

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA	Stran
Kmetič Dimitrij, J. Žvokelj, B. Ralič, M. Jakupovič — Metalurški inštitut Ljubljana L. Jovanovski — Železarna Štore LASTNOSTI S CaSi OBDELANEGA KONTI LITEGA JE- KLA Č 4830 PRI DINAMIČNIH OBREMENITVAH	49
Mikec Darko, D. Finžgar, P. Sekloča — Železarna Jesenice B. Glogovac — Metalurški inštitut Ljubljana T. Kolenko — VTOZD Montanistika, Univerza Lju- bljana REKONSTRUKCIJA KORAČNE PEČI CUSTODIS V VA- LJARNI ŽICE IN PROFILOV	57
Kolenko Tomaž — VTOZD Montanistika, Univerza Ljubljana M. Debelak, B. Glogovac — Metalurški inšti- tut Ljubljana UGOTAVLJANJE ZAČETNEGA TEMPERATURNEGA STANJA VROČIH PLOŠČ PRI ZALAGANJU V POTISNO PEČ	63
TEHNIČNE NOVICE	
Legat France — Veriga Lesce VPLIV VODIKA NA NAPETOSTNE RAZPOKE PRI VIJA- KIH IN VERIGAH	69
DOKTORSKA IN MAGISTRSKA DELA	73

LETO 25 ŠT. 2 — 1991
ŽEZB BQ 25 (2) 49—76 (1991)

ŽELEZARSKI ZBORNIK

Izdajajo skupno Železarne Jesenice, Ravne, Štore in Metalurški inštitut Ljubljana

UREDNIŠTVO

Glavni in odgovorni urednik: J. Arh

Uredniški odbor: A. Kveder, J. Rodič, A. Paulin, F. Grešovnik, F. Mlakar, K. Kuzman, J. Jamar

Tehnični urednik: J. Jamar

Lektor: R. Razinger

Prevodi: A. Paulin, N. Smajić (angleški jezik), J. Arh (nemški jezik), L. Puš (ruski jezik)

NASLOV UREDNIŠTVA: Železarski zbornik, SŽ-Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, Yugoslavia

TISK: TK Gorenjski tisk, Kranj

IZDAJATELJSKI SVET:

prof. dr. M. Gabrovšek (predsednik), Železarna Jesenice

dr. B. Brudar, Iskra, Kranj

prof. dr. V. Čižman, Univerza v Ljubljani

prof. dr. D. Drobnjak, Univerza v Beogradu

prof. dr. B. Koroušič, Metalurški inštitut Ljubljana

prof. dr. L. Kosec, Univerza v Ljubljani

prof. dr. J. Krajcar, Metalurški inštitut Sisak

prof. dr. A. Križman, Univerza v Mariboru

dr. K. Kuzman, Univerza v Ljubljani

dr. A. Kveder, Metalurški inštitut v Ljubljani

prof. dr. A. Paulin, Univerza v Ljubljani

prof. dr. Z. Pašalić, Železarna Zenica

prof. dr. C. Pelhan, Univerza v Ljubljani

prof. dr. V. Prosenc, Univerza v Ljubljani

prof. dr. B. Sicherl, Univerza v Ljubljani

dr. N. Smajić, Metalurški inštitut v Ljubljani

prof. dr. J. Sušnik, Zdravstveni dom Ravne

dr. L. Vehovar, Metalurški inštitut Ljubljana

prof. dr. F. Vodopivec, Metalurški inštitut Ljubljana

Published jointly by the Jesenice, Ravne and Štore Steelworks, and The Institute of Metallurgy Ljubljana

EDITORIAL STAFF

Editor: J. Arh

Associate Editors: A. Kveder, J. Rodič, A. Paulin, F. Grešovnik, F. Mlakar, K. Kuzman, J. Jamar

Production editor: J. Jamar

Lector: R. Razinger

Translations: A. Paulin, N. Smajić (English), J. Arh (German), L. Puš (Russian)

EDITORIAL ADDRESS: Železarski zbornik, SŽ-Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, Yugoslavia

PRINT: TK Gorenjski tisk, Kranj

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

prof. dr. M. Gabrovšek (Chairman), Iron and Steel Works, Jesenice

Dr. B. Brudar, Iskra, Kranj

Prof. Dr. V. Čižman, University of Ljubljana

Prof. Dr. D. Drobnjak, University of Belgrade

Prof. Dr. B. Koroušič, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. L. Kosec, University of Ljubljana

