49—51

ZUSAMMENFASSUNG

Durch die metallographische und chemische Untersuchungen der Proben mit einem interkristallinen Bruch haben wir festgestellt, dass die ungenügende Plastizität des Stahlgusses der Anwesenheit von Aluminiumnitrid an den Grenzen der dendritischen Körner zuzuschreiben ist. Aus der Verteilung der AlN Plättchen im Stahlguss, aus ihrer Lage an den dendritischen Grenzen und aus der Grösse kann geschlossen werden, dass diese unmittelbar aus der Schmelze entstehen. Der erstarrende Stahl ist immer ärmer an Stickstoff und Aluminium als die verbleibende Schmelze. Die Anreicherung der Schmelze während der Erstarrung des Stahles erreicht einen solchen Grad, dass die Löslichkeit von AlN in der Schmelze überschritten wird und die AlN Plättchen werden unmittelbar aus der Schmelze ausgeschieden. Diese lagern sich bei günstigen Bedingungen in die zwischendendritischen Plätze, so haben diese manchmal auf den Bruchflächen eine ausgeprägte dendritische Verteilung.

Bei der langzeitigen Erwärmung des Stahlgusses auf der Temperatur von 1300 °C koagulieren diese Aluminiumnitridplättchen an den Korngrenzen. Diese Koagulation ist bei den technologischen Glühungsbedingungen zu klein um die Sprödigkeit abzubauen.

Die Interkristalline Sprödigkeit kann durch die Verminderung des Stickstoff- und Aluminiumgehaltes im Stahlguss, oder durch die Bindung von Stickstoff mit einem stärkeren Nitridbildner als Aluminium vermindert werden. Der Stickstoffgehalt ist vom Stahlerzeugungsverfahren abhängig. Wegen der Gefahr der Volumenporosität ist es schwierig einen genügend kleinen Aluminiumgehalt von 0,05 % Al zu halten, womit die Gefahr der interkristallinen Sprödigkeit beseitigt würde. Es ist zweckmässiger den Stickstoff an einen stärkeren Nitridbildner als Aluminium zu binden. Die Untersuchungen zeigten, dass die interkristalline Sprödigkeit mit dem Zusatz von 0,05 bis 0,06 % Titan im Stahlguss, wenn diese mit Aluminium genügend desoxydiert wird, verhindert werden kann.

SUMMARY

Metallographic and chemical investigation of samples with intercrystalline fracture revealed that cast alloys exhibit insufficient plasticity due to the presence of aluminium nitride on the boundaries of dendritic grains. Distribution of AlN plates in the cast steel, their position on the boundaries of dendrites, and their sizes suggest that they are formed directly from the melt. The solidified steel is always poorer on nitrogen and aluminium than the rest melt. Enrichment of these elements in the melt during solidification reaches such a degree that the solubility limit is exceeded and thus AlN plates are precipitated directly from the melt. They precipitate in favourable conditions in the interdendritic spaces therefore they exhibit sometimes pronounced dendritic distribution on the fractures.

Long annealing of cast steel at 1300 °C causes coagula-

tion of aluminium nitride plates on the grain boundaries. Coagulation in technological conditions of annealing is too small to remove the embrittlement.

The intercrystalline embrittlement can be prevented by the reduced amounts of nitrogen and aluminium in the melt or by binding nitrogen to stronger nitride-forming elements than aluminium. The amount of nitrogen can be reduced only by vacuum-treating of the melt which can be used only in special cases. Due to danger of porosity, it is difficult to keep aluminium below 0,05 % which would prevent the intercrystalline embrittlement. Thus only binding nitrogen to stronger nitride-forming elements remains as a suitable measure. Experiments showed that addition of 0,05 to 0,06 % titanium to the melt can prevent the intercrystalline embrittlement. But the melt must be previously sufficiently deoxidized by aluminium.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании химического анализа и металлографического испытания образцов с межкристаллическим изломом установлено, что недостаточную пластичность показали образцы литой стали у которых по границам дендритных зерен обнаружены нитриды алюминия. По распределению пластинок алюминиевых нитридов в литье, расположенно по границам дендритов и по их величине заключаем, что эти пластинки образовались непосредственно из расплава стали. Закристаллизованная сталь содержит всегда меньше азота и алюминия чем остаточный расплав. Обогащение расплава достигает во время кристаллизации литья такую степень, что получается превышение степени способности растворимости в расплаве, и из расплава непосредственно выделяются пластинки AlN. Эти пластинки откладываются при благоприятных условиях в промежуточном дендритном пространстве, из-за чего имеют изломы иногда типоводендритное распределение. При продолжительном стальных отливок при t-ax до 1300° происходит коагуляция

пластинок алюминиевых нитридов по границам зерен, но для устранения хрупкости эта коагуляция при технологических условиях нагрева недостаточна. Межкристаллическую хрупкость можно избежать с уменьшением количества азота и алюминия в расплаве, или же соединением азота с более сильным нитридообразующим элементом чем алюминий. Количество азота можно уменьшить только вакуумированием литья, но это возможно лишь в отдельных примерах. Из-за опасности пористости литья достижение содержания алюминия не более 0,05 % Al представляет затруднение, хотя при таком содержании алюминия нет опасности появления межкристаллической хрупкости. Поэтому предпочтается связь азота с более сильным нитридообразующим элементом чем алюминий. Исследования показали, что межкристаллическую хрупкость можно также избежать с добавкой 0,05—0,06 % титана в расплав, который был предварительно хорошо раскислен с алюминием.

Jože Rodič

Orisan je razvoj proizvodnje orodnih jekel v zadnjem desetletju. Poleg značilnosti asortimenta je prikazan tudi razvoj metodike preizkušanja orodnih jekel. Zaradi vsebinske opredelitve posvetovanja* je pregled usmerjen pretežno k brzoreznim jeklom in orodnim jeklom za delo v hladnem, ostala orodna jekla pa ob tej priliki niso podrobneje obravnavana. To ne pomeni, da so v obravnavanem razvojnem obdobju manj pomembna.

UVOD

Na podobnem strojniškem posvetovanju v Ljubljani smo slišali v aprilu 1965 referat z enakim naslovom¹. Po trinajstih letih lahko ocenimo napredek, uporabimo objavljeno vsebino kot poznavno in obravnavamo to temo kot nadaljevanje takratnega zapisa in še z drugih gledišč. V zadnjih letih je tudi železarna Ravne postregla s publikacijo², v kateri je primerno strokovno tehnično predstavila jekla in druge izdelke svojega proizvodnega programa. Tudi na to publikacijo se lahko naslonimo in v nadaljevanju ne bomo podrobneje opisovali sestav, osnovnih lastnosti in uporabnosti posameznih jekel, ker so pač separati kataloga^{3,4,5} vsakomur dosegljivi.

Na omenjenem posvetovanju je bil podan¹ pregled orodnih jekel z utemeljitvijo in opisom glavnih značilnosti posameznih skupin orodnih jekel. S posebno pozornostjo so bili obravnavani kriteriji za oceno uporabnosti, napotki za izbiro ter metodika preizkušanja orodnih jekel s primerjavami nekaterih osnovnih lastnosti.

Pri vsem tem opisu ni prišlo do bistvenih sprememb in nam je lahko solidna opora za nadaljnjo obravnavo.

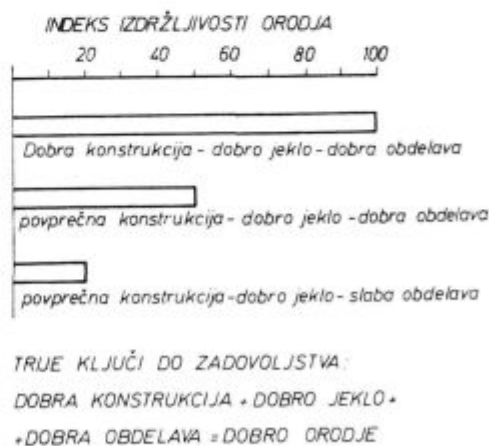
Glede na tematiko posvetovanja in prijavljene referate bomo obravnavali tri skupine orodnih jekel.

Največ pozornosti velja brzoreznim jeklom, orodna jekla za hladno in za vroče delo pa bomo obravnavali le delno.

Samo z dobro konstrukcijo orodja, s pravilno izbiro in dobro kakovostjo orodnega jekla ter s strokovno izdelavo, toplotno obdelavo in pravilno uporabo orodij lahko dosežemo popoln učinek in »zadovoljstvo z dobrim orodjem« (slika 1).

Raznolikost kemične sestave, lastnosti in uporabnosti ter s tem seveda predpisanih zahtev je pri orodnih jeklih bistveno večja, kot pri vseh drugih skupinah jekel. Področje uporabnosti orodnih jekel je izredno široko, od najpreprostejših orodij do specialnih industrijskih orodnih kompletov.

Pripadnost nekega legiranega jekla skupini orodnih jekel ni kar takoj očitna, ker dobijo ta naslov bolj na osnovi uporabe kot pa osnovne sestave. Orodja uporabljamo za obdelavo in predelavo snovi, orodna jekla pa so vsa tista, ki se uporabljajo za izdelavo orodij. Žal, točnejše definicije na tem področju skoraj ne najdemo. Tudi z omejitvami kemijske sestave ni mogoče orodnih jekel natančno opredeliti. Res je, da imajo mnoga orodna jekla višjo vsebnost ogljika, vendar le nekatera kažejo nadevtektoidno in ledeburitno strukturo. Največji del orodnih jekel ima ogljik v območju 0,3 do 0,6 %, kar se močno prepleta z značilnim območjem konstrukcijskih jekel za poboljšanje. Vsebnost ogljika torej ni odločilna karakteristika za opredelitev orodnih jekel, saj imamo npr. nekatera specialna orodja za vroče in hladno delo izdelana iz jekel, ki so skoraj brez ogljika za izločevalno utrjanje. Tudi legirne elemente dodajamo v najrazličnejših kombinacijah in v izredno širokih variacijah vsebnosti. Celo pri enaki kemijski sestavi se glede na področje uporabe zahtevajo določene razlike in specifične lastnosti. Te zagotavljajo posebni pogoji v tehnologiji izdelave, predelave in toplotne obdelave. Skoraj vedno so potrebne drugačne zahteve preizkušanja in kontrole.



Slika 1

Pomen konstrukcije orodja, izbire jekla in izdelave ter toplotne obdelave orodja

Fig. 1

Importance of tool design, selection of steel, manufacturing and heat treatment of tool

* Uvodni referat na XII. Jugoslovanskem posvetovanju proizvodnega strojništva v Mariboru 28. in 29. IX. 1978.

Jože Rodič, dipl. inž. metalurgije je vodja službe za razvoj tehnologije, izdelkov in metalurške raziskave v železarni Ravne

Najpomembnejše lastnosti, ki označujejo obnašanje orodnega jekla pri uporabi, so trdota, odpornost proti obrabi in žilavost. K tem osnovnim dodajamo še veliko število posebnih lastnosti, kot so npr. dinamična trdnost, obstojnost proti oksidaciji, proti koroziji, proti termičnemu utrujanju in zelo pomembna popuščna obstojnost ter obstojnost mer, oblik, oz. občutljivost za deformacije in nastajanje razpok pri kaljenju.

Lastnosti jekla morajo v optimalni kombinaciji omogočati, da se orodje ne deformira, da vzdrži njemu namenjene obremenitve in da se s čim manjšo obrabo dolgo uporablja. Ob takih zahtevah razlikujemo dve vrsti značilnih lastnosti, ki odločajo o

UPORABNOSTI:

- trdota v hladnem in v vročem,
- žilavost ter odpornost proti lomljenju in krušenju,
- odpornost proti obrabi,
- prekaljivost,
- nagnjenost k deformacijam pri kaljenju,
- popuščna obstojnost,
- odpornost proti koroziji in škakanju,
- statična trajna trdnost pri povišanih temperaturah,
- dinamična trajna trdnost, ipd.

PREDELAVNI SPOSOBNOSTI:

- sposobnost za obdelavo z odvzemanjem materiala,
- sposobnost za brušenje,
- sposobnost za poliranje,
- sposobnost za hladno preoblikovanje,
- sposobnost za hladno vtiskovanje,
- sposobnost za predelavo in plastično preoblikovanje v vročem.

Razumljivo je, da tudi glede zahtevanih lastnosti ne moremo pričakovati za orodna jekla nekih skupnih in enotnih kriterijev. V različnih prilikah

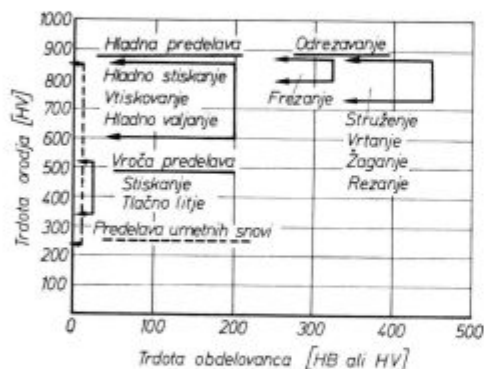
uporabe nekatere lastnosti niso pomembne in zahtevane niti potrebne, medtem ko so za druga orodja prav te odločilne.

Največkrat brez pomisleka povezujemo pojem orodno jeklo z visoko trdoto. Če malo podrobnejši razmislje pokaže, da taka povezava ni utemeljena. Trdota orodja mora biti le relativno večja od obdelovancev, absolutno pa je trdota orodja včasih celo zelo nizka in povprečje trdote orodij bi bilo kar verjetno v območju trdot jekel za poboljšanje.

Slika 2 kaže orientacijsko primerjavo trdot obdelovancev in orodij za nekaj značilnih postopkov obdelave.

Trdota orodja je vsekakor lastnost, ki jo je mogoče kontrolirati na najpreprostejši način in jo zato koristno uporabljamo za oceno uporabne možnosti orodij, četudi ne more te uporabnosti povsem opredeliti in služiti za odločujočo oceno pri vrednotenju orodij. Odpornost orodij proti obrabi je precej ozko povezana s trdoto orodij, čeprav so tudi pri tej zvezi precejšnja odstopanja. Na odpornost proti obrabi pri enaki trdoti močno vpliva prisotnost karbidov. Teh je v legiranih Cr-W-Mo-V orodnih jeklih tudi do 20 in več odstotkov. Dodajanje karbidov za povečevanje odpornosti proti obrabi je omejeno, ker karbidi predstavljajo pri obremenitvah notranje iniciale razpok in s tem povečujejo nevarnost lomov, oz. poslabšajo žilavost orodij.

Pri delu orodij imamo vedno opravka z lokalnimi konicami napetosti, ki prekoračijo mejo razteznosti in so odvisne od načina obremenjevanja in oblike orodja. Pri orodnih jeklih s trdoto nad 55 HRC je sposobnost jekla za plastično deformacijo tako majhna, da take konice napetosti nad mejo plastičnosti zelo lahko povzročajo začetke razpok, iz katerih se širi razpoka do zloma. Značilno odpornost orodnega jekla proti širjenju razpoke raziskujemo z modernimi metodami lomne mehanike. Da bi nevarnost lomov zmanjšali, moramo iskati kompromis med zagotavljanjem obstojnosti oblike in žilavostjo. Jeklo in njegovo stanje za orodje izberemo vedno tako, da je orodje čim trše, pri čemer pa je treba zagotoviti ravno tolikšno žilavost, da pri nastopajočih obremenitvah še ne pride do omenjenih inicialov in lomov. Pri orodjih imamo za razliko od drugih skupin jekel zelo majhne rezerve žilavosti. Zato moramo žilavosti orodij z visoko trdoto posvečati prav posebno pozornost. Na zmanjšanje nevarnosti lomov močno vpliva porazdelitev napetosti v orodju že med toplotno obdelavo in nato med uporabo orodja. Strokovno definiranje in obvladanje tehnologije toplotne obdelave orodij je izrednega pomena. Prav na tem področju se ob problematiki orodij lahko večkrat globoko zamislimo, ko ob najmodernejših možnostih izdelave orodij stojijo večkrat primitivna kalilnica kot zgodovinski spomenik — najpreprostejša peč s koritom za ohlajevalno sredstvo.



Slika 2

Trdote orodij in obdelovancev pri različnih postopkih obdelave

Fig. 2

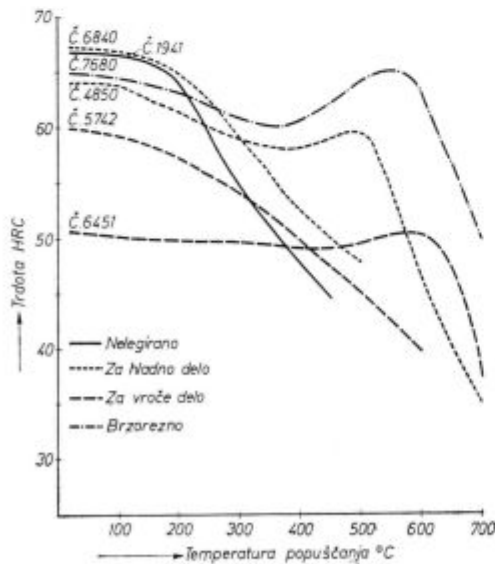
Hardnesses of tools and blanks in various stages of treatment

Zelo veliko danes uporabljenih orodnih jekel predstavlja velik problem. Raznolik in problematičen asortiment orodnih jekel lahko povežemo tudi z različnimi nacionalnimi usmeritvami razvoja ter delno z značilnimi tržnimi razmerami v preteklem obdobju. Včasih se močno odraža možnost oskrbovanja ferrozlitin ali pa določena kriza v zagotavljanju nekaterih dodatkov. Včasih je bilo prav od slučaja odvisno, da so se na tržišču znašle podobne in nepotrebne variante istih orodnih jekel — rezultatov razvoja posameznih jeklarn. To je še lažje razumljivo, če upoštevamo, da nekatera jekla izvirajo še iz časov, ko je bila kemijska sestava še tajna in so jo drug pred drugim skrbno skrivali. Tako seveda ni bilo praktičnih možnosti za sistematičen pregled in so bile neposredne primerjave večkrat nemogoče. Za različne skrivnostne tovarniške oznake je bil ključ poznan samo nekaterim. Tako je nastalo veliko vrst orodnih jekel, mnogo več kot pri drugih skupinah in zato se trudimo v današnjem obdobju reducirati asortimente, jih tipizirati in normirati. Da bi dosegli ta cilj, jih razdeljujemo in grupiramo po kemijski sestavi, po toplotni obdelavi, po področjih uporabe in ustreznih kombinacijah, za kar so kriteriji poznani.¹

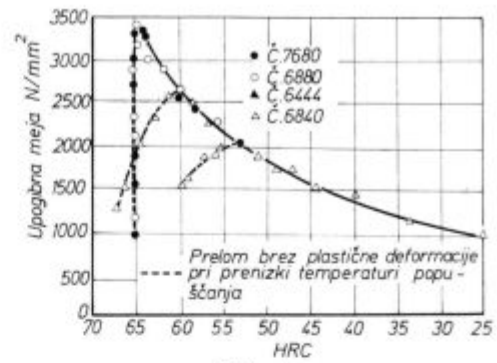
Pri nas največ uporabljamo razdelitev orodnih jekel po naslednjih skupinah:

- nelegirana ogljikova orodna jekla,
- legirana orodna jekla za delo v hladnem,
- legirana orodna jekla za delo v vročem,
- brzorezna jekla,
- orodna jekla za posebne namene.

Kakor kaže slika 3, je že popuščna obstojnost jekel iz posameznih skupin zelo različna.

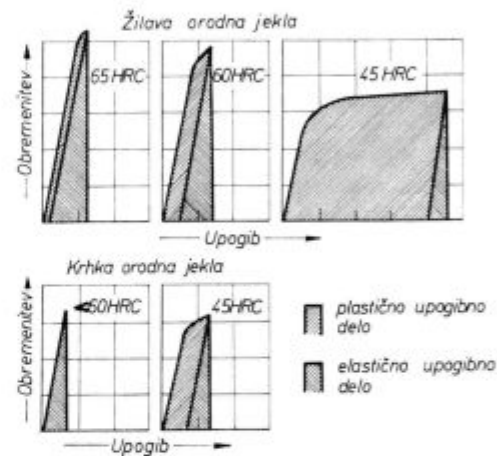


Slika 3
 Popuščna obstojnost orodnih jekel različnih skupin
 Fig. 3
 Tempering stability of various types of tool steel



Slika 4
 Medsebojna odvisnost upogibne meje in trdote nekaterih orodnih jekel¹

Fig. 4
 Mutual relationship between the bending limit and the hardness of some tool steel¹



Slika 5
 Krivulje obremenitev — upogib za žilava in krhka orodna jekla

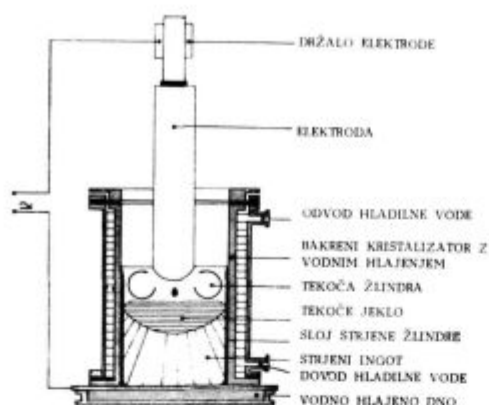
Fig. 5
 Load-bend curves for tough and brittle tool steel

Poleg poznanih podobnih primerjav¹ drugih značilnih lastnosti moramo posebej upoštevati pri izbiri orodnih jekel njihovo specifično obnašanje pri obremenitvah v posameznih območjih.

Za obstojnost oblike nekega orodja je odločilen naslednji pogoj: trdota mora biti vsaj tolikšna, da je od nje odvisna meja razteznosti ali plastičnosti višja od obremenitve, kateri je orodje izpostavljeno. Slika 4 kaže značilno medsebojno odvisnost upogibne meje in trdote nekaterih orodnih jekel.

Obstojnosti oblike orodij ni mogoče vedno zagotavljati preprosto s čim višjo trdoto, ker ta ni neodvisna lastnost materiala, ampak je neposredno povezana z odpornostjo proti obrabi in z zelo pomembno žilavostjo. Eno od meril žilavosti je tudi upogibno delo, kakor kaže slika 5.