Prof. Dr. J. Krajcar, Institute of Metallurgy, Sisak

Prof. Dr. A. Križman, University of Maribor

Dr. K. Kuzman, University of Ljubljana

Dr. A. Kveder, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. A. Paulin, University of Ljubljana

Prof. Dr. Z. Pašalić, Iron and Steel Works, Zenica

Prof. Dr. C. Pelhan, University of Ljubljana

Prof. Dr. V. Prosenc, University of Ljubljana

Prof. Dr. B. Sicherl, University of Ljubljana

Dr. N. Smajić, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. J. Sušnik, Health Centre, Ravne

Dr. L. Vehovar, Institute of Metallurgy, Ljubljana

Prof. Dr. F. Vodopivec, Institute of Metallurgy, Ljubljana

ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 25

LJUBLJANA

JUNIJ 1991

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	Страница
D. Kmetič, J. Žvokelj, L. Jovanovski, B. Ralič, M. Jakupovič Lastnosti s CaSi obdelane- ga konti litega jekla Č 4830 pri dinamičnih obremenit- vah UDK: 620.178.3:620.192.45:669. 14.018.298.3:669.046.558.6 ASM/SLA: Q7c, M21c, 9—69, AYb, D9q, E25q	D. Kmetič, J. Žvokelj, L. Jovanovski, B. Ralič, M. Jakupovič Eigenschaften des mit Ca- Si behandelten strange- gossenen Stahles der Marke Č.4830 bei dynamischen Beanspruchungen UDK: 620.178.3:620.192.45:669. 14.018.298.3:669.046.558.6 ASM/SLA: Q7c, M21c, 9—69, AYb, D9q, E25q	D. Kmetič, J. Žvokelj, L. Jovanovski, B. Ralič, M. Jakupovič Properties of Continuous Cast Č.4830 Steel, Treated by CaSi, at Dynamic Load- ing UDK: 620.178.3:620.192.45:669. 14.018.298.3:669.046.558.6 ASM/SLA: Q7c, M21c, 9—69, AYb, D9q, E25q	D. Kmetič, J. Žvokelj, L. Jovanovski, B. Ralič, M. Jakupovič Свойства с CaSi обрабо- танной конти литой стали Č.4830 при динамических нагрузках UDK: 620.178.3:620.192.45:669.1- 4.018.298.3:669.046.558.6 ASM/SLA: Q7c, M21c, 9—69, AYb, D9q, E25q
49	49	49	49
D. Mikec, B. Glogovac, T. Kolenko, D. Finžgar, P. Sekloča Rekonstrukcija koračne peči CUSTODIS v Valjarni žice in profilov UDK: 621.783.231.1.004.6:662.614 ASM/SLA: F21b, W20h, 18—72, A11e	D. Mikec, B. Glogovac, T. Kolenko, D. Finžgar, P. Sekloča Rekonstruktion des Hub- balkenofens Custodis in Draht und Profilwalzwerk UDK: 621.783.231.1.004.6:662.614 ASM/SLA: F21b, W20h, 18—72, A11e	D. Mikec, B. Glogovac, T. Kolenko, D. Finžgar, P. Sekloča Reconstruction of Walking Beam Furnace CUSTODIS in the Wire and Section Rolling Plant UDK: 621.783.231.1.004.6:662.614 ASM/SLA: F21b, W20h, 18—72, A11e	D. Mikec, B. Glogovac, T. Kolenko, D. Finžgar, P. Sekloča Реконструкция печи „Ку- стодис“ в прокатном за- воде по изготовлении проволоки и профилей UDK: 621.783.231.1.004.6:662.614 ASM/SLA: F21b, W20h, 18—72, A11e
57	57	57	57
T. Kolenko, M. Debelak, B. Glogovac Ugotavljanje začetnega temperaturnega stanja vro- čih plošč pri zalaganju v potisno peč UDK: 536.55:536.21:681.3.06:669- -147 ASM/SLA: F21b, D9q, S16b, U4k, P11m	T. Kolenko, M. Debelak, B. Glogovac Bestimmung des Anfangs- temperaturzustandes vom Einsatz beim Warmeinset- zen UDK: 536.55:536.21:681.3.06:669- -147 ASM/SLA: F21b, D9q, S16b, U4k, P11m	T. Kolenko, M. Debelak, B. Glogovac Evaluation of Initial Tem- perature Conditions at Hot Charging of Slabs UDK: 536.55:536.21:681.3.06:669- -147 ASM/SLA: F21b, D9q, S16b, U4k, P11m	T. Kolenko, M. Debelak, B. Glogovac Определение начального температурного состо- яния шихты при горячей загрузке UDK: 536.55:536.21:681.3.06:669- -147 ASM/SLA: F21b, D9q, S16b, U4k, P11m
63	63	63	63
Tehnične novice F. Legat Vpliv vodika na napetostne razpoke pri vijakih in veri- gah	Technische Nachrichten F. Legat Einfluss von Wasserstoff auf die Spannungsrissig- keit bei Schrauben und Ketten	Technical News F. Legat Hydrogen Action in Stress Cracking of Screws and Chains	Технические новости F. Legat Влияние водорода на трещины натяжением при винтах и цепях
69	69	69	69
Doktorska in magistrska dela	Doktor und Magister Arbei- ten	P. H., D and M. SC. THESES	Дипломские и магистр- ские работы
73	73	73	73



1899



Lastnosti s CaSi obdelanega konti litega jekla Č.4830 pri dinamičnih obremenitvah

D. Kmetič¹, J. Žvokelj¹,
L. Jovanovski², B. Ralič¹, M. Jakupovič¹

UDK: 620.178.3:620.192.45:669.14.018.298.3:669.046.558.6
ASM/SLA: a7c, M21c, 9-69, AYb, D9q, E25q

Jeklo, izdelano po tehnologiji obdelave s CaSi v ponovci, je čistejše, z modifikacijo pa zagotovimo, da vključki kalcijevih aluminatov v temperaturnem področju vroče predelave niso duktilni. Jeklo ima zato boljše mehanske lastnosti, predvsem žilavost in trajno vrtilno upogibno trdnost. Manjša je tudi anizotropija v mehanskih lastnostih. Analizirali smo sestavo nekovinskih vključkov in opredelili vzroke za nastanek inicialov utrujenosti razpok na vrtilno upogibnih preizkušancih.

Jeklo, obdelano s CaSi, ima vključke kalcijevega aluminata, ki so lahko po morfologiji in sestavi zelo različni in lahko vsebujejo sulfide (MnS, CaS) in druge okside (SiO₂, MgO, MnO).

Zaradi obdelave jekla s CaSi je v jeklu več topnega Al in afinacijski učinek izločkov AlN na velikost austenitnih zrn pri toplotni obdelavi jekla je večji.

1. UVOD

Nekovinski vključki v jeklih so produkt tehnologije izdelave jekla ali pa kot eksogeni material (obzidava, žilindra). Nekovinski vključki vplivajo na mehanske lastnosti, v manjši meri na mejo plastičnosti in natezno trdnost, v večji pa na kontrakcijo, lomno žilavost in dinamične lastnosti jekla.

V konvencionalno izdelanih jeklih prevladujejo vključki MnS tipa II in vključki Al₂O₃. Sulfidi se pri strjevanju jekla izoblikujejo v skupinah v meddendritskih prostorih in se pri vroči predelavi zelo lahko deformirajo, in sicer podaljšajo in sploščijo. Vključki Al₂O₃ so v jeklu kot individualni vključki, pri vsebnosti Al nad 0,02 % pa tudi v nizih. Lahko so tudi v obliki kompleksnih oksisulfidnih vključkov. Pri preoblikovanju se lahko drobijo, nizi pa tudi razpotegnejo. Taka oblika nekovinskih vključkov, predvsem vključkov MnS, izrazito vpliva na anizotropijo mehanskih lastnosti.