Nelegirana in legirana orodna jekla se običajno izdelujejo v elektroobločnih jeklarskih pečeh, v nekaterih primerih tudi v indukcijskih in le izjemno še v Siemens-Martinovih pečeh. Prav na pod-



Slika 6

Shema električnega pretaljevanja pod žilindro (EPZ postopek)

Fig. 6

Scheme of electroslag remelting (ESR process)

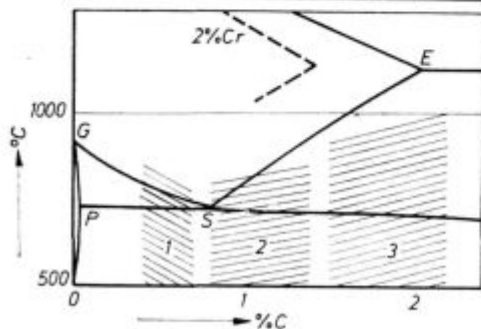
ročju orodnih jekel se najbolj uveljavljajo najmodernejši jeklarski postopki, ki omogočajo doseganje višje kakovosti jekla z odplinjevanjem, vakuumskim litjem ali prečrpavanjem ter s tako imenovano ponovno metalurgijo. Poseben pomen ima električno pretaljevanje pod žilindro (slika 6).

Vroča predelava orodnih jekel predstavlja posebno pri ledeburitnih orodnih in brzoreznih jeklih zelo pomembno tehnološko fazo, ki ima močan vpliv na lastnosti orodij. Zato bomo značilnosti vroče predelave, tako kakor tudi specifičnosti toplotne obdelave obravnavali pri posameznih skupinah, kjer so ti vplivi najpomembnejši.

ORODNA JEKLA ZA DELO V HLADNEM

Orodna jekla za delo v hladnem so namenjena za izdelavo orodij, ki se uporabljajo pri sobni temperaturi ali pa pri nekoliko povišanih temperatu-

Skupina	Stanje	Primer	Vsebnost karbidov %
1	podevtektoidna		-
2	nadevtektoidna		< 5
3	podevtektoidna ledeburitna		> 15



Slika 7

Razdelitev ogljikovih jekel za delo v hladnem na osnovi diagrama stanja Fe-C

Fig. 7

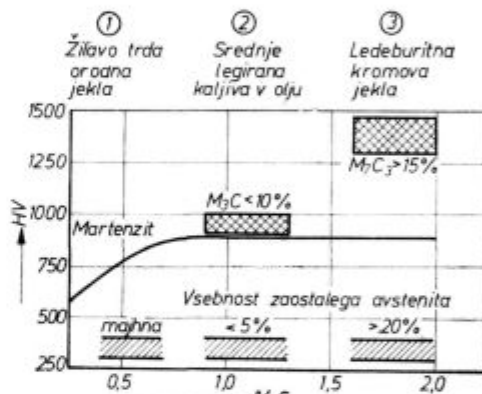
Distribution of carbon steel for cold working according to the Fe-C diagram

rah. Glavne značilne lastnosti jekel te skupine so žilavost, velika trdota in odpornost proti obrabi, rezna sposobnost ter obstojnost dimenzij in oblik. Za izredno široko področje uporabnosti orodnih jekel te skupine je potrebno veliko število različnih vrst jekel, ki jih moramo zaradi preglednosti razdeliti v podskupine po področjih uporabe. Ob tej priliki ne moremo zaradi omejenega obsega opisovati lastnosti posameznih jekel te skupine niti značilnosti posameznih podskupin. Zato poizkusimo prikazati ta jekla, razdeljena v tri skupine po metalurških kriterijih:

1. podevtektoidna jekla — brez karbidov,
2. nadevtektoidna jekla — z manj kot 5 % karbidov,
3. ledeburitna jekla — z več kot 15 % karbidov.

Ta razdelitev je shematično prikazana v diagramu Fe-C na sliki 7.

Za doseganje potrebne trdote moramo zagotoviti tvorbo martenzita, s tem da dosežemo na temperaturi kaljenja raztopitev 0,4—0,8 % C v osnovi.



Slika 8

»Mešana« trdota orodnih jekel za delo v hladnem (shema)

Fig. 8

»Mixed« hardness of tool steel for cold working (scheme)

Pri velikih presekih v jedru ne dosežemo več zadostne hitrosti ohlajevanja, zato moramo dodajati legirne elemente, kot so Cr, Mn, Ni in Mo za zmanjšanje kritične ohlajevalne hitrosti, potrebne za tvorbo martenzita. S temi elementi povečamo prekaljivost jekla.

Odpornost proti obrabi narašča s trdoto. Z dodajanjem karbidotvornih legirnih elementov Cr, Mo, W in V dosežemo poleg Fe karbida še druge vrste posebnih karbidov z visoko trdoto. S primerno velikostjo in razporeditvijo karbidov močno povečamo odpornost proti obrabi.

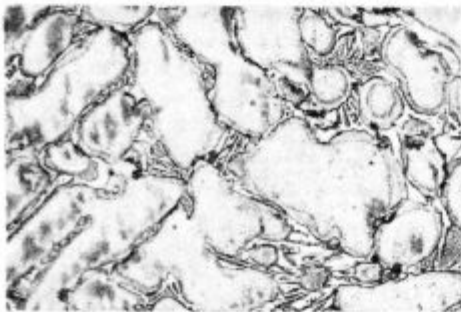
Žilavost je odvisna predvsem od osnovne mase jekla, precej pa tudi od razporeda in narave karbidov. Žilavost martenzita je slaba, zato dosežemo izboljšanje žilavosti s popuščanjem in čim finejšo porazdelitvijo karbidov. Praviloma se žilavost zmanjšuje s povečevanjem trdote in količine karbidov, vendar so podrobnejši odnosi dokaj zapleteni in ne tako direktni.

Glavni problem optimiranja lastnosti orodnih jekel za delo v hladnem je iskanje kompromisnega odnosa med žilavostjo in trdoto ter obstojnostjo proti obrabi.

Podvektoidna jekla imajo na kalilni temperaturi skoraj ves ogljik raztopljen v osnovi. Trdota se s povečano vsebnostjo ogljika sorazmerno povečuje (slika 8).

Nadevektoidna jekla imajo značilno vsebnost ogljika 0,8 do 1,5 %, vedno lahko dosežejo popolno martenzitno kaljenje z ustrezno trdoto nad 64 HRC. Večinoma ostanejo v strukturi tudi neraztopljeni karbidi, ki se izločajo iz avstenita pri postopku toplotne obdelave ter so zato mnogo finejši od tistih karbidov, ki izhajajo iz taline v postopku strjevanja.

Ledeburitna orodna jekla imajo vsebnost ogljika nad 1,5 %. Nelegirana jekla s tako vsebnostjo ogljika nimajo nobene praktične vrednosti. Ledeburito orodno jeklo z 12 % Cr in 2 % C je eno najstarejših klasičnih vrst orodnih jekel, ki je glede na domačo surovinsko bazo za nas še posebno pomembno. V dolgoletnem razvoju so nastale številne variante tega klasičnega jekla z dodatki

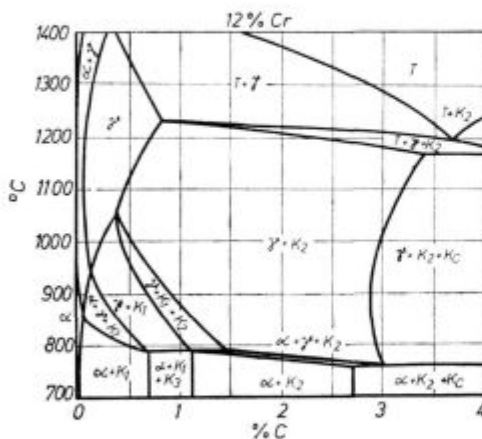


Slika 9

Mikrostruktura jekla C. 4150 — OCR 12 po strjevanju iz tekočega stanja na zraku

Fig. 9

Microstructure of Č. 4150 — OCR 12 steel after solidification from molten state in air

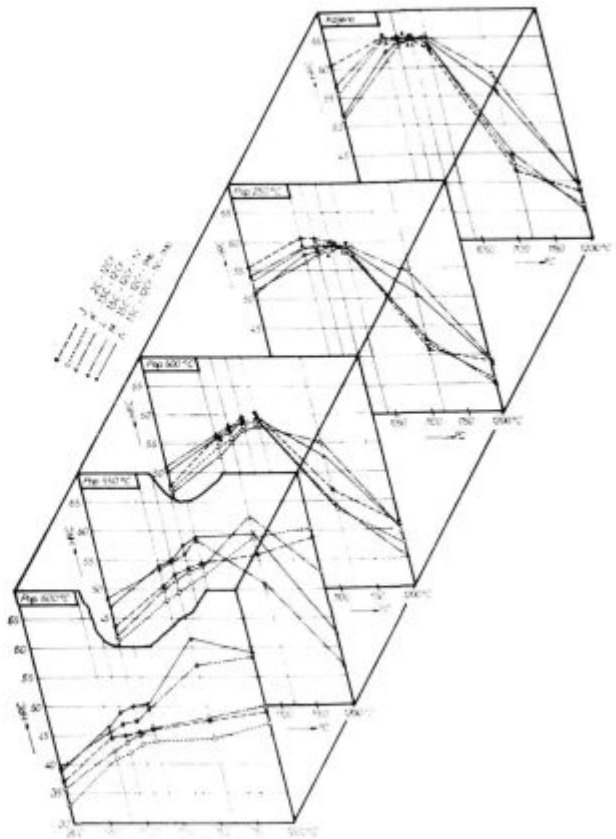


Slika 10

Prerez sistema¹ Fe-Cr-C za 12 % Cr

Fig. 10

Section of Fe-Cr-C system¹ at 12 % Cr



Slika 11

Vpliv kemijske sestave na trdoto po kaljenju in popuščanju

Fig. 11

Influence of chemical composition on the hardness after hardening and tempering

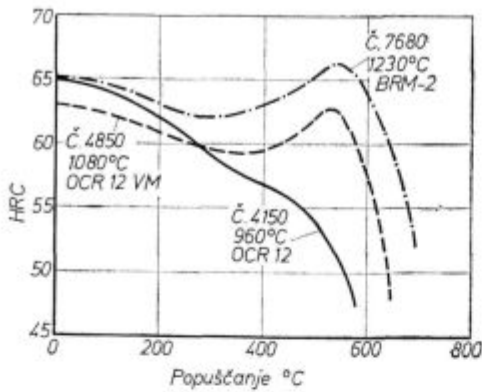
karbidotvornih elementov v zelo različnih razmerjih z ogljikom.

Smerne sestave tipičnih predstavnikov ledoburitnih orodnih jekel v proizvodnem programu železarne Ravne so naslednje:

Vrsta jekla	C %	Cr %	W %	Mo %	V %
Č. 4150 OCR 12	2,1	12	—	—	0,15
Č. 4650 OCR 12 special	2,1	12	0,8	—	0,15
Č. 4750 OCR 12 extra	1,65	12	0,55	0,65	0,15
C. 4850 OCR 12 VM	1,55	12	—	0,58	1
C. 4757 CRV	1	10	—	1	0,25

Ta skupina orodnih jekel je tradicionalno namenjena orodjem za delo v hladnem, domače raziskave zadnjega obdobja pa so pokazale nekatere nepričakovane lastnosti, posebno ugodne za uporabo tudi v vročem stanju.

Velika količina karbidov v teh jeklih z razporeditvijo, velikostjo in obliko odloča o mnogih specifičnih lastnostih teh jekel. Mikrostruktura je že po strjevanju zelo heterogena in njena glavna značilnost je prisotnost eutektika — ledoburita, ki v obliki mreže obdaja primarna zrna (slika 9).



Slika 12

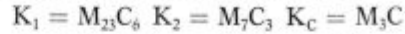
Popuščna obstojnost jekel z ledeburitnimi karbidi (poleg vrste jekla je navedena temperatura kaljenja za podano krivuljo popuščanja)

Fig. 12

Tempering stability of steel with ledeburite carbides (beside the steel type also hardening temperature is given for each tempering curve)

Zaradi sklenjene mreže trdega in krhkega evtektika je jeklo v takem stanju zelo krhko. Ledeburit je sestavljen iz gama trdne raztopine in karbidov, pretežno tipa M_7C_3 . Topnost ogljika v gama trdni raztopini pada s padajočo temperaturo, zato

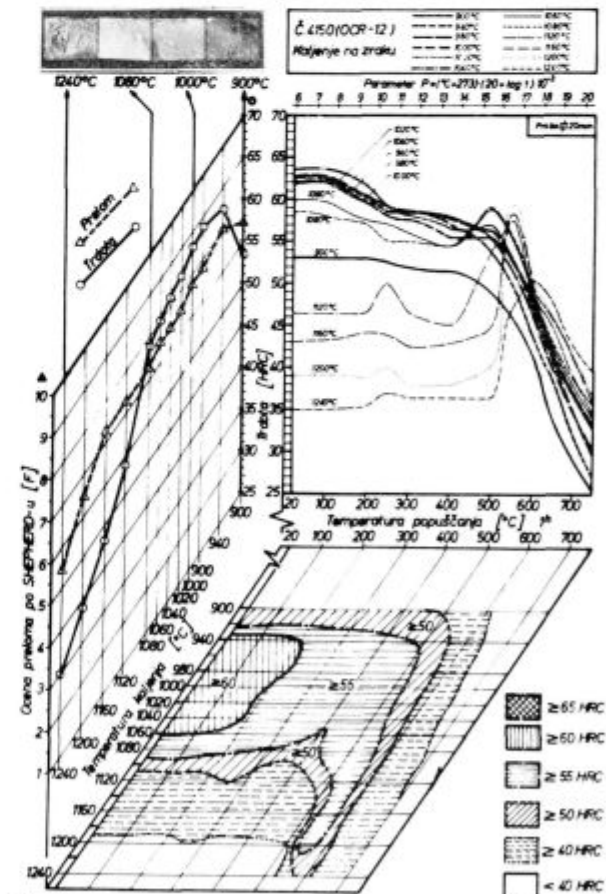
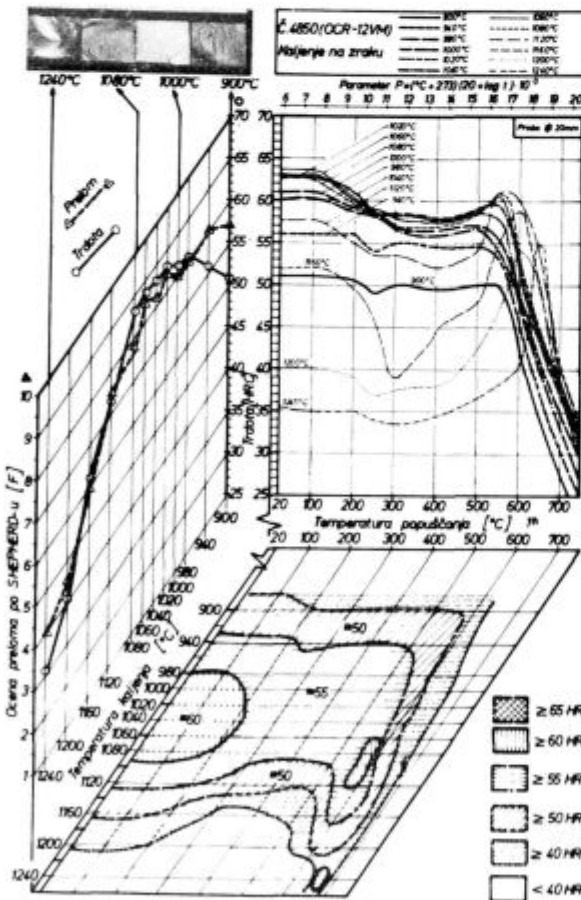
se izločajo še sekundarni karbidi. Pri počasnem ohlajanju se izločajo karbidi po mejah avstenitnega zrna in po dvojčičnih lamelah. Tako imamo pri sobni temperaturi v strukturi teh jekel ledeburitne karbide, sekundarne karbide in perlit. Slika 10 prikazuje prerez sistema Fe-Cr-C za 12 % Cr (po K. Bungardt, E. Kunze, E. Horn)⁶



Zaradi nizkega tališča v mikrostrukturi prisotnega evtektika so ledeburitna jekla zelo nagnjena k pregretju, kar moramo upoštevati pri vroči predelavi, kakor tudi pri toplotni obdelavi.

Pri ledeburitnih orodnih jeklih ima plastična predelava v vročem posebno nalogo, da na primeren način razbije mrežo evtektika in doseže čim bolj enakomerno razporeditev ledeburitnih karbidov po celotnem preseku. V različnih pogojih dobimo lahko vse mogoče vmesne stopnje od mrežaste razporeditve do rahlo trakaste ali skoraj idealno enakomerne porazdelitve karbidnih zrn. Razpored in velikost karbidov odločilno vplivata na lastnosti teh orodnih jekel v uporabi, zato se ta jekla tudi redno metalografsko kontrolirajo v več fazah tehnološkega procesa.

Značilnost prenizkih temperatur avstenitizacije so neraztopljeni drobni sekundarni karbidi. Opti-



Slika 13

Kalilne vrste in popuščni diagrami jekel Č. 4150 in Č. 4850 za kaljenje na zraku¹¹

Fig. 13

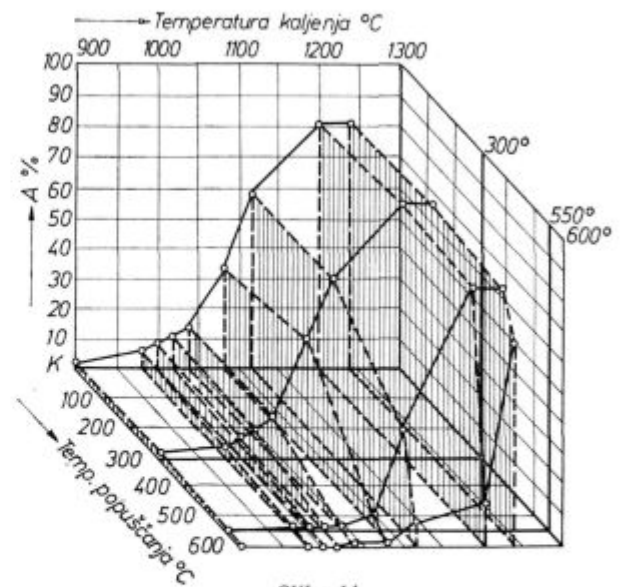
Quench lines and tempering diagrams of Č. 4150 and Č. 4850 steel for hardening in air¹¹

malna avstenitizacija je tista, ki omogoči maksimalno raztapljanje sekundarnih karbidov, a še ne povzroča naraščanja avstenitnega zrna. Znaki pregretja pri avstenitizaciji so grobo avstenitno zrno in koagulirani ali oglati karbidi na stičiščih zrn. Pri višjih temperaturah pregretja nastaja že evtektik v tipični obliki ledeburita zaradi prekoračitve temperature solidusa.

S serijo eksperimentalnih šarž smo ugotavljali vpliv ogljika, posameznih legirnih elementov in njihovih kombinacij na trdoto po kaljenju in popuščanju (slika 11).

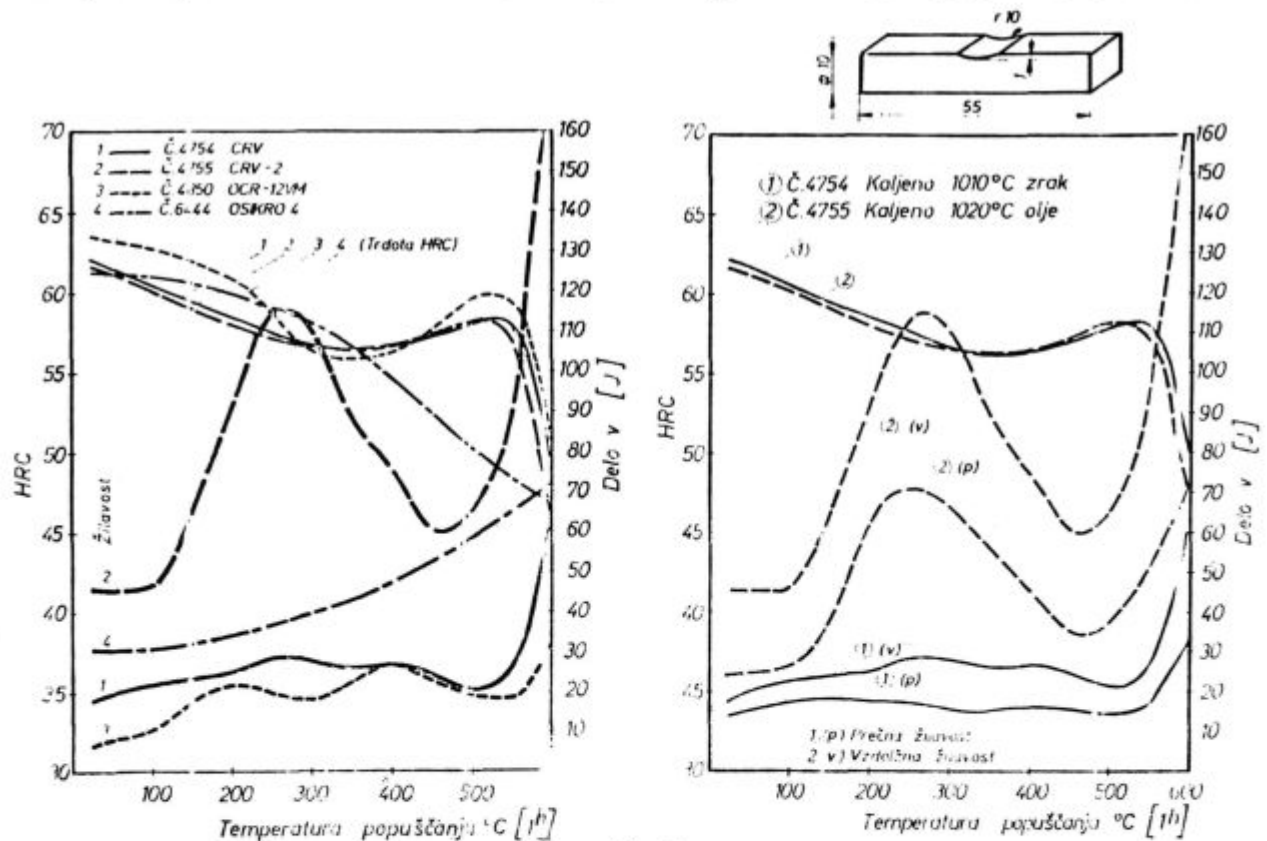
Iz slike 12 vidimo vpliv dodatkov Mo in V v jeklu C.4850 v primerjavi s klasičnim jeklom C.4150. Za primerjavo pa je prikazano še brzo-orno jeklo C.7680.

V normalnem območju kaljenja se pojavljajo pri popuščanju do 500 °C normalne popuščne mikrostrukture — predvsem popuščni martenzit. Pri nižjih temperaturah kaljenja se kažejo vplivi popuščanja v mikrostrukturi že pri 200 °C, pri višjih temperaturah kaljenja pa so pojavi popuščanja v mikrostrukturi opazni šele pri sorazmerno višjih temperaturah popuščanja. Podrobneje študiramo vpliv kaljenja in popuščanja na trdoto, zrnatost preloma in velikost avstenitnega zrna s prostorskimi prikazi po metodi železarne Ravne (slika 13).



Slika 14
Zaostali avstenit v jeklu C.4850 — OCR 12 VM
Fig. 14
Retained austenite in C.4850 — OCR 12 VM steel

Dobra prekaljivost ledeburitnih orodnih jekel, ki jo prikazujejo značilni TTT diagrami, omogoča zelo počasno ohlajevanje pri kaljenju, kar je zelo



Slika 15
Primerjave trdot in žilavosti štirih vrst orodnih jekel s probami za udarno upogibno žilavost 10 × 10 × 55 mm³ z oslabitvijo 1 mm/R 10 mm

Fig. 15

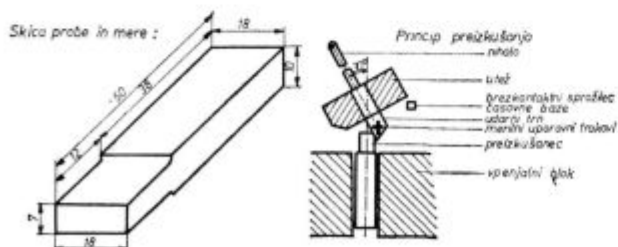
Comparisons of hardnesses and toughnesses for four tool steel types by the impact bending toughness tests with 10 × 10 × 55 mm³ samples with 1 mm/R 10 mm weakening

ugodno za dimenzijsko obstojnost in zmanjšanje napetosti pri toplotni obdelavi. Po kaljenju je v mikrostrukturi določen delež zaostalega avstenita, ki se s temperaturo kaljenja povečuje in je stabilen do razmeroma visoke temperature popuščanja. Za jeklo Č. 4850 — OCR 12 VM so vse meritve zaostalega avstenita prikazane na sliki 14 trodimenzionalno, tako da je očitno vpliv temperature kaljenja in popuščanja.

Deformacije zaradi povečanja volumna pri tvorbi martenzita se s precejšnjo količino zaostalega avstenita, ki ima manjši specifični volumen, precej izenačijo. Z izbiro ustrezne temperature kaljenja je mogoče količinsko razmerje martenzita in zaostalega avstenita ob upoštevanju potrebne trdote tako regulirati, da so deformacije najmanjše. Seveda je pri tem potrebno upoštevati tudi popuščanje. Moderne metode dilatometrskih preiskav omogočajo simuliranje delovnega ciklusa toplotne obdelave in spremljanje dimenzijskih — volumskih sprememb zaradi strukture. Če tem ugotovitvam dodamo še pričakovane dimenzijske spremembe zaradi različnih presekov pri ogrevanju in ohlajevanju, lahko dokaj natančno napovedujemo volumske spremembe in deformacije, katere moramo vsekakor še v praksi preverjati in na osnovi dokumentacije ustrezno kompenzirati. Karbidi niso podvrženi volumskim spremembam med kaljenjem in če upoštevamo, da je njihov delež približno 15—20 %, potem je glede deformacij zelo ugodno, da približno 1/5 volumna jekla ostaja pri kaljenju glede volumskih sprememb nevtralna.

Žilavost je ena najpomembnejših in obenem najbolj problematična lastnost orodnih jekel. S statičnim upogibnim in torzijskim preizkušanjem se precej oddaljujemo od dejanskih karakteristik obremenitev orodij pri uporabi. Čeprav to metodo mnogi avtorji zelo propagirajo, se zanjo v železarni Ravne nismo ogreli. Največ podatkov imamo o preizkušanju žilavosti orodnih jekel s preizkušancem, ki ima samo rahlo oslabitev preseka namesto zareze, kakršno za primer kažejo primerjave na sliki 15.

Za preizkušanje trdih orodnih jekel smo na podlagi večletnih izkušenj v železarni Ravne raz-



Slika 16

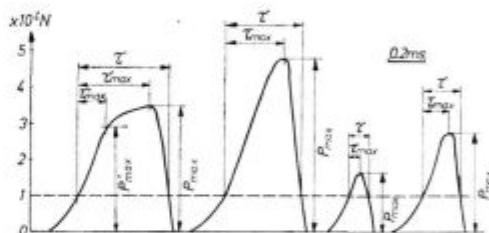
Oblika preizkušanca z glavnimi merami in princip preizkušanja po metodi ZR

Fig. 16

Shape of sample with main dimensions, and the principle of testing by the ZR method

vili tako imenovano metodo ZR, ki nekako standardizira kompleksno preizkušanje trdih orodnih jekel in vključuje tudi preizkušanje žilavosti s t. i. instrumentiranimi meritvami. Princip preizkušanja prikazuje slika 16.

Značilnost metode ZR za preizkušanje žilavosti je merjenje maksimalne sile pri zlomu, kar je za oceno žilavosti trdih orodnih jekel že s praktičnega stališča uporabnosti orodij precej bolj upravičeno kot merjenje dela, porabljenega za zlom preizkušanca. Porabljeno delo ima pri konstrukcijskih jeklih z veliko sposobnostjo deformacije povsem drug pomen kot pri trdih orodnih jeklih, ki se zelo malo plastično deformirajo. Ko zaradi upogibne obremenitve na površini nastane prva razpoka — porušitev, je orodje praktično že uničeno, za nadaljnji potek loma pa se lahko porabi še razmeroma veliko delo in dolg čas. Lahko pa trdimo, da je zlom v takem primeru samo še vprašanje časa, je pa neizbežen, če bi z enakim ali celo manjšim obremenjevanjem orodja nadaljevali. Po-



Slika 17

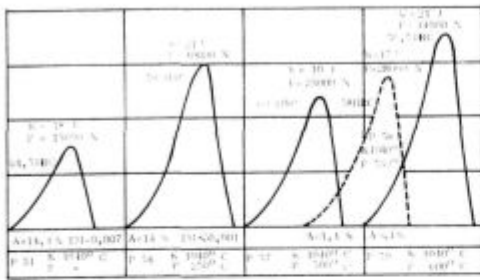
Različni tipi krivulj in principi odčitavanja pri meritvah žilavosti po metodi ZR

Fig. 17

Various types of curves, and principles of reading in toughness measurements by the ZR method

rabljeno delo za zlom preizkušanca torej ne more biti merilo pri oceni uporabnosti jekla za orodje, čeprav je glede varnosti pri uporabi orodij tudi to delo precej pomembno. Pri preizkušanju je torej odločilnega pomena ugotovitev tiste kritične sile, ki povzroči prvo razpoko, oziroma začetek porušitve! Tako ugotovitev sile nam lahko omogoči samo instrumentirana meritev z registriranjem celotnega časovnega poteka sile pri poizkusu. Celotno za zlom porabljeno delo je vsekakor zelo zanimiva dodatna informacija, ki marsikaj pove o mehanizmu loma. Metoda ŽR bo v kratkem podrobneje opisana v Železarskem zborniku, zato se pri opisu njenih značilnosti ne bomo posebej zadrževali. Za ilustracijo prikazuje slika 17 štiri značilne tipe registriranih krivulj odvisnosti sila — čas.

Slika 18 prikazuje selektivno sposobnost teh meritev s primerjavo enako kaljenih preizkušancev istega izvora, tako da so vse razlike samo posledica popuščanja.



Slika 18

Primerjava žilavosti preizkušancev jekla Č. 4850 — OCR 12 VM istega izvora kaljenih na 1040 °C v olju in popuščanih na različne temperature v območju normalnih delovnih trdot¹²

Fig. 18

Comparison of toughness of Č. 4850 — OCR 12 VM steel samples of the same origin, hardened at 1040 °C in oil and tempered to various temperatures in the region of normal working hardnesses¹²

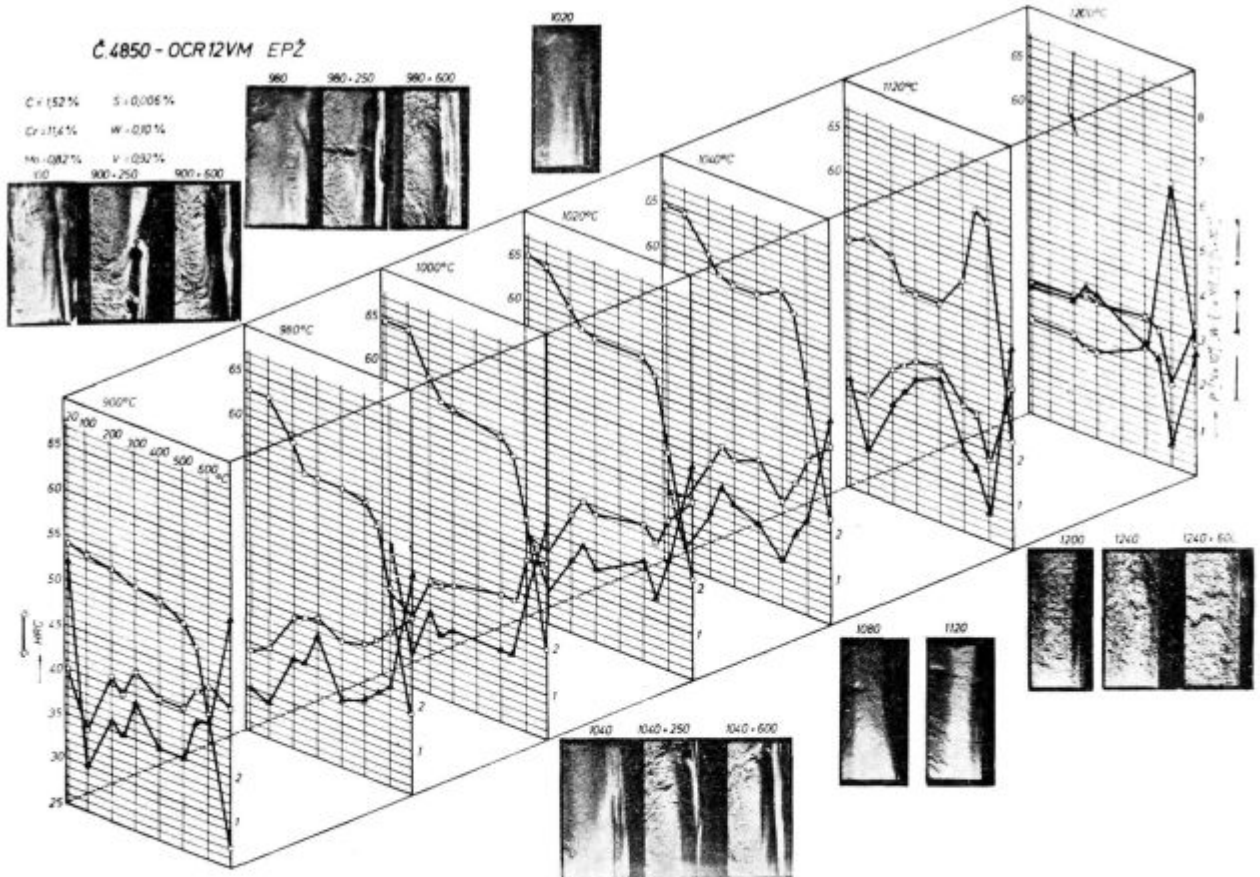
Povzetek takih meritev kaže slika 19 kot primer za jeklo Č. 4850 — OCR 12 VM.

Razvojne smeri:

Glavni cilj razvoja na področju orodnih jekel za delo v hladnem je zmanjšanje preštevilnega asortimenta jekel te skupine s poenotenjem in znanstveno osnovano tipiziracijo legiranih orodnih

jekel podobne sestave. Ni potrebno posebej razlagati in utemeljevati ekonomske in tehnične prednosti, povezane s približevanjem temu cilju. Poleg teh teženj je razvoj usmerjen predvsem na izboljšanje izdelovalnih in uporabnih lastnosti tako izbranih standardiziranih jekel:

- znižanje trdote v mehko žarjenem stanju za izboljšanje obdelovalnosti z odvzemanjem materiala in sposobnosti za hladno vtiskovanje,
- zmanjšanje površinskega razogljichenja in s tem zmanjšanje dodatkov za obdelavo, kar dosežemo z modernizacijo postopkov ogrevanja pri vroči predelavi in žarjenju v vakuumu in zaščitnih atmosferah,
- izboljšanje in uvajanje modernih livnih postopkov za izdelavo litih ali pa predvlitih orodij,
- ukrepi za skrajšanje terminov in ekonomsko ugodnejšo izdelavo orodnih jekel,
- zmanjšanje vsebnosti nemetalnih vključkov,
- zagotavljanje finejših karbidov in boljše razporeditve karbidov v osnovi z različnimi tehnološkimi postopki pri izdelavi, predelavi in toplotni obdelavi jekla,
- izboljšanje žilavosti jekla,
- doseganje enakomernih lastnosti in splošne homogenosti po preseku.



Slika 19

Primer prostorskega prikaza kalilne vrste in popuščnih diagramov po metodi 2R

Fig. 19

Space presentation of the quenching line and the tempering diagrams by the 2R method

Poleg glavnih razvojnih tendenc v smeri tipizacije in zmanjšanja asortimenta pa so le na tem področju tudi aktualne raziskave in razvoj nekaterih novih vrst jekel. Široko uporabljena žilavo trda orodna jekla moramo popuščati samo pri nizkih temperaturah, da bi zadržali potrebno trdoto. Da bi lahko povišali temperature popuščanja in s tem zmanjšali notranje napetosti, je interesanten razvoj optimiranih Cr-Mo-W-V orodnih jekel, ki dosežejo sekundarno trdoto po popuščanju na 500 °C s trdoto nad 55 HRC. Značilna primera tega razvoja sta novi vrsti orodnih jekel v proizvodnem programu železarne Ravne.

— Č. 4757 — Utop Mo 4 z 0,5 % C — 1 % Si — 0,4 % Mn — 5 % Cr — 1,5 % Mo — 1 % V,

— Č. 4755 — CRV 2 z 0,5 % C — 0,9 % Si — 0,4 % Mn — 8,5 % Cr — 1,3 % Mo — 1,2 % W — 0,1 % V.

Ti dve vrsti jekla z razmeroma nizkim ogljikom vsebujeta v kaljenem stanju še karbide in kažeta s tem boljšo odpornost proti obrabi ob istočasno izboljšani žilavosti. Poleg odlične kombinacije trdote in žilavosti kažeta obe vrsti jekla značilni efekt sekundarne trdote, ki omogoča tudi nitriranje orodij, s čimer se izboljša odpornost proti obrabi. To lastnost omogočata predvsem dodatka molibdena in vanadija, tako kot pri jeklu Č. 4850 — OCR 12 VM.

Nadaljnji razvoj je usmerjen v izenačevanje dimenzijskih sprememb v vzdolžni in prečni smeri paličastega jekla. Pri tem imajo karbidi zelo pomembno vlogo, uravnavanje lastnosti pa dosežemo predvsem s specialno tehnologijo plastične deformacije v vročem.

Za izboljšanje odpornosti proti obrabi pri ledeburitnih kromovih jeklih je izražena v zadnjem času tendenca zviševanja ogljika. S tem se povečuje delež karbidov M_7C_3 . Omejitvev pri tem razvoju je bila slaba predelavna sposobnost — težave pri kovanju ob tako visoki vsebnosti ogljika. Šele z uvedbo EPŽ postopka, ki omogoča usmerjeno kristalizacijo jekla, je postalo mogoče kovanje ledeburitnih jekel z 2,9 % C in 12 % Cr, ki ima kar 25 % karbidov v strukturi.

ORODNA JEKLA ZA DELO V VROČEM STANJU

Orodna jekla te skupine so namenjena izdelavi orodij, ki so med delom izpostavljena povišanim in visokim temperaturam. Orodja so izpostavljena termičnim in mehanskim obremenitvam v najrazličnejših kombinacijah. Razumljivo je, da od teh jekel zahtevamo maksimalno popuščno obstojnost, najzahtevnejša pa je zagotovitev odpornosti proti nihanjem temperature in temperaturnim šokom. Najpomembnejše mehanske lastnosti, velika trdnost, visoka trdota in odpornost proti obrabi ter žilavost so vedno povezane s povišanimi ali visokimi temperaturami.

Pri orodjih za delo v vročem lahko razlikujemo dve osnovni skupini:

— utopi za kovanje in orodja, izpostavljena udarnim — dinamičnim obremenitvam pri povišanih temperaturah,

— orodja za vroče stiskanje, litje pod pritiskom in vsa ostala orodja za delo v vročem.

Ta skupina orodnih jekel je tudi zelo številna in zahteva obvladanje zelo številnih ter dokaj problematičnih specifičnih lastnosti. Upoštevaajoč osnovno tematiko posvetovanja, se bomo omejili le na kratko opredelitev osnovnih skupin orodnih jekel za delo v vročem brez podrobnejšega obravnavanja njihovih značilnih lastnosti.

Najpomembnejše skupine orodnih jekel za delo v vročem so naslednje:

— W-Cr-V orodna jekla se odlikujejo z najboljšimi mehanskimi lastnostmi v vročem stanju. Jekla te podskupine imajo največjo trdnost v vročem stanju in zelo veliko popuščno obstojnost, zato so namenjena za najbolj toplotno obremenjena orodja, ki se ne morejo intenzivneje hladiti med delom. Slaba stran teh jekel je toplotna prevodnost in občutljivost za temperaturne spremembe.

— Cr-Mo-V orodna jekla imajo mnogo boljše toplotno prevodnost in so prav zato namenjena orodjem, ki se intenzivno ohlajajo in imajo kratke temperaturne cikle z velikim nihanjem temperature.

— Ni-Mo orodna jekla se prvenstveno uporabljajo za orodja, ki so izpostavljena bolj dinamičnim in udarnim obremenitvam, niso pa toliko toplotno obremenjena.

— Posebno skupino predstavljajo orodna jekla, ki se uporabljajo v vročem in v hladnem ter so zelo žilava, legirana z volframom, kromom in silicijem.

— Mn-Si jekla že spadajo bolj v skupino konstrukcijskih jekel, ki se uporabljajo tudi za delo v vročem pri manjših obremenitvah.

BRZOREZNA JEKLA

Brzorezna jekla se pretežno uporabljajo za rezalna orodja, v zadnjih letih pa vedno bolj tudi za oblikovalna orodja. Značilna kemična sestava in specifična toplotna obdelava zagotavlja visoko popuščno obstojnost in trdoto v vročem ter obstojnost značilnih lastnosti do rdečega žara. Čeprav njihovo uporabnost na področju odrezovanja omejujejo trde kovine in keramika, poraba brzoreznih jekel še vedno raste s povprečno stopnjo 3 % in se njihov pomen ne zmanjšuje zaradi naslednjih prednosti:

— so manj nagnjena k lomljenju in se uporabljajo za rezanje, predvsem na strojih z manjšo stabilnostjo in za izdelavo orodij takih oblik in izdelovalnih postopkov, kjer uporaba trdih kovin skoraj ni mogoča;

— se bistveno lažje obdelujejo pri izdelavi orodij, medtem ko trde kovine lahko ob posebno zahtevnih pogojih le brusimo. Vsa orodja kompliciranih oblik, kot spiralni in navojni svedri, oblikovalna prevlačna orodja in večji del frezal, se iz teh razlogov izdelujejo samo iz brzoreznic jekel.

Možna in smiselna področja uporabe so tako opredeljena, da se že nekaj let skoraj niso spremenile meje uporabnosti brzoreznic jekel in trdih kovin. Porazdelitev količine porabljenih brzoreznic jekel po vrstah rezalnih orodij ocenjujemo takole:

- 15 % za strugarske nože,
- 45 % za frezala,
- 10 % za skobelna orodja,
- 25 % za spiralne in navojne svedre,
- 5 % za prevlačne igle, povrtala in druga orodja.

V zadnjih 20 letih se je v svetu uporabljalo več kot 50 bolj ali manj različnih vrst brzoreznic jekel. Tako številni in neutemeljeni assortmenti je prav gotovo neposredna posledica specifičnega zgodovinskega razvoja.

Presenetljiva je ugotovitev, da so začetki tako kompliciranega legirnega sistema, kot so brzorezna jekla, že v sredini preteklega stoletja in torej sovpadajo s časom odkritja in prve uporabe legiranih jekel. Že leta 1868 je R. Mushet v Angliji izdelal prvo zlitino, nekoliko podobno brzoreznicnemu jeklu. Kljub boljši rezalni sposobnosti od dotlej poznanih orodnih jekel s tem še niso bile dosežene značilnosti kasnejših brzoreznic jekel, katerih »rojstvo« pripisujemo pravzaprav posebni toplotni obdelavi. Leta 1898 sta namreč F. W. Taylor in J. White ugotovila, da ogrevanje tega jekla v bližini tališča — kar so pred tem smatrali za izredno škodljivo — omogoča izredne rezalne sposobnosti zaradi višje odpornosti proti popuščanju in trdote v vročem. To odkritje je še danes temelj značilne toplotne obdelave brzoreznic jekel, ki se razlikuje od vseh drugih vrst jekla. Pravo brzorezno jeklo s približno 4 % Cr, 18 % W in 1 % V, ki se še danes uporablja, sta uvedla Mathews in Mc Kenna leta 1910. Nadaljnji razvoj brzoreznic jekel je prinesel dodatke kobalta za izboljšanje trdote v vročem in doseganje rezalne sposobnosti pri vse večjih hitrostih rezanja. Leta 1939 je Gill uvedel brzorezna jekla z višjim ogljikom in dodatki vanadija do 5 %, posebno namenjena fini obdelavi in fazonskim orodjem natančnih oblik. Obdobje 1940 do 1952 je prineslo nadomeščanje volframa z molibdenom, najprej zaradi krize volframa, nato pa vedno bolj zaradi ugotovljenih značilnih lastnosti molibdena. Leta 1962 je prvo brzorezno jeklo doseglo trdoto 70 HRC, kar pomeni začetek razvoja superbrzoreznic jekel.

Zgodovinski razvoj kaže, da se brzorezna jekla niso razvijala sistematično, ampak so v daljšem časovnem obdobju rezultat slučajnih odkritij, reševanja kriz in iskanja novih, boljših specifičnih

lastnosti. Kljub naporom za zmanjševanje asortimenta, za tipizacijo in standardizacijo na področju brzoreznic jekel razvoj še ni končan, ampak je z novimi spoznanji in novimi tehnološkimi postopki prav na tem področju morda najbolj obetajoč.