Pri odprtem konti litju so jekla pomirjena s Si in dezoksidirana s sorazmerno majhno količino Al (nevarnost zamašitve izlivka), zato so v jeklu silikatni vključki, ki se pri plastični predelavi močno deformirajo. Pri zaprtem litju je zaradi ustrezne dezoksidacije z Al v jeklu manj silikatnih vključkov. Z obdelavo jekla s CaSi lahko izdelamo čistejše jeklo z ustrežnejšo globularno obliko vključkov kalcijevega aluminata, ki pri vroči predelavi niso duktilni. Odžveplanje je bistveno boljše kot pri konvencionalni izdelavi jekla, kar močno zniža vsebnost žvepla. Vključkov MnS je malo, so majhni in enakomerno porazdeljeni po kovinski matici. Pri predelavi jekla se sicer deformirajo, na mehanske lastnosti pa, ker so drobni in enakomerno porazdeljeni po matici, praktično ne vplivajo. Pri vsebnosti žvepla pod 0,003 % v jeklu ni individualnih vključ-

2. EKSPERIMENTALNO DELO

2.1. Jeklo in metodika dela

Jeklo Č.4830 je v poboljšanim stanju namenjeno za izdelavo vzmeti in statično ali dinamično obremenjene strojne elemente. Pri izdelavi jekla modifikacija nekovinskih vključkov ni vedno enako uspešna. Zato smo izbrali za preiskave različno čiste taline z različno obliko kompleksnih oksidnih vključkov. V jeklih so zato prisotni duktilni silikatni vključki, delno duktilni kompleksni vključki kalcijevega aluminata s silikati in spinelnimi vključki in modificirani kompleksni kalcijevi aluminati, ki so globularni, njihova velikost pa je lahko različna. Kemična sestava talin in ocena čistosti jekel po metodi K4, ki so jo naredili v Železarni Štore, je podana v tabeli 1.

Konti lite gredice smo zvaljali v vzmetne lamele s presekom 90 × 20 mm. Metalografske preiskave jekla in analizo nekovinskih vključkov smo naredili na vzorcih, izrezanih v vzdolžni smeri na sredini in ob robu vzmetnih lamel. Na teh mestih smo pripravili tudi natezne in vrtilno upogibne preizkušance. S tako izbranimi vzorci smo želeli ugotoviti morebitne razlike v mehanskih lastnostih zaradi različne porazdelitve in velikosti nekovinskih vključkov po preseku lamel, kar je posledica značilnega strjevanja konti litih gredic. Vzorce za mehanske preizkuse smo kalili v olju s temperaturo austenitizacije 850 °C in nato eno uro popuščali na temperaturi 520 °C. Strojni deli se popuščajo v temperaturnem intervalu med 540 in 680 °C, vzmetne lamele pa v nižjem področju med 430 in 520 °C. Vpliv nekovinskih vključkov na dinamične lastnosti je pri nižjih temperaturah popuščanja izrazitejši.

2.2. Nekovinski vključki

Ocena čistosti talin je podana v tabeli 1. Vsebnost žvepla je v talinah majhna, zato je v jeklu zelo malo drobnih vključkov MnS.

Talini 1 in 2 imata veliko oksidnih vključkov, ki so bili med vročo predelavo zelo plastični (sl. 1), ali pa so se med valjanjem deloma deformirali, deloma drobili (sl. 2). Ti vključki imajo nodularno obliko, njihova velikost pa je

¹ Dimitrij Kmetič, dipl. ing. met., SŽ — Metalurški inštitut
Ljubljana, Lepi pot 11, 61000 Ljubljana