Lastnosti brzoreznic jekel in njihovo toplotno obdelavo, vplive legirnih elementov in specifične lastnosti opisuje zelo številna literatura in katalogi proizvajalcev³, zato pogledjmo, kakšen je današnji pomen posameznih skupin. Poraba brzoreznic jekel v Evropi⁷ je po deležih značilnih tipov brzoreznic jekel naslednja:

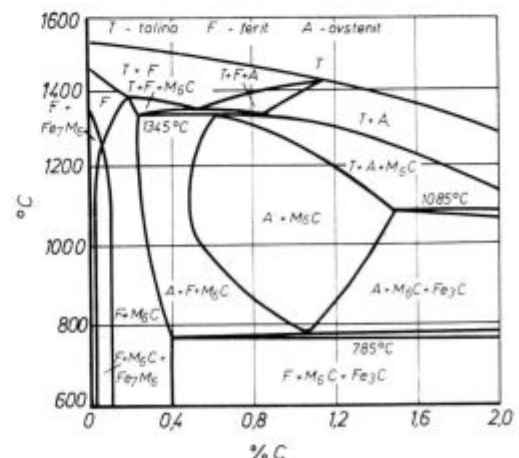
- 75—85 % tipi 6 W — 5 Mo,
- 5—10 % tipi 2 W — 9 Mo,
- 10—20 % tipi 18 W — 0 Mo in 12 W — 1 Mo.

V ZDA je delež tipa 6 W — 5 Mo znatno manjši (50 %), delež tipa 2 W — 9 Mo pa izredno velik (45 %), medtem ko odpade na dokaj zastarela brzorezna jekla z 18 ali 12 % W samo 5 % potrošnje.

V različnih državah so ta razmerja zelo različna zaradi specifičnih izkušenj in »priljubljenosti« posameznih tipov jekla, pa tudi zaradi ekonomskih in komercialnih prilik. Zaradi izrednega nihanja in skokovitih sprememb v cenikih ferozlitin je v današnjem razvoju kakršnokoli dolgoročneje načrtovanje skoraj nemogoče.

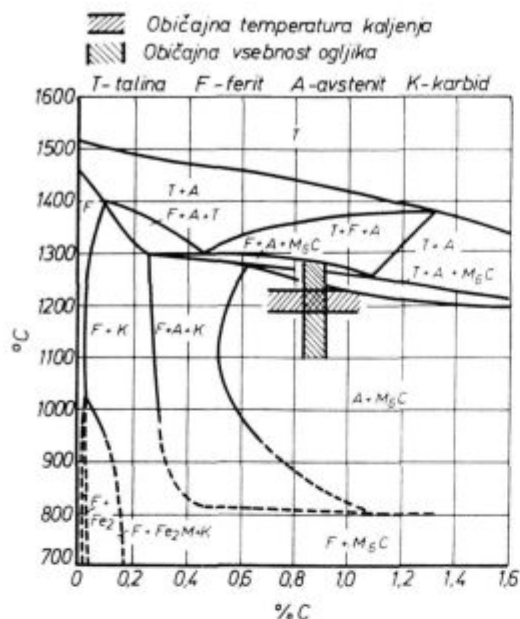
Brez dvoma lahko trdimo, da je brzorezno jeklo 6-5-2 danes najpomembnejše, ker ima bistveno finije karbide od visoko volframovih brzoreznic jekel in s tem zagotovljeno najboljšo žilavost. Brzorezna jekla z 18 % volframa se uporabljajo le še zaradi manjše občutljivosti pri kaljenju, kar pa ob modernih napravah za toplotno obdelavo skoraj ni več pomembna prednost.

Brzorezna jekla imajo vrsto značilnih lastnosti, po katerih se bistveno razlikujejo od vseh drugih vrst orodnih in konstrukcijskih jekel, le z orodnimi jekli ledeburitnega tipa na bazi visokega



Slika 20
Diagram stanja⁴ Fe-Cr-W-C za 4 % Cr in 18 % W

Fig. 20
Fe-Cr-W-C phase diagram⁴ for 4 % Cr and 18 % W



Slika 21
 Diagram stanja za jeklo 6-5-2
 Fig. 21
 Phase diagram for 6-5-2 steel

ogljika in visokega kroma imajo nekaj podobnosti. Mikrostruktura je že v litem stanju izrazito heterogena¹⁴. Primarna zrna so obdana s sklenjeno mrežo evtektika, tipične ledeburitne oblike, ki ima visoko trdoto in je zelo krhek.^{14,15}

Heterogenost strukture pojasnjujeta diagrama stanja na slikah 20 in 21.

Na sliki 21 je vrisano tudi območje običajne temperature kaljenja.

Pri brzoreznih jeklih imamo opravka z naslednjimi tipi karbidov:

Primarni karbidi	Sekundarni karbidi
MC (VC/V ₄ C ₃)	MC
M ₂ C ([W, Mo] ₂ C)	M ₆ C
M ₆ C (Fe ₁ [W, Mo] ₂ C)	M ₂₃ C ₆ (Cr ₂₃ C ₆)

Različni avtorji navajajo podrobneje še več različnih variant karbidov. Pri jeklu tipa 2-9-1 so prisotni tudi karbidi M₂C igličaste oblike.

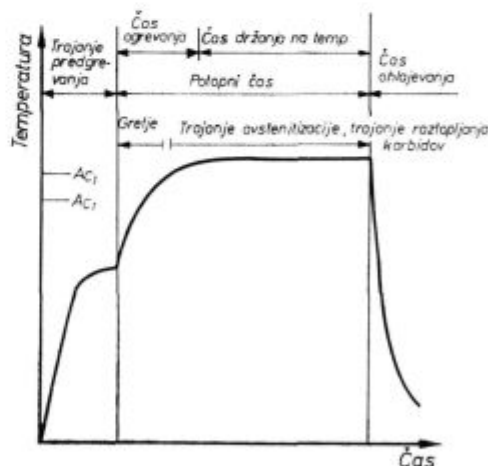
Ce upoštevamo sestavo in lastnosti karbidov v jeklu 6-5-2, lahko karbide razdelimo v dve skupini:

- nizko legirani karbidi M₆C in M₂₃C₆ z okrog 50 % legirnih elementov,
- visoko legirani karbidi M₂C in MC z okrog 80% legirnih elementov.

Značilne profile koncentracij najpomembnejših elementov v kemijski sestavi brzoreznih jekel ugotavljamo z mikrosondo, pri čemer se poslužujemo elektronskih topografskih posnetkov, specifičnih X — posnetkov, profilov koncentracij posameznih elementov z linijsko analizo in točkovnih analiz za kvantitativno ugotavljanje koncentracij¹³.

Iz dosedanjih opisov mikrostrukture^{14,15} in njenih značilnosti je razumljivo, da prav pri tovrstnih jeklih najbolj velja, da s kovanjem ali valjanjem ne dajemo tem jeklom samo potrebne oblike, ampak moramo zagotoviti tudi ali pa celo predvsem čimboljše stopnjo enakomernosti strukture, od katere so bistveno odvisne uporabne lastnosti orodij. Mreža ledeburitnega evtektika je krhka, kar so nazorno pokazale številne preiskave prelomov z rastrskim elektronskim mikroskopom¹².

Pomen karbidne mreže, trakavosti, oz. različnih stopenj neenakomernosti karbidnih izcej je pri brzoreznih jeklih dobro poznan in zato prav temu posvečamo pri metalografski kontroli kakovosti največ pozornosti. Tehnologija plastične predelave v vročem ima pri tem zelo velik vpliv, vendar nastopajo velike razlike že po strjevanju jekla v odvisnosti od tehnologije izdelave jekla in litja, od formatov ingota in drugih jeklarskih tehnoloških pogojev. V konvencionalni proizvodnji brzoreznih jekel so običajno največji formati ingotov okrog 500 do 700 kg in le v redkih primerih dosega in presegajo težo 1 tone. To predstavlja veliko omejitev pri možnostih izdelave paličastega jekla večjih dimenzij, če hočemo zagotoviti potrebno stopnjo predelave za doseganje enakomernosti. Zato so največja orodja, kot so npr. odvalna frezala modulov 20 in celo več, dolga leta izdelovali le iz vsestransko kovanih pogač brzoreznega jekla, katere so bili sposobni dobavljati le najbolj specializirani proizvajalci brzoreznih jekel. Na področju kovanja največjih dimenzij brzoreznega jekla je odprl povsem nove možnosti postopek električnega pretaljevanja pod žlindro z možnostmi kontroliranega in usmerjenega strjevanja. Na ta način lahko danes železarna Ravne s svojo tehnologijo proizvaja brzorezno jeklo v paličasti izvedbi do



Slika 22
 Shema temperaturno časovnega režima pri kaljenju brzoreznega jekla v solnih kopelih z zvezo med potopnim časom, časom ogrevanja in časom držanja na temperaturi avstenilizacije

Fig. 22
 Sheet of temperature-time conditions in hardening high-speed steel in salt baths related to the dipping time, heating time, and holding time on the austenitisation temperature

premera 350 mm \varnothing in do 3,5 tone teže. Prav zaradi teh možnosti teži železarna Ravne k specializaciji za kovanje največjih dimenzij brzoreznih jekel, ker prav za to področje ni mnogo proizvajalcev, ki bi imeli take ustrezne možnosti.

Številne domače raziskave so pokazale, da je za kakovost in uporabne lastnosti mnogo bolj kot enakomernost razporeditve karbidov pomembna velikost karbidnih zrn.

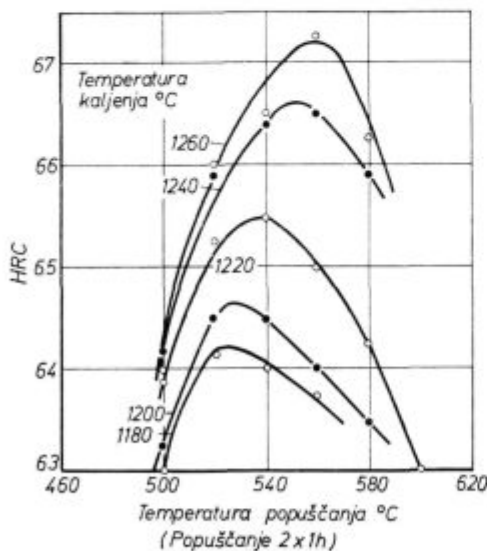
Toplotna obdelava s pregledom značilnih mikrostruktur je prikazana podrobno v katalogu³ železarne Ravne z vsemi potrebnimi napotki. Na tem mestu naj omenimo le, da je čas avstenitizacije pri kaljenju brzoreznih jekel bistveno krajši kot pri drugih orodnih jeklih, zato ga moramo tudi natančno predpisovati in kontrolirati kot tako imenovani potopni čas (slika 22).

Če je temperatura prenizka ali čas prekratek, ostane preveč neraztopljenih karbidov v avstenitu; če je čas predolg, začne naraščati zrno toliko hitreje, kolikor je višja temperatura. Če temperatura prekorači zgornjo mejo, pride do nevarnosti nataljevanja ledeburitnega eutektika z izredno škodljivimi posledicami.

Sliki 23 in 24 kažeta vpliv temperature kaljenja in vpliv ponavljajočega popuščanja na trdoto brzoreznega jekla.

Čim višja je temperatura kaljenja, toliko bolj je izražen poznani efekt sekundarne trdote in maksimum je pomaknjen toliko bolj k višji trdoti in k višji temperaturi popuščanja. Ponavljanje popuščanja pomika vrh sekundarne trdote k nižji temperaturi popuščanja.

Značilnosti kaljenja brzoreznih jekel so vezane na značilnosti strukturnih premen, podanih s TTT diagrami.

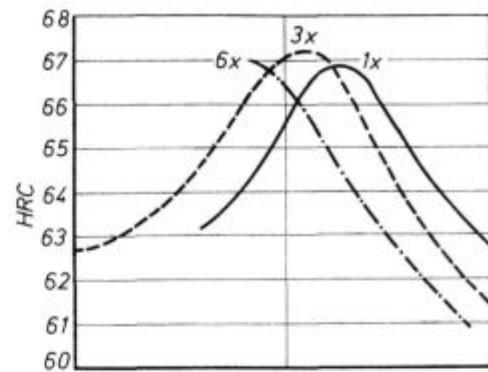


Slika 23

Vpliv temperature kaljenja na sekundarno trdoto in popuščno obstojnost brzoreznega jekla

Fig. 23

Influence of the hardening temperature on the secondary hardness and tempering stability of high-speed steel

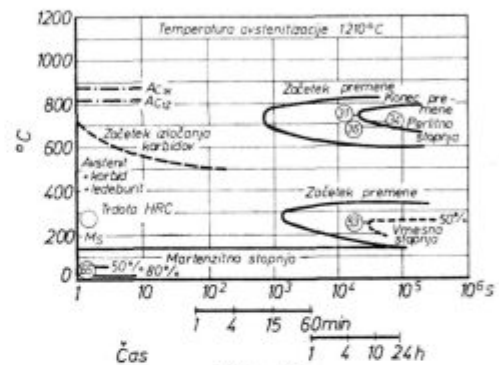


Slika 24

Vpliv ponavljanja popuščanja na trdoto brzoreznega jekla (shema)

Fig. 24

Influence of repeated tempering on the hardness of high-speed steel (scheme)

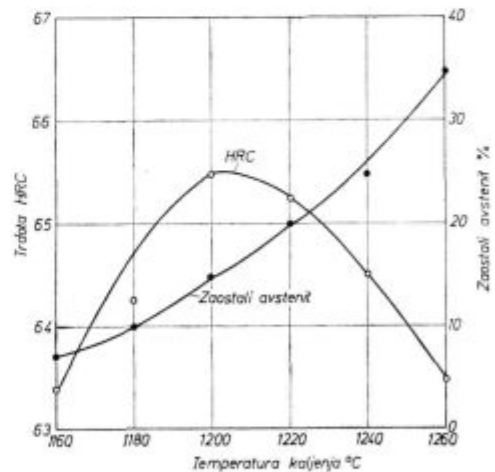


Slika 25

Izotermalni TTT diagram brzoreznega jekla 6-5-2

Fig. 25

Isothermal TTT diagram for 6-5-2 high-speed steel



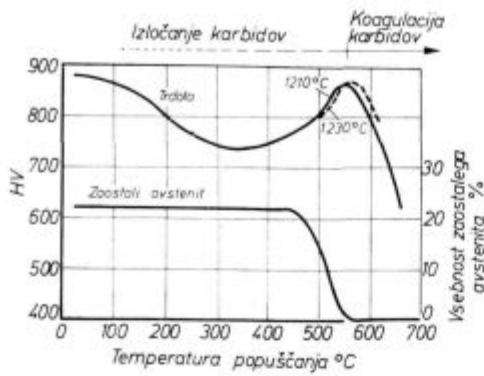
Slika 26

Vpliv temperature kaljenja na trdoto in vsebnost zaostalega avstenita

Fig. 26

Influence of hardening temperature on the hardness and content of retained austenite

Trdota najprej s temperaturo kaljenja narašča na osnovi naraščajočega raztapljanja ogljika in legirnih elementov, po prekoračenju kalilnega maksimuma pa spet pada na osnovi povečanega

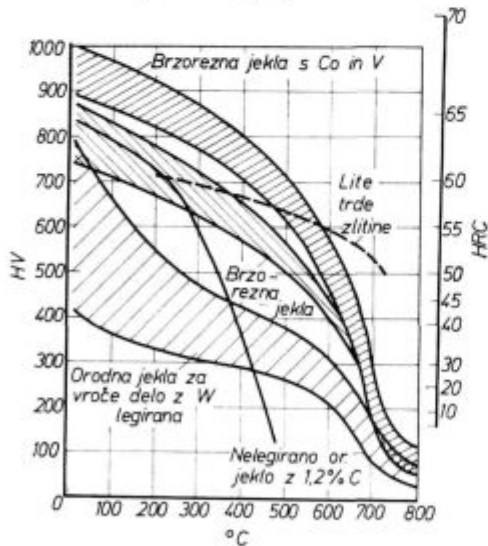


Slika 27
Popuščanje brzoreznega jekla
Fig. 27
Tempering of high-speed steel

deleža mehkejšega zaostalega avstenita. Po kaljenju je struktura brzoreznega jekla naslednja: evtektični karbidi, martenzit, zaostali avstenit in karbidi na mejah zrn. Proces popuščenja ponazarja značilen diagram popuščenja (slika 27).

S poviševanjem temperature popuščenja se trdota najprej znižuje zaradi razpada martenzita. Pri popuščenju okrog 400 °C se krivulja dvigne zaradi znanega efekta sekundarne trdote, ki ga povzroča izločanje finih karbidov in razpad zaostalega avstenita, pri čemer se tvori sekundarni martenzit. V območju 540—600 °C v odvisnosti od vrste jekla začne trdota zopet padati zaradi koagulacije izločenih karbidov. Po prvem popuščenju nastane iz zaostalega avstenita martenzit, katerega je treba tudi popuščiti in zato je najmanj dvakratno popuščenje pri brzoreznih jeklih obvezno in nujno potrebno.

Poleg popuščne obstojnosti, ki je značilna lastnost brzoreznih jekel in je podana v vsakem kata-



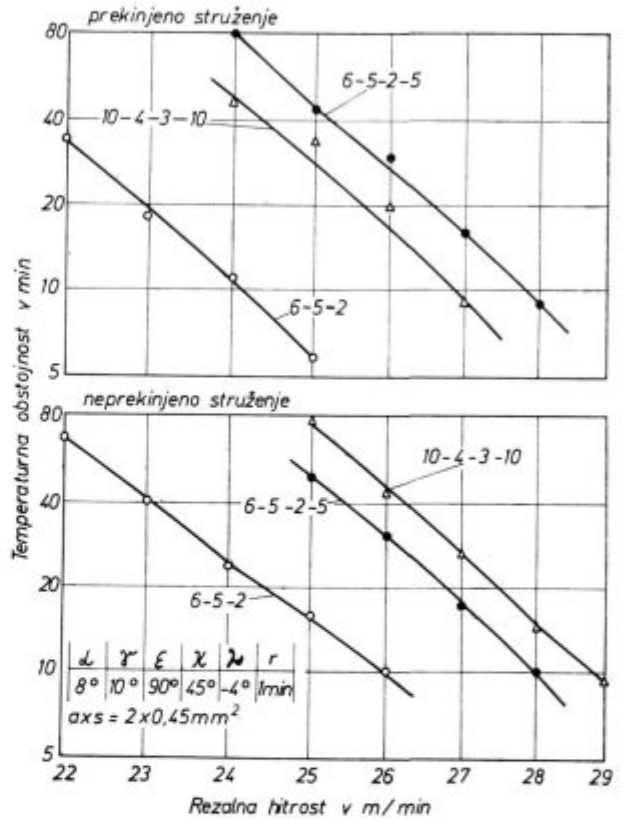
Slika 28
Primerjava trdote v vročem za brzorezna jekla in druge zlitine
Fig. 28
Comparison of hot hardness of high-speed steel and other alloys

logu z diagrami popuščenja, je zelo pomembna tudi trdota v vročem, ki omogoča uporabnost brzoreznih jekel pri povišanih temperaturah.

Brzorezna jekla, legirana s kobaltom in vanadijem, imajo znatno višjo trdoto v vročem.

Odpornost proti obrabi je lastnost brzoreznih jekel, ki jo je najtežje eksperimentalno obvladati, zato so najbolj priporočljivi praktični poizkusi.

Obdelovalnost brzoreznih jekel v mehko žarjenem stanju je odvisna od strukture, ki odloča o trdnosti v žarjenem stanju in predvsem od deleža karbidov v strukturi. Posebno z vanadijevimi



Slika 29
Premice rezalne obstojnosti za tri vrste brzoreznih jekel pri struženju jekla C. 1731 poboljšane na 800 N/mm² z neprekinjenim in prekinjenim struženjem
Fig. 29

Lines of cutting ability for three types of high-speed steel in turning C. 1731 steel hardened and tempered to 800 N/mm² with continuous and discontinuous turning

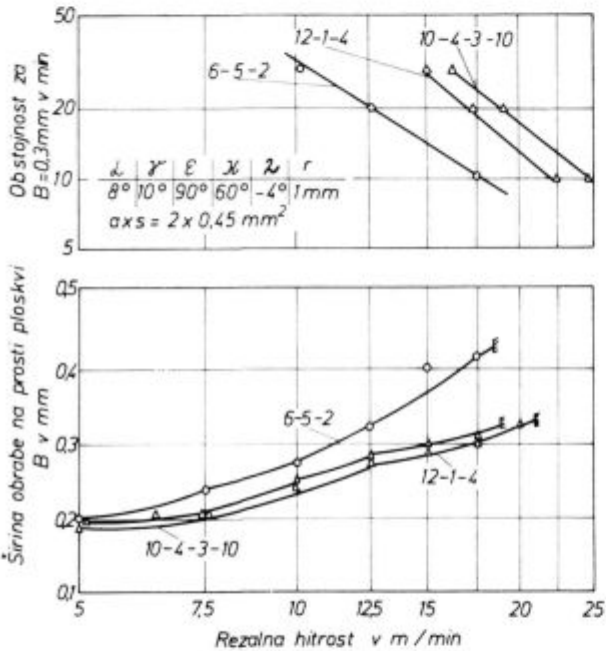
brzoreznimi jekli je precej težav zaradi visoke trdote vanadijevih karbidov v primerjavi s trdoto normalnih karbidov v brzoreznih jeklih. Dodajanje žvepla za boljšo obdelovalnost je sicer uvedeno, vendar se ni v praksi posebno uveljavilo.

O žilavosti brzoreznih jekel je bilo objavljenih toliko domačih del⁴, da te izredno pomembne lastnosti na tem mestu ne bomo obravnavali.

Rezalna sposobnost je prav gotovo za brzorezna jekla najvažnejša lastnost. Žal so izkušnje pri zelo obsežnih raziskavah pokazale, da te ni mogoče določiti z enostavnim poizkusom in zato tudi ni moč pričakovati neposredne zveze med rezalno kapa-

citeto in legirnimi elementi ter osnovnimi lastnostmi, kot npr. s trdoto v vročem, odpornostjo proti obrabi in žilavostjo. Katera od teh lastnosti je odločilnega pomena, je odvisno od vsakokratnega obdelovalnega primera.

Slika 29 kaže za tri različne vrste brzoreznih jekel značilne premice rezalne obstojnosti pri prekinjenem in neprekinjenem struženju ogljikovega jekla za poboljšanje C.1731, poboljšanega na 800 N/mm². Očiten znak obrabe pri struženju nelegiranih in malo legiranih cementiranih in poboljšanih jekel je obraba zaradi izdolbenja. Obraba na prosti ploskvi komaj doseže vrednosti nad 0,15 mm in ne narašča bistveno s hitrostjo rezanja — zato ne pride v poštev kot kriterij za oceno rezalne sposobnosti brzoreznih jekel. Drugače je pri rezanju avstenitnih jekel.



Slika 30

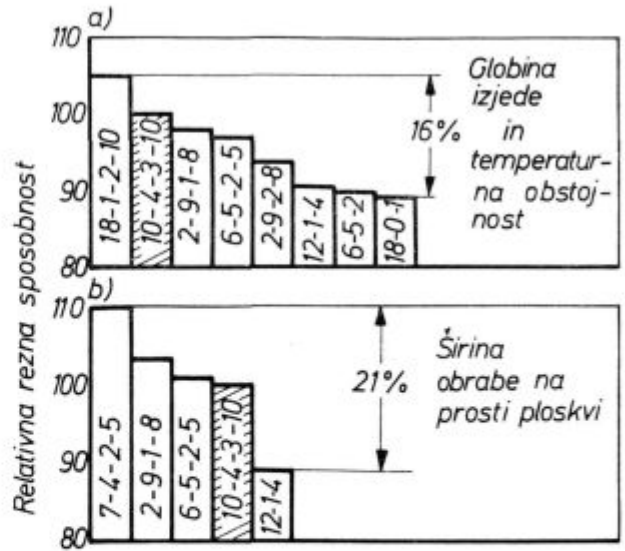
Obraba na prosti ploskvi, ki narašča s hitrostjo rezanja in doseže vrednosti do 0,4 mm pri struženju jekla C. 4574 (Prokron 12 special)

Fig. 30

The wear on free surface which is increased with the increased cutting speed and reaches the value 0,4 mm in turning C. 4574 steel (Prokron 12 special)

V literaturi je ogromno število raziskav za ugotavljanje rezne sposobnosti brzoreznih jekel, katerih ugotovitve pa so vedno vezane na določen primer obdelovalnih pogojev. Zelo veliko število možnih vplivov otežkoča medsebojne primerjave, zato moramo priznati, da danes nimamo neke kompleksne predstave v splošno veljavni obliki, ki bi določala obdelovalne karakteristike za različne pare materiala za orodje in obdelovanec.

Slika 31 kaže primerjavo relativne rezne sposobnosti različnih brzoreznih jekel pri struženju nelegiranega poboljšanega jekla s trdnostjo 760 N/mm² (a) in Cr-Ni-Mo jekla za poboljšanje



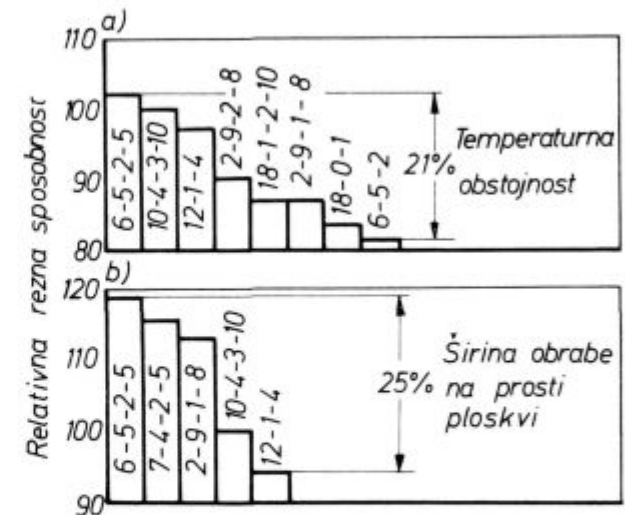
Slika 31

Primerjava rezne sposobnosti pri struženju nelegiranega (a) in Cr-Ni-Mo — jekla (b) z neprekinjenim rezom

Fig. 31

Comparison of cutting ability in turning unalloyed (a), and Cr-Ni-Mo steel (b) with continuous cutting

s trdnostjo 1500 N/mm² (b) z neprekinjenim rezom. Takoj vidimo, da je vrstni red brzoreznih jekel po sposobnosti za rezanje pri mehkejšem jeklu drugačen kot pri tršem. Za obdelavo trdih jekel imajo prednost bolj žilave vrste brzoreznega jekla kot pri obdelavi mehkejših jekel. Dalje je zanimivo, da je razlika rezalne kapacitete od najboljšega do najslabšega brzoreznega jekla samo 16 ali 21 %. Naslednja slika 32 kaže podobno primerjavo pri struženju s prekinjenim rezom. Ugotovljene so razlike rezalne sposobnosti do 25 %.

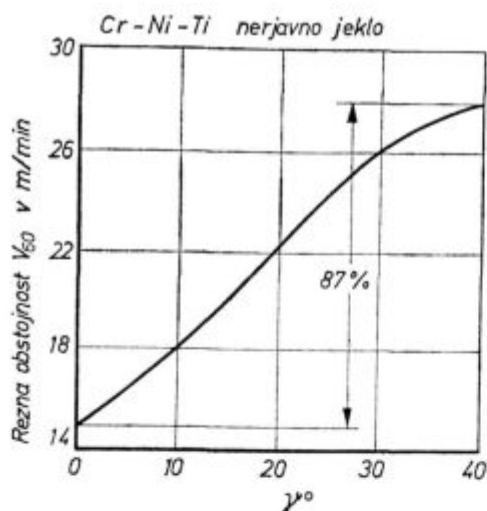


Slika 32

Primerjava rezne sposobnosti pri struženju nelegiranega (a) in Cr-Ni-Mo — jekla (b) s prekinjenim rezom

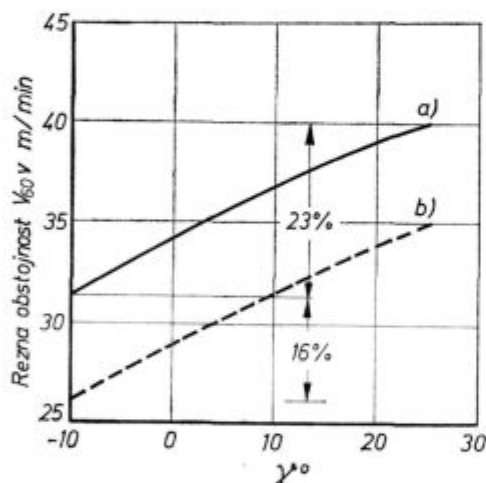
Fig. 32

Comparison of cutting ability in turning unalloyed (a), and Cr-Ni-Mo steel (b) with discontinuous cutting



Slika 33
Vpliv cepilnega kota na rezno sposobnost nožev iz brzoreznega jekla 10-4-3-10 pri struženju nerjavnega Cr-Ni-Ti jekla

Fig. 33
Influence of true rake angle on the cutting ability of tool made of high-speed 10-4-3-10 steel in turning stainless Cr-Ni-Ti steel



Slika 34
Vpliv cepilnega kota na rezno sposobnost nožev iz brzoreznega jekla 10-4-3-10 (a) oziroma 6-5-2 (b) pri struženju nelegiranega jekla

Fig. 34
Influence of the true rake angle on the cutting ability of tool made of high-speed 10-4-3-10 (a) and 6-5-2 steel (b) in turning unalloyed steel

V primerjavi z vplivi izbire brzoreznih jekel na rezno sposobnost so vplivi geometrije rezila precej večji (sliki 33 in 34). Slika 33 kaže vpliv cepilnega kota na rezno sposobnost pri struženju avstenitnega Cr-Ni-Ti jekla s strugarskimi noži iz brzoreznega jekla 10-4-3-10, slika 34 pa kaže vpliv cepilnega kota na rezno sposobnost pri struženju nelegiranega jekla za poboljšanje s strugarskimi noži iz brzoreznega jekla 10-4-3-10 (krivulja a) in 6-5-2 (krivulja b). Iz slike 33 vidimo, da sprememba cepilnega kota od 0 do 40° spremeni rezno sposobnost kar za 87 %, kar pomeni, da moramo biti

v mejah možnosti obdelovalnega postopka posebno pozorni na geometrijo rezila. Teh nekaj primerov zadovoljivo kaže, da nobeno brzorezno jeklo ne prinaša vrhunskih rezultatov rezne sposobnosti v katerikoli izbranih pogojih obdelovalnega postopka. Včasih je s tega stališča pomembnejša žilavost, drugič trdota v vročem in tretjič odpornost proti obrabi glede na značilnosti obremenitev orodja. Za zadovoljevanje teh zahtev izhajamo torej tudi z manjšim številom različnih vrst brzoreznih jekel. Pri izbiri vrste brzoreznega jekla in določitvi pogojev toplotne obdelave je potrebno upoštevati delovne pogoje orodja, obdelovalni postopek, pričakovano vzdržljivost orodja in tudi obdelovalnost brzoreznega jekla pri izdelavi orodja. Zaradi teh zelo različnih izhodišč pri izbiri jekla ni niti smiselno niti mogoče dati neke obvezujoče tabelarične primerjave brzoreznih jekel in orodij. Tudi vsakodnevne izkušnje potrjujejo to ugotovitev, saj uspešno izdelujejo različna orodja iz različnih vrst brzoreznih jekel. Na osnovi opazovanj in evidenc obnašanja orodij v uporabi lahko postopoma uvajamo primerne spremembe in izboljšave.

S temi izhodišči je na osnovi zbranih izkušenj izdelan predlog jugoslovanske tipizacije brzoreznih jekel in napotki za izbiro³ s pomočjo relativnega rangiranja posameznih lastnosti in njihovih kombinacij. Jeklo 6-5-2 je najbolj žilavo, jeklo 10-4-3-10 res odlikuje univerzalna uporabnost in jeklo 6-5-2-5 ima kombinirane lastnosti, kakršne so npr. odločilne za odvalna in druga frezala, kar je vse tudi v praksi nedvoumno potrjeno.

Najnovejša stopnja razvoja je izdelava brzoreznega jekla po postopku prahaste metalurgije. Tako izdelana jekla odlikuje skoraj idealna razporeditev karbidov, kar ima dober vpliv tudi na številne druge lastnosti. Kljub temu, da že nekaj let ta jekla uporabljajo, še vedno nimamo prave objektivne ocene, saj jih nekateri hvalijo, drugi pa trdijo, da pričakovanja niso izpolnjena.

ZAKLJUČKI

Iz opisanega smo lahko kljub omejenemu obsegu razbrali, da je v razvoju orodnih jekel za delo v hladnem in brzoreznih jekel veliko novosti in da je tehnični in tudi ekonomsko-tehnološki napredek očiten. Skoraj bi lahko trdili, da še bolj velja to za področje orodnih jekel za delo v vročem, česar pa skoraj nismo obravnavali. Za kompleksnejši pregled razvoja na področju orodnih jekel bi morali obravnavati še številne orodne materiale za specifična področja uporabe, za kombinirano uporabo in tudi mnoga nova orodna jekla v domačem proizvodnem programu. Razumljivo je, da tako podrobnejše opisovanje na tem mestu ni mogoče, zato naj samo omenimo nekaj dosežkov sodelovanja domače metalurške in predelovalne industrije na področju razvoja orodnih materialov v zadnjih letih:

- valji za hladno valjanje,
- sendzimir valji,
- nova orodna jekla za strojne nože,
- nova orodna jekla za delo v hladnem,
- nova orodna jekla za delo v vročem,
- razvoj orodnih jekel za hladno vtiskovanje,
- razvoj tipiziranega kompleta orodnih materialov za industrijo vijačne robe.

Tudi nadaljnji razvoj mora biti usmerjen k zmanjšanju in izboljšavi asortimenta orodnih jekel, k tipizaciji in zagotavljanju kakovosti ter k razvoju novih materialov za specifična področja.

Literatura:

1. Rodič J.: Strojniški vestnik XIII (1967) S. 239/251
2. Zelezarna Ravne: Katalog NAŠI PROIZVODI I., II.
3. Zelezarna Ravne: Brzorezni čelici, Separat 124
4. Zelezarna Ravne: Legirani alatni čelici za rad u hladnom stanju, Separat 122
5. Zelezarna Ravne: Alatni čelici za rad u vrućem stanju, Separat 123
6. Werkstoffkunde der gebräuchlichen Stähle Verlag Stahleisen, 1977, Teil 2, str. 247—265
7. Weigand M.: TEW — Techn. Ber. 3., (1977), S. 67/80
8. Kuo K.: J. Iron Steel Inst. 181, (1955), S. 128/34
9. Horn E., u. H. Brandis: DEW Techn. Ber. 11, (1971), S. 147/54
10. Weigand H. — H., u. E. Haberling: DEW Techn. Ber. 11, (1971), S. 205/15
11. Rodič J.: Zelezarski zbornik 10, št. 1, (1976), str. 47—50
12. Rodič J.: Zelezarski zbornik 10, št. 3, (1976), str. 125—144
13. Rodič J., F. Vodopivec, B. Ralić: Zelezarski zbornik 10, št. 3, (1976), str. 145—156
14. Rodič A., J. Rodič: Zelezarski zbornik 1, št. 3, (1976), str. 177—187; 2. št. 1, (1968), str. 1—20; 2. št. 3, (1968), str. 165—184
15. Rodič J., A. Rodič: Zelezarski zbornik 11, št. 4, (1977), str. 169—181

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Übersicht über den heutigen Zustand der Entwicklung auf dem Gebiet der Werkzeugstähle vor allem derjenigen für die Kaltarbeit und der Schnelldrehstähle ist gegeben.

Die Eigenheiten des Mikrogefüges, bestehend aus der Matrix und der Karbide werden behandelt. Die Grundeigen-

schaften der Werkzeugstähle werden besonders kritisch behandelt. Besondere Aufmerksamkeit ist der chemischen Zusammensetzung und der Problematik einer zu grossen Zahl der verschiedenen Werkzeugstähle gewidmet, welche einen wissenschaftlich begründeten technischökonomischen Zutritt zu der Entwicklung der Typisierung und der Standardisierung erfordert.

SUMMARY

A review of present state and future development of tool steel is given with a special emphasis on steel for cold working and on high-speed steel.

Characteristics of the microstructure consisting of the matrix and carbides are discussed. Basic properties of tool

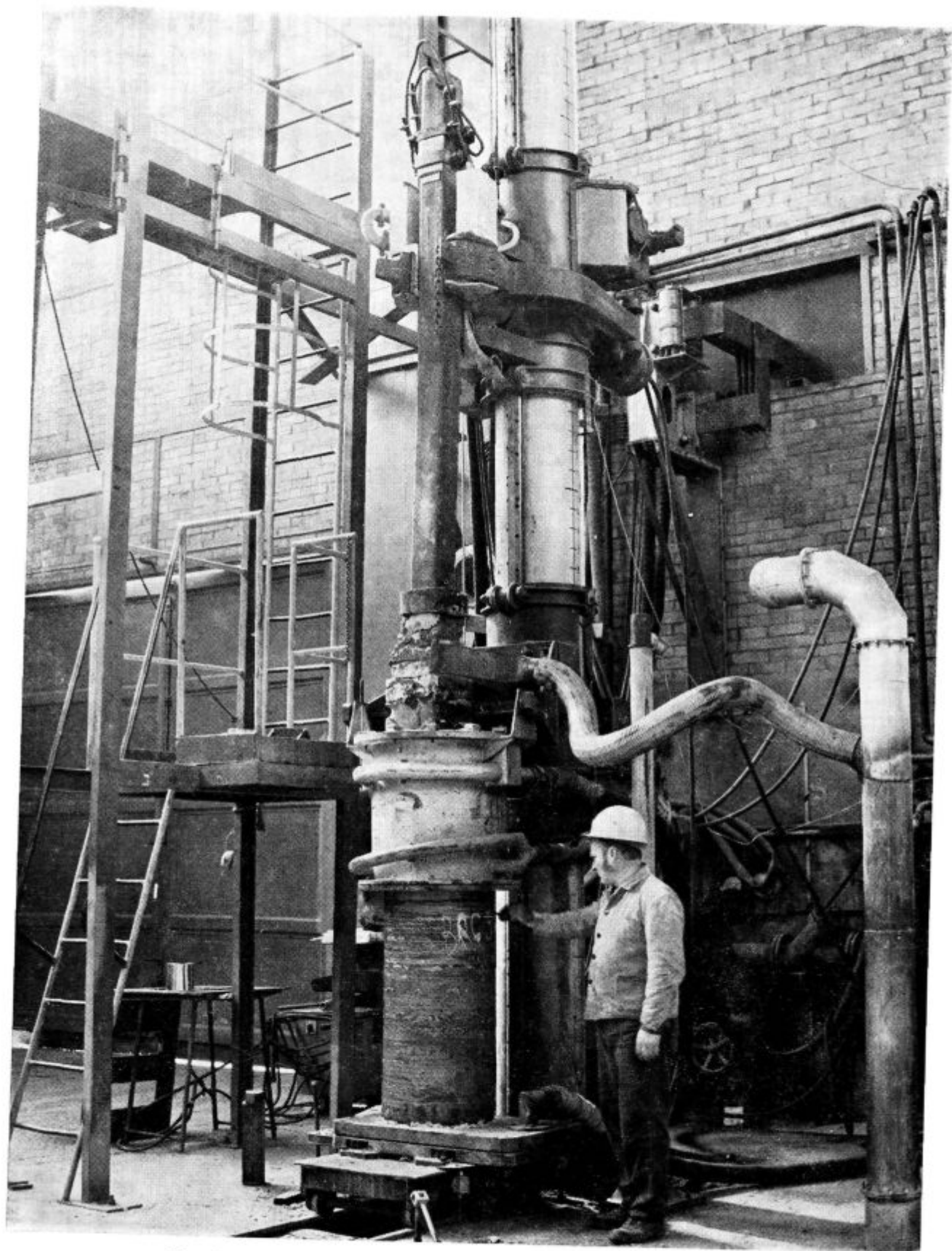
steel are described and critically considered. A special emphasis was given to the influence of the chemical composition and the problematics of a too great variety of tool steel which demands a scientifically based technical and economic approach to the development of selection and standardizing tool steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дан обзор современного состояния и развития в области инструментальных сталей главным образом марок, которые употребляются для переработки в холодном состоянии, а также обзор быстрорежущих сталей.

Рассмотрены характеристики микроструктуры, состоящей из основной маточной структуры и карбидов. Критически рассмотре-

ны основные свойства инструментальных сталей. Особенно затронуты влияния легирующих элементов и вопрос слишком многочисленного количества различных инструментальных сталей, что необходимо требует всесторонней разработки что касается типизации и стандартизации этих сталей на научно-экономической базе.



Pretaljevanje brzoreznega jekla v EPŽ ingote \varnothing 500 mm v Zelezarni Ravne

Računalniško upravljanje električne moči obločnih peči v Železarni Ravne*

UDK: 621.365.2 : 681.142
ASM/SLA: D5, A5f, U7c, U4k

Janez Bratina

Računalniško upravljanje moči elektroobločnih peči obsega tri aplikacije, katerih težišče so elektroenergetski pogoji same obločne peči, kakor tudi razmere, ki jih obločne peči ustvarjajo kot posebni, oz. specifični porabnik električne energije v napajalnem elektroenergetskem sistemu. Ločimo računalniško:

- vodenje taljenja posamezne obločne peči,
- vodenje konične obtežbe obločnih peči,
- vodenje samodejnega in formacijskega sistema.

Z računalniškim upravljanjem moči pričakujemo, da bomo dosegli:

a) eksaktno in optimalno vodenje taljenja obločne peči, kar mora imeti za posledico znižanje specifične porabe električne energije in skrajšanje časa taljenja. Pričakujemo večjo vzdržnost obzidave zidu ter oboka in manjšo porabo elektrod;

b) kontrolo in vodenje konične obtežbe obločnih peči, oziroma integrirane železarne, kar daje pri enaki porabi električne energije nižjo ceno za kWh;

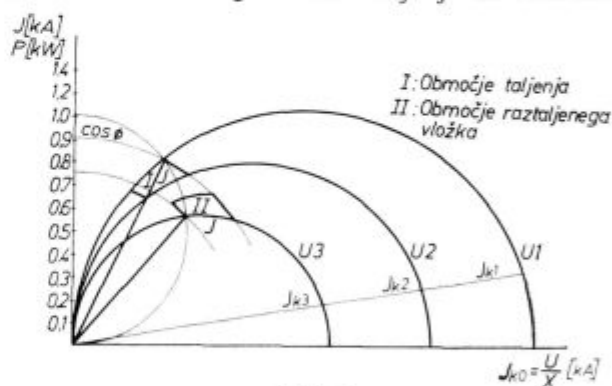
c) nadzor nad dogodki, ki karakterizirajo tehnološki proces in ki se samodejno memorirajo, kar omogoča spoznanje zakonitosti procesov in doseganje enakomernosti kvalitete proizvodnje.

1. ELEKTROTEHNIČNE KARAKTERISTIKE AGREGATOV

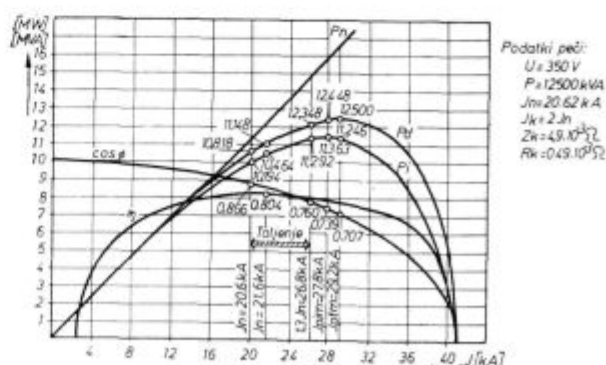
Sl. 1 prikazuje tipični krožni diagram obločne peči, kjer sta razvidni območje taljenja (visoke napetosti, veliki tokovi) in območje raztaljenega vložka (nizke napetosti, manjši tokovi). Za naša razmišljanja o elektroenergetskih odnosih obločne peči je primernejši njen obratovalni diagram, kakršnega prikazuje sl. 2 za 40 t EOP v železarni Ravne za njeno najvišjo napetostno stopnjo. Karakteristično za obločno peč je, da delovna moč, ki jo dovedemo v peč (P_1), oziroma delovna moč, izmerjena na transformatorju, (P_d) ni sorazmerna s tokom in da ima svoj izrazit maksimum, ki na-

stopa vedno pri določenem faznem faktorju. Poznavanje optimalnih obratovalnih režimov obločne peči v obdobju taljenja ima svoj praktični pomen, saj so v času taljenja angažirane velike moči in v tem obdobju tudi ni tehnoloških omejitev.

Analiza obratovalnih režimov v primeru najvišje napetostne stopnje za konkretno peč nam kaže, da obratovanje z maksimalno delovno močjo na transformatorju, oziroma na loku skorajda ni dosegljivo, ker leže ta področja v območju prevelikih preobremenitev (prevelikih tokov elektrod). Istočasno se da ugotoviti, da obratovanje z maksimalnim izkoristkom leži nad obratovanjem z nazivnim tokom, vendar še v območju, ki ga omogoča preobremenljivost transformatorja. Vidimo tudi, da leži krivulja izkoristkov v tem območju položno, zaradi tega v času taljenja ni bistveno,



Slika 1
Krožni diagram obločne peči
Fig. 1
Circle diagram of the arc furnace



Slika 2
Obratovalni diagram 40 t obločne peči
Fig. 2
Operation diagram of a 40 t arc furnace

Janez Bratina, dipl. inž. elektrotehnike je ravnatelj TOZD elektrotehniške storitve v železarni Ravne

* Referat na posvetovanju jugoslovanskih jeklarjev o avtomatizaciji 6. oktobra 1978 v Portorožu

kako natančno zadenemo njen maksimum, bolj važno je, da ne prekoračimo toka, pri katerem nastopi maksimalna delovna moč loka.

Najenostavnejša kontrola teh obratovalnih mest je s pomočjo faznega faktorja ($\cos \phi$), ki je za vsako obratovalno mesto karakterističen:

— Fazni faktor maksimalne delovni moči na transformatorju:

$$\cos \phi = 0,71$$

— Fazni faktor maksimalne delovni moči na loku:

$$\cos \phi = 0,73-0,74$$

— Fazni faktor pri maksimalnem izkoristku peči:

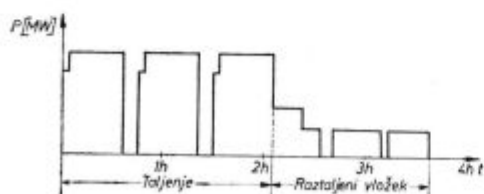
$$\cos \phi = 0,80-0,84$$

— Fazni faktor pri maksimalnem erozijskem indeksu:

$$\cos \phi = 0,82$$

Meritve faznega faktorja s pomočjo kazalnih inštrumentov so predvsem v času taljenja težavne, ker so razmere nestacionarne, bolj realna so povprečja razmerij, ki jih dobimo iz meritev delovne in jalove energije. To je bil tudi razlog za uvedbo takih meritev pri obločnih pečeh ter za avtomatsko izračunavanje faznega faktorja za vsako 15-minutno obdobje. Tako ne dobimo le nadzora nad režimom taljenja, temveč lahko kontroliramo tudi, ali je v obdobju raztaljenega vložka peč vodena pravilno — namreč zunaj območja maksimalnega erozijskega indeksa. Raztaljen vložek zahteva takšno razmerje med relativno večjimi tokovi in manjšimi transformatorskimi napetostmi, ki dajo fazni faktor okrog $\cos \phi = 0,71$.

Idealiziran energetski obratovalni diagram obločne peči kaže sl. 3. Razvidne so faze taljenja posameznih košar, oziroma ponovnega šaržiranja peči, njih začetki taljenja z zmanjšano močjo, kakor tudi iztek moči ob koncu obratovalnega ciklusa. Značilen energetski parameter je specifična poraba električne energije, ki se giblje odvisno od velikosti peči in asortimenta proizvodnje od 550 do 750 kWh/t. Pri tem odpade na raztalitev 400 do 450 kWh/t. Za obločno peč je tudi karakterističen direktni odnos med močjo transformatorja (MVA) in njeno urno proizvodnjo (t/h), ki nam jo označuje faktor produktivnosti; giblje se v razponu 0,50 do 0,75.



Slika 3

Energetski obratovalni diagram obločne peči

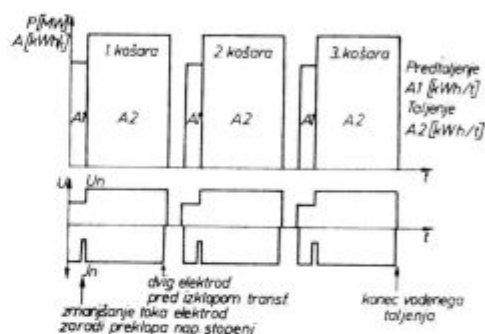
Fig. 3

Energy operation diagram of the arc furnace

Čas taljenja traja od 80 do 120 minut, razen pri modernih UHP pečeh, kjer taljenje traja tudi pod 60 minut.

2. VODENJE TALJENJA OBLOČNE PEČI

Taljenje posamezne košare ima predvsem svoj uvodni del in svoj glavni del. Uvodni del taljenja predstavlja začetek taljenja ter čas, ki je potreben, da elektrode prodre tako globoko v vložek, da postane električni lok zakrit in nenevaren za obzidavo peči. Ta čas lahko ugotovljamo z minutami ali pa tudi s porabo električne energije na tono vložka (kWh/t). Značilno za uvodni del taljenja je obratovanje z zmanjšano napetostjo ter s polnim tokom. Po absorbirani energiji A_1 (kWh/t) — glej sl. 4 — lahko ugotovimo, da so dani pogoji



Slika 4
Vodenje taljenja
Fig. 4
Control of smelting

za najgospodarnejše taljenje, za katerega smo rekli, da za manjše in srednje peči tudi obratovanje z maksimalno možno močjo.

Potrebno je torej prekloniti napetost na najvišjo vrednost. Preklop opravimo pri transformatorju, kjer je možen preklop stopenj pod obremenitvijo, tako da najprej postavimo tokovni regulator na minimalno vrednost; ko se tok elektrod resnično zmanjša, preklonimo napetostne stopnje. Po izvršitvi napetostnega preklopa dvignemo tok ponovno na maksimalno vrednost. Sedaj talimo s polno, oz. maksimalno močjo, ki jo dopušča elektrodna regulacija in tudi preobremenljivost transformatorja. Za preklop stopenj potrebno razbremenitev transformatorja dosežemo lahko tudi tako, da enostavno dvignemo elektrode.

Trajanje takega taljenja je odvisno predvsem od teže vložka, kakor tudi od njegove kompaktnosti. Potem, ko je vložek absorbiral določeno količino energije A_2 (kWh/t), lahko smatramo, da je vložek raztaljen, oz. da je toliko raztaljen, da električni lok ni več zakrit z vložkom. V tem trenutku bi bilo potrebno zmanjšati moč taljenja, vendar praksa kaže, da je smotrnejše taljenje prekiniti, izvršiti šaržiranje naslednje košare ter tako nadaljevati fazo taljenja z najkrajšim postopkom. Trenutek prekinitve taljenja posamezne košare mora

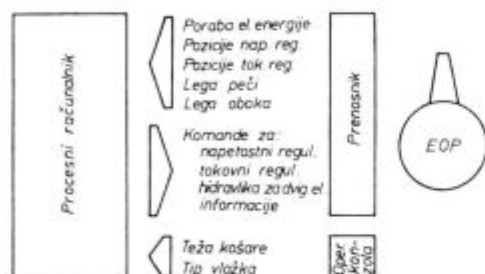
biti zanesljivo definiran; eksperimentalno ga je treba določiti za posamezno peč in za tip vložka. Kot že omenjeno, je konec taljenja definiran s specifično porabljenimi energijo peči A_2 (kWh/t).

Za vodenje taljenja posamezne obločne peči potrebuje procesni računalnik od obločne peči tele on-line informacije:

- porabo električne energije,
- pozicije napetostnega regulatorja,
- pozicije tokovnega regulatorja,
- leglo peči — za začetek taljenja šarže,
- lego oboka — za začetek taljenja košare

ter tole informacijo, posredovano s pomočjo operacijske konzole:

- težo posamezne košare,
- tip vložka.



Slika 5

Povezava procesnega računalnika z obločno pečjo glede na vodenje taljenja

Fig. 5

Connection of the process computer and the arc furnace depending on the control of smelting

Obločna peč pa mora za vodenje taljenja prejemati od procesnega računalnika povelja za delovanje:

- napetostnega regulatorja,
- tokovnega regulatorja,
- hidravlike za dvig elektrod,
- informacije o teh poveljih.

Razmere so prikazane na sliki 5.

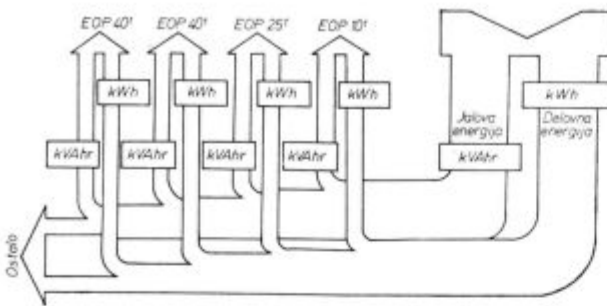
3. VODENJE KONICNE OBTEŽBE

Kontrolo razdelitve električne energije po posameznih obločnih pečeh ali kontrolo konične obtežbe potrošniškega sistema (železarne) imenujemo tako vodenje obratovanja obločnih peči, da skupna vrednost njihove električne moči ne preseže vnaprej določene vrednosti. Konična obtežitev (maksimum demand) je povprečna moč (kW), dosežena v določenem časovnem obdobju; dobimo jo z integracijo porabe energije (kWh) skozi ta obračunski čas. Konična obtežitev je lahko urna, četrturna v fiksnih obdobjih: 4-krat vsako polno uro; ali pa plavajoča, t. j. v kakršnemkoli četrturnem časovnem kontinuumu. Konična obtežitev nastopa skupno s porabo energije nekega potrošnika kot osnovni karakteristični parameter nekega potrošnika. Razmerje med porabo in konično obtežitvijo nam da obratovalne ure (mesečne

ali letne), ki nam govore o izkoriščenosti moči potrošnika, oz. o vplivu, ki ga ima tak potrošnik na napajalni elektroenergetski sistem. Zaradi tega predstavljata konična moč in porabljen energija osnovna parametra tarife za obračun cene električne energije, posebno še, če hočemo zasledovati načelo, da naj pokrije potrošnik električne energije stroške, ki jih v sistemu povzroča.

V primeru ene same obločne peči bi bilo enostavno določiti razmerje med srednjo porabo električne energije in maksimalno — konično porabo (enourno ali četrturno): to razmerje označuje faktor obremenitve »f« in je za eno obločno peč $f \approx 0,60$. Pri večjih pečeh, ki obratujejo v istem potrošniškem sistemu, se lahko faze taljenja prekrivajo, lahko pa peči vozijo v strogem vrstnem redu tako, da se prekrivajo faze taljenja enih peči s fazami raztaljenega vložka drugih peči. V tem primeru bo faktor obremenitve velik. Teoretično bi pri štirih enakih pečeh lahko dosegel vrednost $f = 1$. Vendar obločne peči ne obratujejo po strogem voznem redu, obratovanje nepredvideno nadaljujejo popravila, korekcije analiz in različno trajajoče tehnologije. Pri enaki proizvodnji jekla v obločnih pečeh lahko dobimo kaj različne konične obtežitve, oz. faktorje obremenitve, ki se lahko gibljejo od najvišjega faktorja, ki je enak za primer ene obločne peči $f = 0,5-0,6$ pa do zelo ugodnega $f = 0,8-0,9$, ki ga dosežemo pri večjih obločnih pečeh, ter z neko osnovno obremenitvijo ostalih pogonov železarne. To pa tudi pomeni, da dosežemo pri enaki proizvodnji jekla in pri za to enaki količini porabljene električne energije različno ceno te energije. Danes je razmerje cen v tarifnem sistemu takšno, da predstavljajo stroški za moč 60 % povprečne cene električne energije. Znižanje moči, t. j. konične obtežitve za vsakih 10 % predstavlja torej zmanjšanje cene kWh za 6 %. Izkušnje kažejo, da se faktor obremenitve da znižati od $f = 0,6$ na $f = 0,8$ t. j. za približno 25 %, kar predstavlja znižanje stroškov za električno energijo za 15 %. Pri tem pa je potrebno upoštevati, da elektrogospodarstvo, oz. tarifni sistem obračunava konične obremenitve, ki so dosežene le v času višje tarife, t. j. v času dnevne porabe, medtem ko v času nižje tarife, t. j. ponoči ni omejitev za moč. Z nadaljnjim prilagajanjem potrošne električne energije karakteristikam elektroenergetskega sistema je možno doseči, kar tudi predvidevajo novi tarifni odnosi, da se izvede prilagajanje moči potrošnikov le v času vršnih obremenitev sistema, t. j. zjutraj in zvečer.

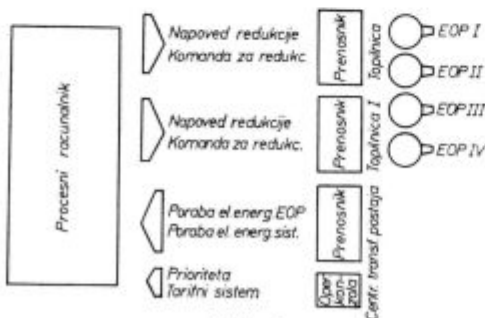
Za neko vodenje razdelitve energije po pečeh skrbi pogonsko osebje že s tem, da poizkuša racionalno izkoriščati naprave pogonov. Kapacitete transportnih naprav (žerjavi, vozila, tehtnice) ter naprave priprave vložka bi bile slabo izkoriščene, če bi lahko vsem pečem v isti fazi postopka istočasno stregli. Uvajanje dispečerskih služb pomeni vodenje, oz. vnaprejšnje usklajevanje obtežitev posameznih obločnih peči na določeni nivo. Dispečerska elektroenergetska služba železarne zasledu-



Slika 6
Merjenje električne energije obločnih peči in sistema
Fig. 6
Measuring electric energy of arc furnaces and of the whole system

je obtežitve peči in poskuša predvideti, kakšna bo skupna obtežitev peči v preteklem ali preostalem obračunskem obdobju. Na podlagi takih predvidevanj posreduje v primerih, ko so očitne preokrajčitve, s tem da zahteva zmanjšanje obtežitve ali pa izklopi posamezne peči za določen čas. V pomoč takemu ukrepanju so posebni instrumenti (Maximum Wächter — čuvaji konice), ki nam za določeno obračunsko obdobje kažejo dejansko porabo in nastavljeno porabo, za kar ima instrument po en kazalec. Če kazalca dospeta do končne lege istočasno, je dejanska obtežitev dosegla nastavljeno. Medsebojna razlika v kotu obeh kazalcev kaže na razliko med dejansko in nastavljeno vrednostjo; razlika je tudi merilo za potrebno zmanjšanje obtežitve, oz. za redukcijo. V principu obstajata dva načina za kontrolo maksimalne obtežitve: z zmanjšanjem obtežitve obločnih peči ter z odklopom obločne peči.

Osnova za redukcijo neke obločne peči je predvsem v tem, da se mora nahajati v fazi taljenja, t. j. takrat, ko so angažirane velike električne moči in ko ima zmanjšanje obtežitve ali njen izklop efekt. Zmanjševanje obtežitve obločne peči v času taljenja se lahko izvrši z zmanjšanjem toka ali z zmanjšanjem napetosti. V prvem primeru dobimo v peči neugodne razmere za gorenje loka: nizek tok in relativno visoko napetost (običajno talimo z maksimalno napetostno stopnjo), kar ima



Slika 7
Povezava procesnega računalnika z obločnimi pečmi glede na vodenje konice

Fig. 7
Connection of the process computer and the arc furnaces depending on the control of peak

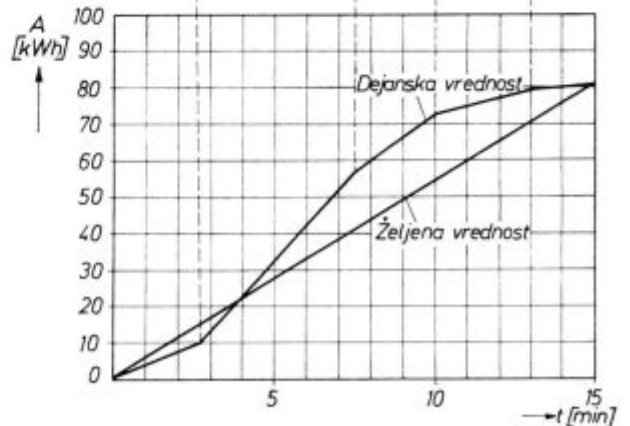
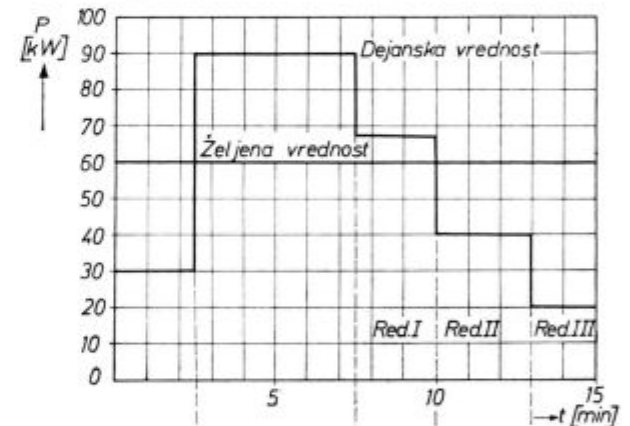
za posledico trganje loka in nemirno obratovanje. Zmanjševanje obtežitve s preklopom napetostnih stopenj pa pomeni neutemeljeno in prekomerno trošenje regulacijskega stikala transformatorja, zaradi tega je najpogostejša kontrola vodenja maksimalne obtežitve z odklopom obločne peči.

Ce želimo voditi razdeljevanje energije po pečeh in kontrolo maksimalne obtežitve potrošniškega sistema s procesnim računalnikom, potrebuje računalnik on-line informacije za:

- porabo električne energije po posameznih pečeh,
- porabo električne energije ostalih uporabnikov,
- začetek taljenja posameznih obločnih peči ter informacijo, posredovano s pomočjo operacijske konzole o prioriteti obratovanja obločnih peči ter o dovoljeni obtežitvi v času konice. Obločna peč dobiva od procesnega računalnika:
- informacijo o napovedi redukcije in
- povelje za izklop (dvig elektrod).

Razmere prikazuje slika 7.

S pomočjo prikazanih informacij računalnik obračunava posamezna obračunska obdobja ter predvidi vrstni red, oz. čas, v katerem je potreben izklop določenih agregatov, da dosežemo določeno obtežitev (sl. 8).



Slika 8
Vodenje 15 min. vršne obtežitve — prikaz moči in porabe električne energije

Fig. 8
Control of 15 minute peak load — presentation of power and electric energy consumption

Optimiranje v doseganju obtežitev sistema v obračunskih obdobjih je posebna in delikatna naloga. Odvisno je predvsem od časa, v katerem je potrebno voditi obtežitev; pri dvakrat dvournem kontrolnem dnevnem obdobju, iz katerega so izvzete sobote in nedelje, so tudi nekaj večje motnje procesa taljenja opravičljive, ker so beneficirane z nižjo ceno električne energije. Teoretični optimum bi bil dosežen, ko bi dosegli ravnotežje med nastalimi stroški za izpadlo proizvodnjo ter med zmanjšanimi stroški za električno energijo. Vendar vseh zastojev, ki jih povzročajo prekinitve taljenja, ne smemo prišteti na račun redukcij, saj je prenekatera prekinitve primerna za popravila peči, naknadno zlaganje itd. in bi nastala v naslednjem, z računalnikom nedefiniranem obdobju. Optimiranje zato ni zgolj računsko operacija, temveč mora biti predvsem rezultat presoje statističnih podatkov. Bistvena razlika v poseganju v proizvodnjo in v višini samih koničnih obremenitev je med enourno in med četrtturnim obračunskim obdobjem, kar v presoji vnaša dodatne organizacijske težave.

4. VODENJE SAMODEJNEGA INFORMACIJSKEGA SISTEMA

Na sl. 5 in sl. 7 je prikazana konfiguracija računalniškega sistema: procesni računalnik za elektrotehniške aplikacije PDP 11/40 28 k, ki je povezan z vodilnim procesnim računalnikom PDP 11/40 96 k, se nahaja v posebni stavbi, oddaljeni od obeh jeklarn 1200, oz. 700 m ter približno 900 m od transformatorske postaje. Zaradi tega imamo v vseh teh treh objektih posebne prenosnike (ICR), preko katerih lahko računalnik sprejema ali pa oddaja digitalne in analogne signale. Tak sistem ima velike zmožnosti v prenosu in tudi v obdelavi podatkov, zato smo ga izkoristili še za nadaljnjo kontrolo proizvodnje in zbiranje podatkov.

V centralni transformatorski postaji opravljamo meritve porabe delovne in jalove energije po obločnih pečeh in za celotno podjetje, kot je to shematsko prikazano na sl. 6. Ustrezni impulzni števeci so direktno vezani na prenosnik; pri števcih, katerih impulze štejemo v sami transformatorski postaji, smo dodali ločilne reedreleje. Na isti prenosnik so v transformatorski postaji priključeni vsi opozorilni in zaščitni signali elektroenergetskih naprav.

Prenosniki v obeh jeklarnah so povezani z elementi obločnih peči preko relejev, da dosežemo dosledno galvansko ločitev elementov peči od elementov računalnika ter večjo vklopno-izklopno moč prenosnikovih elementov. S takim načinom povezave je bilo tudi mogoče obdržati na obločnih pečeh obstoječe nivoje pomožnih napetosti. Povezovanje obločne peči z računalnikom je zahtevalo določeno prilagoditev upravljaljskih krogov peči: paralelne komande za servomotorje, paralelna signalizacija, dodatna signalizacija, možnosti pre-

klopa od računalniškega vodenja na ročno; ta preklon je možen le za poseganje v času taljenja itd.

Samodejni informacijski sistem opravlja troje funkcij: beleži dogodke, zbira podatke in daje opozorila (alarmni sistem).

Beleženje dogodkov se sproža in prenaša avtomatsko, ob nastanku dogodka se zabeleži tudi čas nastanka:

- začetek taljenja,
- začetek šaržiranja,
- konec šaržiranja,
- vklop dušilke,
- izklop dušilke,
- vklop močnostnega stikala,
- izklop močnostnega stikala pod obremenitvijo,
- izklop močnostnega stikala,
- napoved redukcije,
- izvršitev redukcije,
- izliv taline itd.

Zbiranje podatkov je samodejno ali ročno, odvisno od stopnje mehaniziranosti in opremljenosti z merilnimi napravami. Podatki, ki se zbirajo samodejno:

- poraba električne delovne energije,
- poraba električne jalove energije,
- poraba kisika (predvideno v Nm³, sedaj se meri le čas pihanja),
- temperatura taline (predvideno).

Podatki, ki se zbirajo z ročnim vnašanjem:

- teža vložkov,
- teža taline,
- podatki o kvaliteti vložka.

Opozorila alarmnega sistema iz vseh treh prenosnikov se samodejno beležijo na teleprinterski konzoli v centralni transformatorski postaji. Namen takega beleženja je težnja po popolnejšem obvladanju dogajanj in možnosti iskanja vzrokov napak v obratovanju.

Dogodki, ki se beležijo samodejno:

- delovanje vseh vrst zaščit na obločnih pečeh in v centralni transformatorski postaji.

Rezultat samodejnega informacijskega sistema je izpisan protokol, ki je lahko:

- sproten protokol, ki se izpisuje za opozorila alarmnega sistema in za one dogodke, ki omogočajo pregled nad dogajanjem;
- poseben protokol, ki je lahko končni šaržni protokol ali dnevni protokol, ali pa protokol, ki zajema samo določene podatke, npr. porabo električne energije, trajanja redukcij itd.

Vloga samodejnega informacijskega sistema pa ni samo v protokoliranju podatkov in nadzorom nad tehnologijo in dogodki, temveč tudi v možnostih, da te podatke sproti računalniško obdelujemo išoč tiste korelacije, ki pomenijo zmanjšanje stroškov in izboljšanje kvalitete.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Regelung der elektrischen Leistung von Lichtbogenöfen erfordert eine direkte Verbindung zwischen dem Prozessrechner und dem zuregelnden Objekt. Informationen über den Zustand des Prozesses in den vier Lichtbogenöfen und dem Verbrauch der elektrischen Energie im Hüttenwerk werden über INTERFACES übertragen in der Gegenrichtung aber werden Steuerungssignale für den Betrieb der Lichtbogenöfen übertragen. In diesem Artikel ist eine solche Regelung beschrieben. Ebenso werden auch die Einflussgrößen beschrieben auf welchen die zugehörige Software aufgebaut ist. Der gesamte System zur Regelung der elektrischen Leistung der Lichtbogenöfen mit einem Rechner umfasst: die Führung des Einschmelzvorganges der einzelnen Lichtbogenöfen, die Über-

wachung der Spitzenbelastung der Lichtbogenöfen bzw. des gesamten Hüttenwerkes und ein selbsttätiges Informationssystem. Der Einsatz des Rechners hat eine Verringerung des Verbrauches an elektrischer Energie, des Verbrauches an Graphitelektroden, sowie eine Verbesserung der Haltbarkeit der feuerfesten Zustellung zur Folge. Dies ist auf die optimierte Sschmelzführung, sowie den niedrigeren Preis je kWh, auch bei gleichem Verbrauch als Folge der Regelung der Spitzenbelastung zurückzuführen. Auserdem ist im System Lichtbogenofen — Transformatorstation — Rechner ein selbsttätiges Alarm und Informationssystem angebaud. Dieses gibt Warnungen, notiert Ereignisse und sammelt Daten.

SUMMARY

Computer control of electric power of electric arc furnaces demands an in line connection between the process computer and the controlled object. Informations on the state of process in the four arc furnaces, and on the consumption of electric energy in the ironwork are send to the computer through intermediates while signals for corresponding interventions into the arc furnace operation are travelling in the opposite direction. The paper presents the scheme of such a control. Simultaneously, also components are given necessary for constitution of the corresponding software. The complete pack of computer control of electric power in electric arc furnaces consists of: the control of smelting in single arc furnace, the control of

peak load of arc furnaces and the whole ironworks, and the self-acting information system. The expected results should mean the reduced specific consumption of electric energy and of electrodes, and the increased life of lining due to the optimal control of smelting. Because of the control of peak load, also the reduced price per kWh at the same consumption of electric energy will thus result. Adding the self-acting alarm and information system which gives warnings, records events, and gathers the informations will represent an extension of possibilities of our transmissible arc furnaces — central transformer station — computer system.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Управление электрической силы дуговых печей при помощи вычислительной машины требует непосредственную связь (in line) между управляющей вычислительной машиной и объектом управления. Информации о состоянии процесса в четырех дуговых печах и расход электрической энергии металлургического завода передаются вычислительной машине посредством промежуточных деталей. В противоположном направлении протекают сигналы для выполнения необходимых воздействий на ход процесса дуговых печей. В работе подана конфигурация такого способа управления, приведены также элементы, на основании которых разработано соответствующее производство (software). Совокупная система управления электрической силой с вычислительной машиной включает: управление плавления отдельно для каждой дуговой печи,

управление при пиковой нагрузке дуговой печи, отн. всего металлургического завода и самостоятельную информационную систему. Ожидаемые результаты составляют: уменьшение удельного расхода электрической энергии и электрод, повышение устойчивости обкладки вследствие оптимального режима плавления и, как результат контроля пиковой нагрузки, снижение стоимости квт при одном и том же расходе электрической энергии. Как возможное расширение, которое дает передаточная система — центральная трансформаторная станция — счетчик, приключен автоматический сигнальный прибор, который дает указания и информационная система, которая отмечает события и собирает необходимые показания.

Tehnične novice

Novo orodno jeklo Utop Mo 6 za delo v hladnem v proizvodnem programu Železarne Ravne

Med najzahtevnejšimi proizvodi sodobne predelovalne industrije so tudi valji SENDZIMIR ogrođij za hladno valjanje. Od valja zahtevamo dobro ostojnost mer, odpornost proti obrabi, odlično tlačno trdnost, žilavost, dobro sposobnost za poliranje, določeno trdoto in dobro prekaljivost, kar zahteva tudi številne specifične tehnološke pogoje v izdelavi.

V okviru osvajanja valjev za hladno valjanje za SENDZIMIR ogrođja smo razvili v skladu s specifičnimi zahtevami tudi orodno jeklo UTOP Mo 6, ki je seveda uporabno tudi za številna druga orodja in ga zato v tem sestavku podrobneje predstavljamo.

Standardne karakteristike in osnovni podatki za jeklo Utop Mo 6

Smerna kemijska sestava v %

C	S	Si	Mn	Cr	Mo	V
0,55	maks. 0,010	0,22	0,55	5,5	1,35	0,65

Primerjava s tujimi standardi

SSSR
GOST
6 H 6 M 1 F

TIP jekla

Jeklo Utop Mo 6 je plemenito visokolegirano Cr-Mo-V orodno jeklo, namenjeno za delo v hladnem. Kaljivo je na zraku in v olju. Ima odlično obstojnost mer v kombinaciji z odpornostjo proti obrabi in odlično žilavost. Višji ogljik omogoča, da pri kaljenju dosežemo višjo trdoto in boljšo odpornost proti obrabi in večjo tlačno trdnost.

Značilnost in osnovne lastnosti

Jeklo Utop Mo 6 se odlikuje predvsem z naslednjimi lastnostmi:

- odlična odpornost proti obrabi,
- dobra žilavost,
- dobra obdelovalnost v žarjenem stanju,
- dobra sposobnost za poliranje,
- dobra kaljivost,
- dobra obstojnost mer,
- dobra popuščna obstojnost.

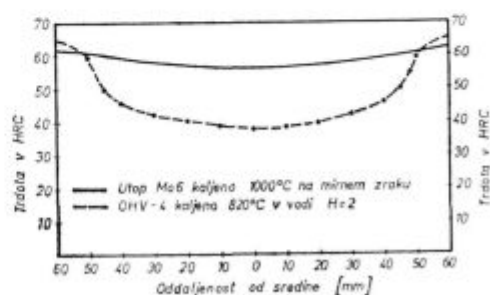
Jeklo Utop Mo 6 se izdeluje v normalnem proizvodnem programu po EPŽ postopku, zato ima zagotovljeno izredno čistost ter homogenost makro- in mikrostrukture.

Primerjalne lastnosti

Jeklo Utop Mo 6 spada v grupo jekel Utop Mo na bazi 5% Cr z višjim ogljikom in nižjim silicijem. Višji ogljik omogoča doseganje trdote nad 60 HRC, kar pri drugih jeklih te grupe ne dosežemo.

Področje uporabe

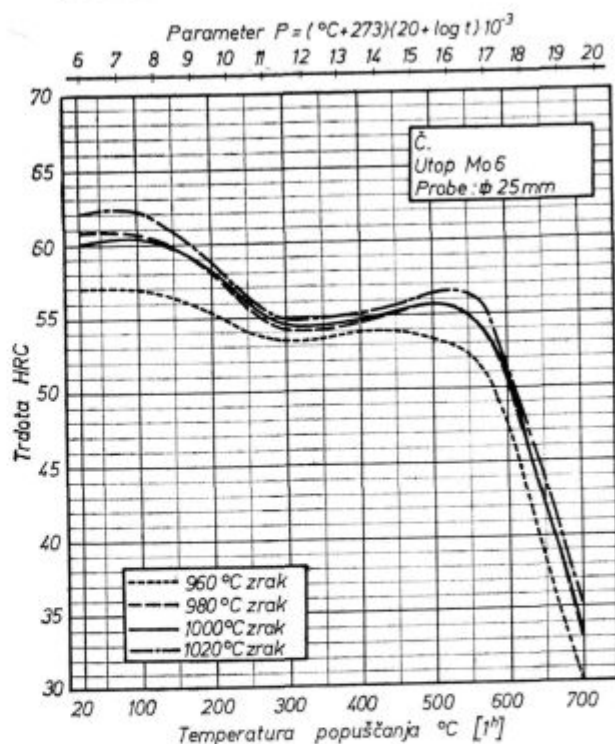
Jeklo Utop Mo 6 je prvenstveno namenjeno za izdelavo valjev za hladno valjanje za SENDZIMIR valjarska orodja, našete lastnosti pa kažejo, da ga je možno uporabljati tudi za druga zahtevna orodja, posebno še, ker po kaljenju dosežemo višjo trdoto in boljšo žilavost pri višji trdoti v primerjavi z jeklom C. 4757 (Utop Mo 4).



Slika 1

Primerjava prekaljivosti jekel C. 4740 (OHV-4) in Utop Mo 6

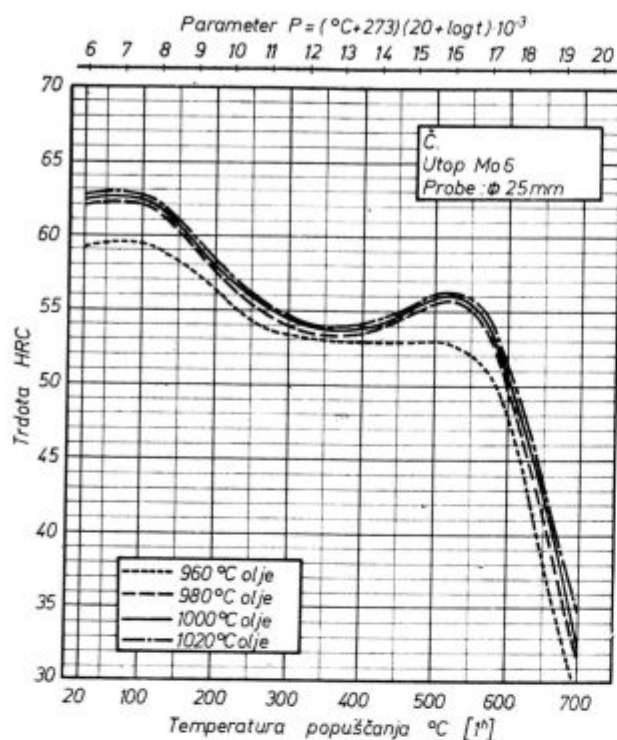
Šarža	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	V %
02997	0,60	0,26	0,58	5,26	1,38	0,69



Slika 2

Popuščni diagram za jeklo Utop Mo 6 za kaljenje na zraku

Šarža	C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	V%
*02997	0,60	0,26	0,58	5,26	1,38	0,69



Popuščni diagram za jeklo Utop Mo 6 za kaljenje v olju

Tipizacija

Jeklo Utop Mo 6 je novo in prvenstveno namenjeno za izdelavo SENDZIMIR valjev za hladno valjanje, zato je netipizirano. Zaradi lastnosti pa mu lahko pripisujemo dobre perspektive pri uveljavljanju na širokem področju uporabe za izdelavo zahtevnih orodij. Zato bi ga lahko uporabljali tudi na širšem področju.

Vroča predelava in mehko žarjenje

Normalno področje vroče predelave je 1080–800 °C, pri ogrevanju in zadrževanju na temperaturi pred vročo predelavo je treba upoštevati nagnjenost tega jekla k razogljčenju in ukreniti vse potrebno za zaščito. Zaradi kaljivosti na zraku je razumljiva občutljivost tega jekla pri ohlajanju po končani vroči predelavi. Zagotoviti je potrebno primerno počasno ohlajanje v peči ali dobrem izolacijskem sredstvu. Najbolj priporočljivo je po kovanju jeklo ohladiti z zadržanjem v bañitnem področju med 300–400 °C najmanj 4 ure in ga nato takoj ogrevati za žarjenje na 700 °C, držati približno 30 minut na temperaturi za izenačevanje in nato ogreti na temperaturo žarjena 830 do 850 °C. Na tej temperaturi zadošča zadrževanje 2 uri, zatem pa sledi počasno ohlajanje po 15 °C/h do 700 °C in nato ohlajanje z izklopljeno pečjo do 300 °C in dalje na zraku.

Drugi način ohlajanja po kovanju bi lahko bil tudi v perlitnem območju med 600 do 700 °C z zadrževanjem na tej temperaturi okrog 4 ure in nato takojšnje mehko žarjenje po prej opisanem postopku.

Ne priporočamo ohlajanja v pesku, ker je jeklo močno kaljivo na zraku in je možnost napetostnih razpok zelo velika.

Trdota po mehkem žarjenju

Trdota jekla Utop Mo 6 v mehko žarjenem stanju je največ 240 HB.

Obdelovalnost

V žarjenem stanju se to jeklo dobro obdeluje.

Žarjenje za odpravo napetosti

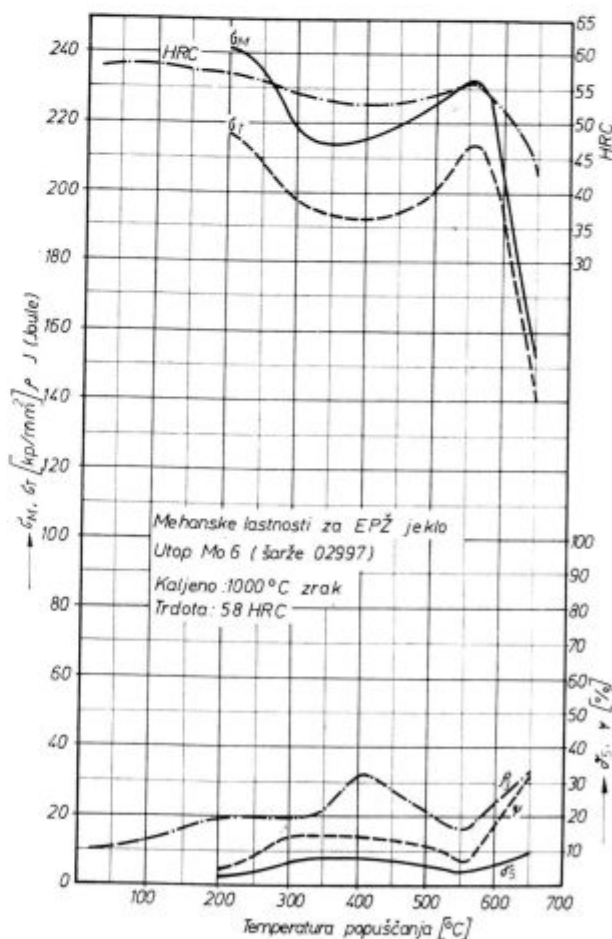
Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja v temperaturnem območju 600–700 °C z zadrževanjem na temperaturi najmanj 1 uro. Pri večjih debelinah nad 25 mm se na vsakih 25 mm povečanja debeline čas zadrževanja na temperaturi podaljša za 1 uro. Ohlajanje se izvaja počasi v peči do 500 °C, dalje pa na mirnem zraku.

Žarjenje za odpravo napetosti se izvaja po grobi mehaniški obdelavi. Nujno potrebno je pri vseh orodjih, ki se po toplotni obdelavi ne brusijo več, posebno še, če so preseki na raznih delih orodja zelo različni. Velik pomen ima to žarjenje pri orodjih, ki se pred končno toplotno obdelavo močno ravnaajo.

Pri žarjenju za odpravo napetosti ni potrebna posebna zaščita proti razogljčenju.

Kaljenje

Normalno območje temperatur kaljenja je 980–1020 °C. V večini primerov se kot hladilno sredstvo uporablja zrak. Od velikosti orodja pa je odvisno, ali ohlajamo na mirnem zraku ali je potrebno ohlajanje v zračnem pišu ali s komprimiranim zrakom.



Mehanske lastnosti v hladnem stanju za jeklo Utop Mo 6

Uporablja se tudi kaljenje v olju.

V termalnih kopelih 540 °C ali 260 °C se orodje zadrži do izenačevanja temperature, nakar sledi ohlajanje na zraku.

Trdota po kaljenju na zraku je 60–62 HRC, po kaljenju v olju pa 62–63 HRC, pri preizkušancih 25 mm □.

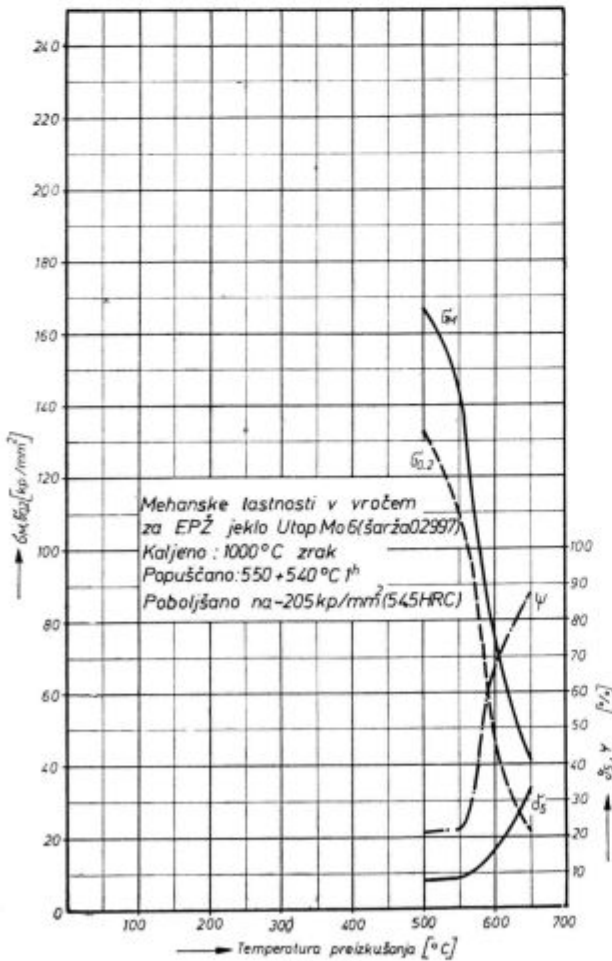
Pri ogrevanju na temperaturo avstenitizacije zelo priporočamo dobro predgrevanje v območju 500–850 °C, ker s tem dosežemo boljšo enakomernost temperature po preseku na temperaturi kaljenja. To precej zmanjša deformiranje orodij pri kaljenju. Na temperaturi predgrevanja zadržujemo orodja približno 1 uro na vsakih 25 mm debeline največjega preseka. Že na temperaturi predgrevanja je potrebno poskrbeti za ustrezno zaščito proti razogljčenju, še bolj pomembno pa je to pri nadaljnjem ogrevanju in zadrževanju na temperaturi kaljenja. Priporočljiva je varovalna atmosfera v peči ali pa varovalno pakiranje orodij.

Pri kaljenju večjih kosov je priporočljivo izbirati kalilne temperature bližje spodnji meji navedenega intervala, ker s tem povečamo žilavost orodja.

Za manjša ali tanjša orodja priporočamo ogrevanje na kalilno temperaturo v solni kopeli na bazi 70–90 % BaCl₂ in 30–10 % NaCl.

Prekaljivost

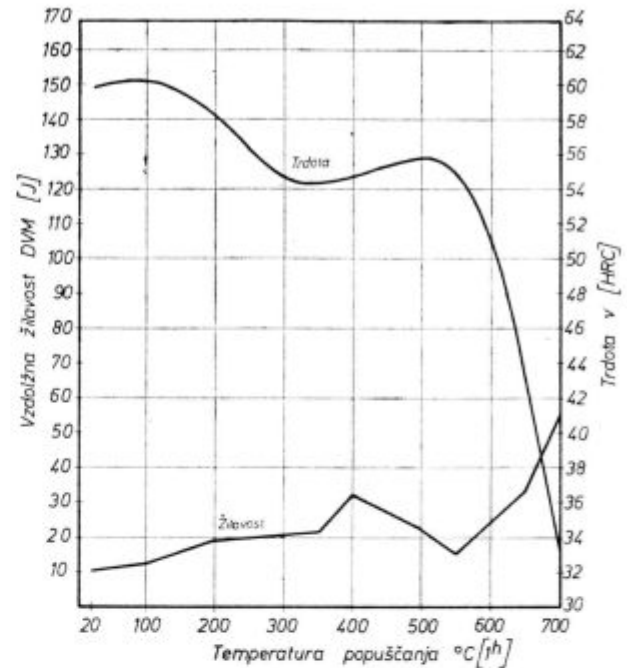
Prekaljivost jekla Utop Mo 6 je zelo dobra, zato se pri kaljenju orodij do presekov 100 mm poslužujemo ohlajanja na mirnem zraku, le za večje preseke je potrebno intenzivnejše ohlajanje s stisnjanim zrakom ali ohlajanje v olju.



Slika 5

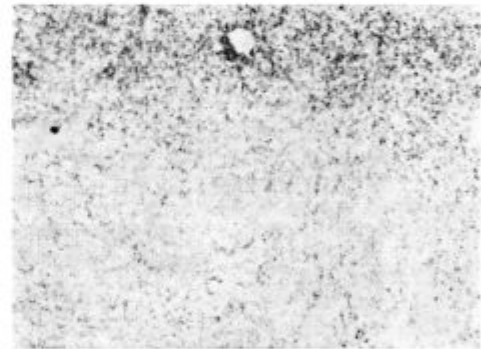
Mehanske lastnosti v vročem stanju za jeklo Utop Mo 6

Na sliki 1 je prikazan diagram prekaljivosti jekla Utop Mo 6 za Ø 120 mm na mirnem zraku, za primerjavo pa je prikazana še krivulja prekaljivosti jekla OHV-4 (C. 4740), klasično kaljenega v vodi.



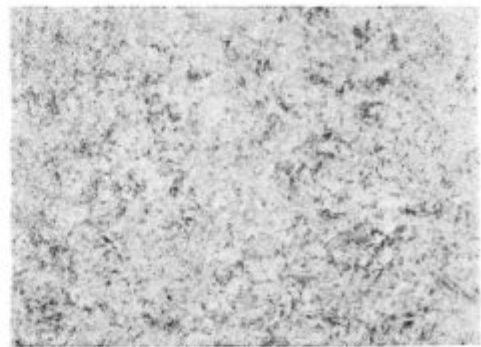
Slika 6

Vpliv temperature popuščanja na trdoto in žilavost jekla Utop Mo 6



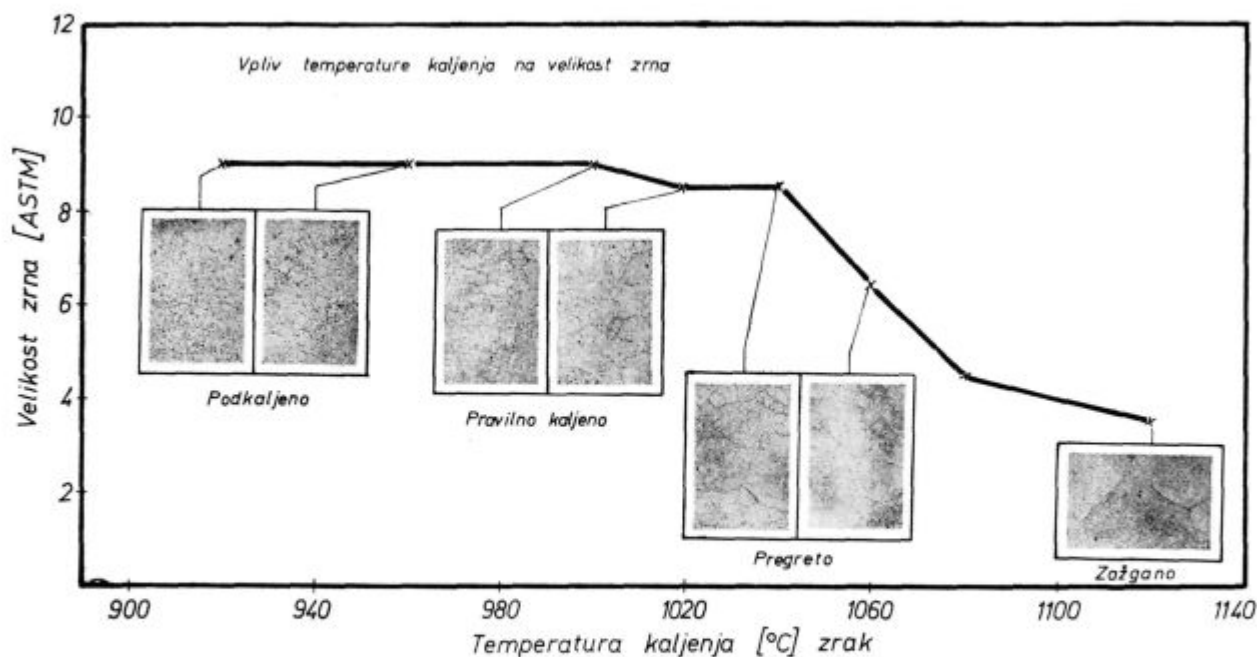
Slika 7

Mikrostruktura žarjenega jekla Utop Mo 6 (povečava 500 ×)



Slika 8

Mikrostruktura kaljenega jekla Utop Mo 6 (povečava 500 ×)



Slika 9
Vpliv temperature kaljenja na izgled mikrostrukture in velikost zrna (povečava 500 ×)

Iz krivulj na diagramu je vidna razlika med jeklom OHV-4, ki kali samo v obrobni coni le nekaj milimetrov, in jeklom Utop Mo 6, kjer dosežemo prekaljivost skoraj po celem preseku.

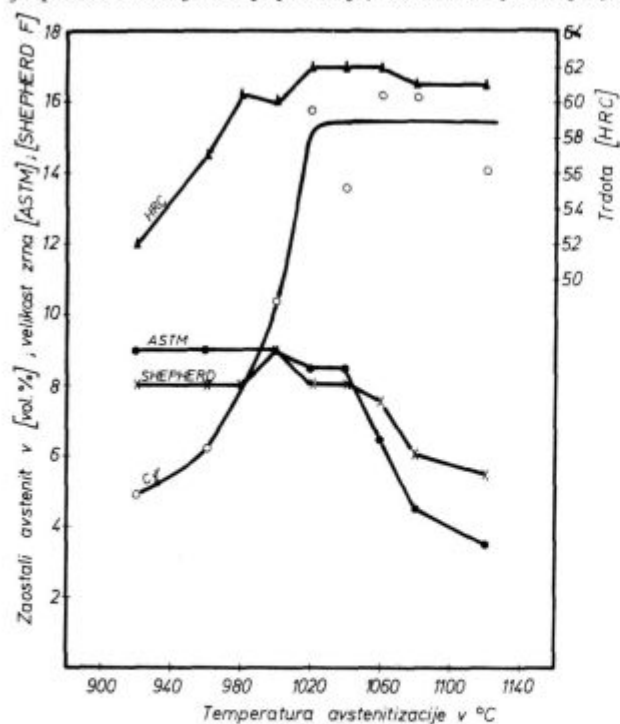
Popuščanje

Uporabno območje popuščanja je 100–500 °C. Popuščanje se mora izvajati takoj po kaljenju, še preden se jeklo ohladi do sobne temperature. Najprimerneje je prenesti orodje na popuščanje, ko doseže po kaljenju

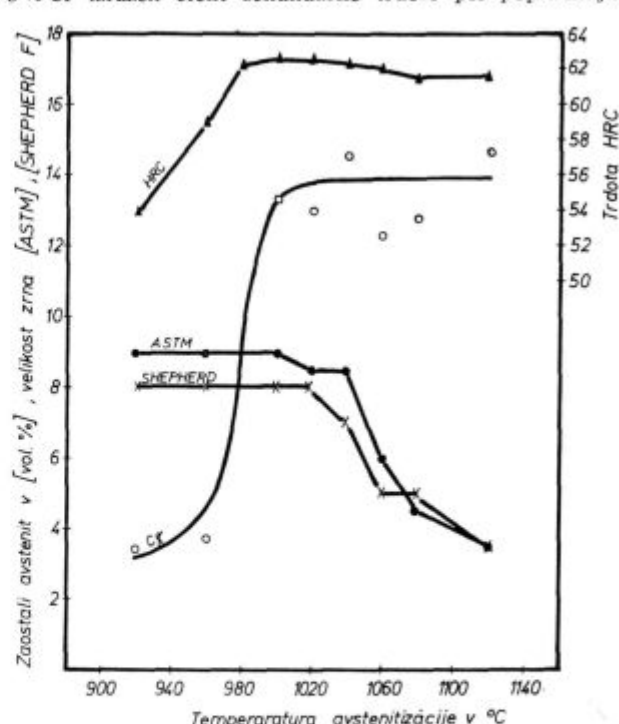
temperaturo 50 do 80 °C. Ne smemo pa dati na popuščanje orodij s previsokih temperatur. Če nimamo na razpolago ustreznih aparatov za merjenje temperatur, ohladimo orodje vsaj toliko, da se ga lahko dotaknemo z roko.

Pri popuščanju je vedno priporočljivo dvakratno popuščanje; to pa zadošča, če je pravilno izvedeno. Čas popuščanja na temperaturi naj bo približno 1 uro za vsakih 25 mm debeline, vendar tudi pri najtanjših kosih nikoli manj kot 1 uro.

Jeklo Utop Mo 6 ima podobno kot ostala jekla na bazi 5% Cr izražen efekt sekundarne trdote pri popuščanju,



Slika 10
Vpliv temperature kaljenja na zraku na trdoto, zaostali avstenit in velikost zrna za jeklo Utop Mo 6



Slika 11
Vpliv temperature kaljenja v olju na trdoto, zaostali avstenit in velikost zrna na jeklo Utop Mo 6

vendar zaradi padca žilavosti v splošnem ne priporočamo popuščanja na sekundarno trdoto. Najboljšo temperaturo popuščanja izberemo glede na najboljšo žilavost pri še zadovoljivi trdoti.

Na sliki 2 in 3 sta prikazana diagrama odvisnosti trdote od temperature popuščanja za kaljenje na zraku in v olju.

Delovne trdote orodij

Delovna trdota orodij naj bo v mejah 50–62 HRC, kar je seveda odvisno od področja uporabe, od oblike orodja in od pogojev dela. Zahtevane trdote dosežemo s popuščanjem po diagramih na sliki 2 in 3.

Orodja namenske uporabe, kot so npr. SENDZIMIR valji, imajo predpisano mejo trdote in se moramo z ustreznimi tehnologijami prilagoditi zahtevam.

Nitriranje

Jeklo Utop Mo 6 je zelo primerno za nitriranje. S tem močno povešamo trdoto površine orodja in maksimalno povečamo odpornost proti obrabi.

Primernejše je plinsko nitriranje, ker dobimo pri 15-urnem nitriranju na temperaturi 520 °C trdo nitrirano plast, debeline 0,12 mm, s trdoto površine od 900–1100 HV.

Mehanske lastnosti

Pri kaljenju s temperature 1000 °C, tj. na sredini normalnega kalilnega intervala, dobimo po popuščanju pri različnih temperaturah vrednosti, na sliki 4.

Vrednosti mehanskih lastnosti v vročem stanju so prikazane na sliki 5.

Ker ima za nekatera orodja odločilen pomen žilavost, navajamo na sliki 6 žilavost za kaljenje pri 1000 °C na zraku v odvisnosti od temperature popuščanja. Tudi pri tem jeklu dobimo pri naraščanju sekundarne trdote padec žilavosti.

Metalografija jekla Utop Mo 6

Jeklo Utop Mo 6, izdelano po EPZ postopku, doseže v žarjenem stanju 100% kroglični perlit (sl. 7).

Po kaljenju so v mikrostrukturi tega jekla martenzit, zaostali avstenit in karbidi (sl. 8).

Za jekla molibdenskega tipa je značilno, da imajo pri določeni temperaturi rapidno poslabšanje avstenitnega zrna, kar je povezano s poslabšanjem mehanskih lastnosti.

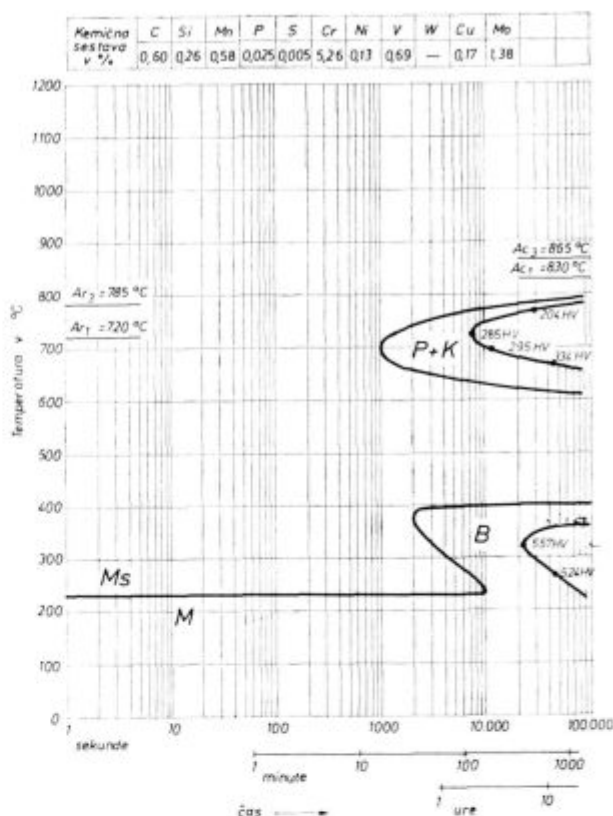
Na sliki 9 je prikazan vpliv temperature kaljenja na strukturo po kaljenju, oziroma velikost zrna po ASTM.

Posebne preiskave

V nadaljevanju navajamo nekaj informacij in ugotovitev posebnih preiskav za jeklo Utop Mo 6.

— Zaostali avstenit

S ploščatimi preizkušanci $9 \times 30 \times 30$ mm smo po različnih postopkih toplotne obdelave določili vsebnost zaosta-



Slika 12
Izotermni TTT diagram jekla Utop Mo 6

lega avstenita z rentgenskim difraktometrom. Za primerjavo smo na sl. 10 in 11 dodali še meritve trdot, zrno po ASTM in Shepherdu F.

— Premenske točke

Ogrevanje 2,5 °C/min.	Ohlajanje 2,5 °C/min.
Ac začetek 830 °C	Ar začetek 785 °C
Ac konec 865 °C	Ar konec 720 °C

— Izdelava TTT diagramov

Na sliki 12 je prikazan izotermni diagram za jeklo Utop Mo 6.

Zaključek

Namen tega članka je, da vas seznanimo z dosedanjimi raziskavami novega orodnega jekla za delo v hladnem Utop Mo 6.

Prvenstveno naj bi ga uporabljali za izdelavo valjev Sendzimir ogrodja pri hladnem valjanju. S tem pa ni rečeno, da ga ni mogoče uporabljati na širšem področju, saj je iz preiskave razvidno, da je glede doseženih lastnosti primerno za delo v hladnem in toplem.



Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani Jože Rodič, dipl. inž., Mirko
Doberšek, dipl. inž., dr. Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar, tehnični urednik

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS
— sekretariat za informacije št. 421-1/72 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSZ — Zelezarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341
int. 880 — Tisk: GP »Gorenjski tisk«, Kranj

VSEBINA

UDK 669.141.246

ASM/SLA: SS5, R2h

Metalurgija — jeklene litine

F. Vodopivec in sodelavci

Raziskave intergranularne krhkosti jeklene litine

Železarski zbornik, 12, (1978), 4 s 109—118

Raziskave industrijskih talin so pokazale, da je nezadostna plastičnost posledica prisotnosti ploščic AlN po dendritnih mejah. Oblika in porazdelitev ploščic kaže, da so verjetneje nastale neposredno iz taline ob koncu kristalizacije jekla, kot z izločanjem iz austenita pri ohlajanju jekla.

Preiskusi so pokazali, da se da interkristalna krhkost najlaže odpraviti v industrijskih pogojih dela z dodatkom 0,05 do 0,06 % titana v talinjo, ki je bila pred tem zadostno desoksidirana z aluminijem.

Avtorski izvleček

UDK: 669.14.018.25.001.6:620.1

ASM/SLA: TSb, A9

Metalurgija — Orodna jekla — Preizkušanje lastnosti — Razvoj

J. Rodič

Razvoj orodnih jekel

Železarski zbornik, 12, (1978), 4 s 119—135

Podan je pregled današnjega stanja in razvoja na področju orodnih jekel, predvsem tistih za delo v hladnem in brzoreznih jekel.

Obravnavane so značilnosti mikrostrukture, sestojče iz osnovne matice in karbidov in osnovne lastnosti orodnih jekel so kritično obravnavane. Posebno je obravnavan vpliv legirne sestave in problematika prevelikega števila različnih orodnih jekel, ki zahteva znanstveno osnovan tehnično ekonomski pristop k razvoju tipizacije in standardizacije.

Avtorski izvleček

UDK: 621.365.2:681.142

ASM/SLA: D5, A5f, U7c, U4k

Metalurgija — jeklarstvo — elektrotehnika — elektroobločna peč — računalništvo — ekonomika

J. Bratina

Računalniško upravljanje električne moči obločnih peč

Železarski zbornik, 12, (1978), 4 s 137—142

Upravljanje električne moči elektroobločnih peč s procesnim računalnikom zahteva neposredno (in line) povezavo med pečjo in računalnikom: informacije o stanju procesa v peč pritekajo samodejno računalniku in signali za poseganje v ta proces gredo k servomotorjem obločne peč oziroma na ustrezne terminale. Računalniško vodenje taljenja obločnih peč in vodenja konične (maksimalne) obtežbe električne moči oziroma celotne železarne predstavlja skupaj s pripadajočim informacijskim sistemom zaključeno obdelavo z enotnim hardwarom in softwarom za več obločnih peč.

Avtorski izvleček

INHALT

UDK: 669.14.018.25.001.6:620.1

ASM/SLA: TSb, A9

Metallurgie — Werkzeugstähle — Untersuchung der Eigenschaften — Entwicklung

J. Rodić

Entwicklung der Werkzeugstähle

Zelezarski zbornik, 12, (1978), 4 s 119—135

Eine Übersicht über den heutigen Zustand der Entwicklung auf dem Gebiet der Werkzeugstähle vor allem derjenigen für die Kaltarbeit und der Schneldrehstähle ist gegeben.

Die Eigenheiten des mikrogefüges, bestehend aus der Matrix und der Karbide und die Grundeigenschaften der Werkzeugstähle werden kritisch behandelt. Der Einfluss der chemischen Zusammensetzung und die Problematik einer zu grossen Zahl der verschiedenen Werkzeugstähle, welche einen wissenschaftlich begründeten technisch ökonomischen Zutritt zu der Entwicklung der Typisierung und der Standardisierung erfordert, wird besonders behandelt.

Auszug des Autors

UDK 669.141.246

ASM/SLA: SSS, R2h

Metallurgie — Stahlguss — interkristalline Sprödigkeit

F. Vodopivec und Mitarbeiter

Untersuchungen der interkristallinen Sprödigkeit des Stahlgusses

Zelezarski zbornik, 12, (1978), 4 s 109—118

Die Untersuchungen der im Industrieausmass erzeugten Schmelzen zeigten, dass die ungenügende Plastizität des Stahlgusses die Folge der Anwesenheit der AlN Plättchen an den Grenzen der dendritischen Körner ist. Die Form und die Verteilung der AlN plättchen zeigen, dass diese wahrscheinlich unmittelbar aus der Schmelze am Ende der Erstarrung des Stahles ausgeschieden sind und nicht durch die Ausscheidung aus dem Austenit bei der Abkühlung.

Die Versuche zeigten dass die interkristalline Sprödigkeit in industriellen Bedingungen mit einem Zusatz von 0.05 bis 0.06 % Titan zu der Schmelze beseitigt werden kann, wenn diese vor dem Titanzusatz genügend mit Aluminium beruhigt worden ist.

Auszug des Autors

UDK: 621.365.2:681.142

ASM/SLA: D5, A5f, U7c, U4k

Metallurgie — Stahlherstellung — Elektrotechnik — Lichtbogenfen — Rechenwesen — Ökonomie

J. Bratina

Einsatz eines Rechners zur Regelung der elektrischen Kraft des Lichtbogenofens

Zelezarski zbornik, 12, (1978), 4 s 137—142

Die Regelung der elektrischen Kraft des Lichtbogenofens mit einem Prozessrechner verlangt unmittelbare Verbindung zwischen dem Lichtbogenofen und dem Rechner. Informationen über den Prozess im Ofen laufen selbsttätig dem Rechner herbei, die Signale für die Einwirkungen in diesen Prozess aber gehen zu den Servomotoren des Lichtbogenofens, bzw. an die entsprechenden Terminals.

Die Rechnerische Führung der Einschmelzung der Lichtbogenöfen und die Führung der Spitzenbelastung der elektrischen Kraft bzw. des gesamten Hüttenwerkes stellt zusammen mit dem zugehörigen Informationssystem eine abgeschlossene Bearbeitung dar, mit einfachem Hardware und Software für mehrere Lichtbogenöfen.

Auszug des Autors

CONTENTS

UDK 669.141.246
ASM/SLA: SS5, R2h

Metallurgy — Cast steel

F. Vodopivec and coworkers

Investigation on the intercrystalline embrittlement of cast steel
Zelezarski zbornik, 12 (1978), 4 P 109—118

Investigations of industrial melts showed that insufficient plasticity is caused by the presence of AlN plates on the boundaries of dendritic grains. The shape and the distribution of plates show that they probably precipitate directly from the melt at the end of the solidification of steel, and from the austenite during the cooling of steel.

Test has shown that the intercrystalline embrittlement can be prevented in industrial conditions by adding 0.05 to 0.06 % titanium into the melt which was previously sufficiently deoxidized with aluminium.

Author's Abstract

UDK: 669.14.018.25.001.6:620.1
ASM/SLA: TSb, A9

Metallurgy — Tool steel — Testing materials — Development

J. Rodič

Development of tool steel
Zelezarski zbornik, 12 (1978), 4 P 119—135

A review of present state and future development of tool steel is given with a special emphasis on steel for cold working and on high-speed steel.

Characteristics of the microstructures consisting of the matrix and carbides are discussed. Basic properties of tool steel are described and critically considered. A special emphasis was given to the influence of the chemical composition and the problematics of a too great variety of tool steel which demands a scientifically based technical and economic approach to the development of selection and standardizing tool steel.

Author's Abstract

UDK: 621.365.2:681.142
ASM/SLA: D5, A5f, U7c, U4k

Metallurgy — Steelmaking — Electrotechnics — Electric arc furnace — Computer — Economics

J. Bratina

Computer control of electric power for electric arc furnaces
Zelezarski zbornik, 12 (1978), 4 P 137—142

Computer control of electric power of electric arc furnaces demands in line connection between the process computer and the furnace: informations on the state of the process in the furnace are constantly coming into the computer, and the signals for interventions into the process are going to the servomotors of the arc furnace or to corresponding terminals. Computer control of smelting in arc furnaces and the regulation of the peak (maximal) load of electric arc furnaces and of the whole ironworks represents together with the corresponding information system a closed regulation for a couple of arc furnaces with a unit hardware and software.

Author's Abstract

СОДЕРЖАНИЕ

УДК: 669.14.018.25.001.6:620.1
АСМ/САА: ТС6, А9

Металлургия — инструментальные стали — испытание свойств — развитие.

J. Rodič

Развитие инструментальных сталей

Zelezarski zbornik, 12 (1978), 4 С 119—135

Дан обзор современного состояния и развития в области инструментальных сталей главн/ым образом марок, которые употребляются для переработки в холодном состоянии, а также обзор быстрорежущих сталей. Рассмотрены характеристики микроструктуры, состоящей из основной маточной структуры и карбидов. Критически рассмотрены основные свойства инструментальных сталей. Особенно затронуто влияние легирующих элементов и вопрос слишком многочисленного количества различных инструментальных сталей, что необходимо требует всесторонний разработки что касается типизации и стандартизации этих сталей на научно-экономической базе.

Автореф.

УДК 669.141.246
АСМ/САА: СС5, Р2х

Металлургия — стальное литье

F. Vodopivec и сотрудники

Исследования интергранулярной хрупкости стального литья

Zelezarski zbornik, 12 (1978), 4 С 109—118

Исследования промышленных плавков показали, что недостаточная пластичность стали вследствие содержания пластинок АІН по границам дендритов. Форма и распределение пластинок указывает, что эти пластики образовались возможно непосредственно из расплава в конце кристаллизации стали, а не выделением из аустенита при охлаждении стали. Испытания показали, что интергранулярную хрупкость можно легче всего устранить в промышленных условиях работы при добавке 0,05 до 0,06 % титана в расплав, который предварительно хорошо раскислен с алюминием.

Автореф.

УДК 621.365.2:681.142
АСМ/САА: Д5, А5ф, Н7г, УХК

Металлургия — сталеварение — электротехника — дуговая печь — вычислительная машина — экономика.

J. Bratina

Вычислительная машина при управлении электрической силой дуговых печей.

Zelezarski zbornik, 12 (1978), 4 С 137—142

Управление электрической силой электрических дуговых печей с вычислительной машиной требует непосредственную связь (in line) печи с счетчиком. Это значит, что информации о состоянии процесса в печи подаются со стороны вычислительной машины самостоятельно, в противоположном направлении, к сервомоторам дуговой печи, стн. на соответствующие терминальные приборы протекают сигналы для воздействия на ход процесса. Применение вычислительной машины при плавке в дуговой печи и управление при пиковой (максимальной) нагрузке электрической силой, соотв. совокупного сталеплавильного завода, включая информационную систему, представляет собой законченную, однородную по составу выплавку (hardware — software) производства из нескольких дуговых печей.

Автореф.