² Železarna Štore

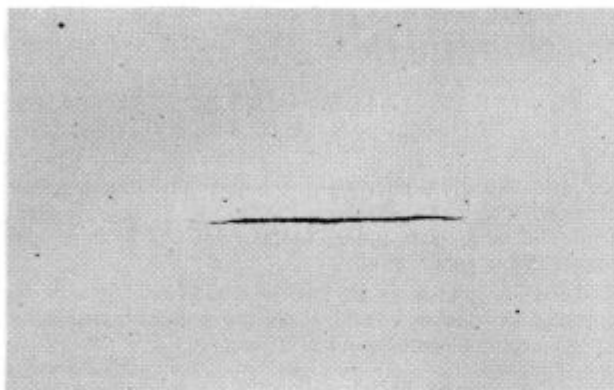
**Originalno objavljeno: ŽZB 25(1991)2

**Rokopis sprejet: februar 1991



Tabela 1: Kemične sestave jekla Č.4830 v odstotkih in ocena čistosti K4

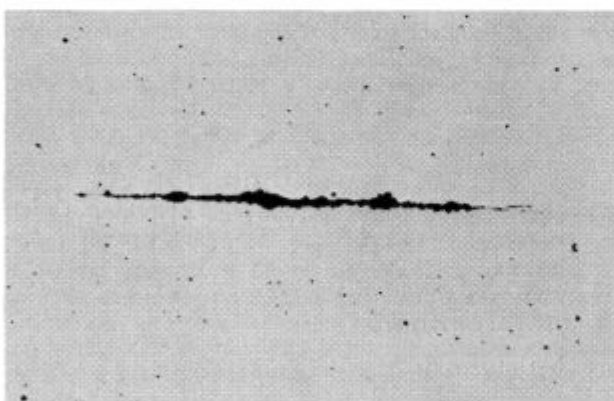
Talina	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Al	V	N	K4
1	0,51	0,35	0,77	0,010	0,009	0,97	0,24	0,13	0,019	0,12	0,014	80
2	0,56	0,41	0,83	0,011	0,009	0,97	0,19	0,15	0,026	0,17	0,016	67
3	0,49	0,24	0,99	0,013	0,006	0,99	0,23	0,12	0,018	0,14	0,012	17
4	0,54	0,45	0,83	0,012	0,013	0,90	0,19	0,11	0,025	0,13	0,016	8
5	0,52	0,37	0,85	0,010	0,011	0,98	0,25	0,12	0,020	0,14	0,014	6



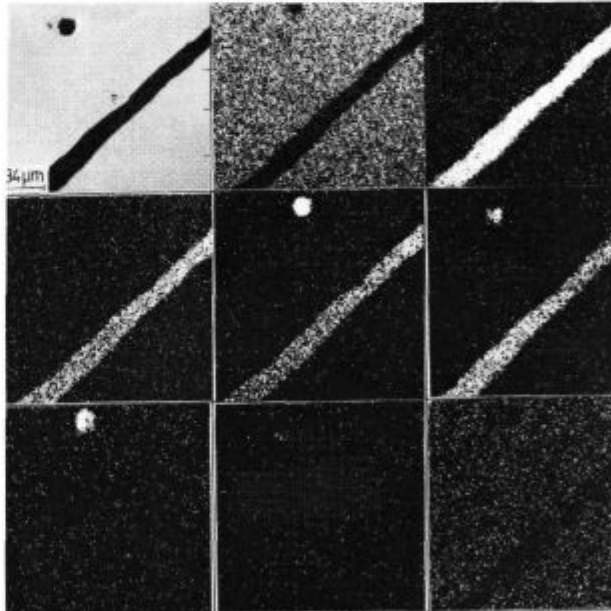
Slika 1
Deformiran nekovinski vključek (pov. 50 ×)
Fig. 1
Deformed non-metallic inclusion (magn. 50 ×)



Slika 3
Kompleksen modificiran nekovinski vključek (pov. 100 ×)
Fig. 3
Complex modified non-metallic inclusion (magn. 100 ×)



Slika 2
Nekovinski vključek se je med vročo predelavo deformiral in deloma drobil (pov. 50 ×)
Fig. 2
Non-metallic inclusion was deformed and partially broken during hot working (magn. 50 ×)



ES	Fe	Si
Mn	Ca	Al
S	Mg	Cr

Slika 4
Posnetek elektronske sestave in specifični X posnetki duktilnega $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ vključka
Fig. 4
Electron picture and specific X-ray pictures of ductile $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ inclusion

zelo različna in imajo v premeru tudi do 200 μm . Pogosto se že v optičnem mikroskopu opazi, da so kompleksni (sl. 3).

Z analizo večjega števila nekovinskih vključkov elektronskem mikroanalizatorju smo opredelili odvisnost oblike vključkov od njihove sestave. Zelo plastični so vključki sestave $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$. Zanje je značilno, da imajo visoko vsebnost SiO_2 (sl. 4) in da je koncentracija prisotnih elementov po vključku zelo enakomerna. Slabše preoblikovani vključki, ki se lahko deloma tudi drobijo, so kompleksni $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ vključki nehomogene sestave. Po videzu in sestavi so zraščeni silikatni in

aluminatni vključki z oksidi spinelne oblike ($MnO \cdot Al_2O_3$, $MgO \cdot Al_2O_3$), pogosto pa so nanje vezani še sulfidi (MnS , CaS). Vsebnost SiO_2 in MnO je v teh vključkih manjša kot v dobro preoblikovalnih vključkih (sl. 5).

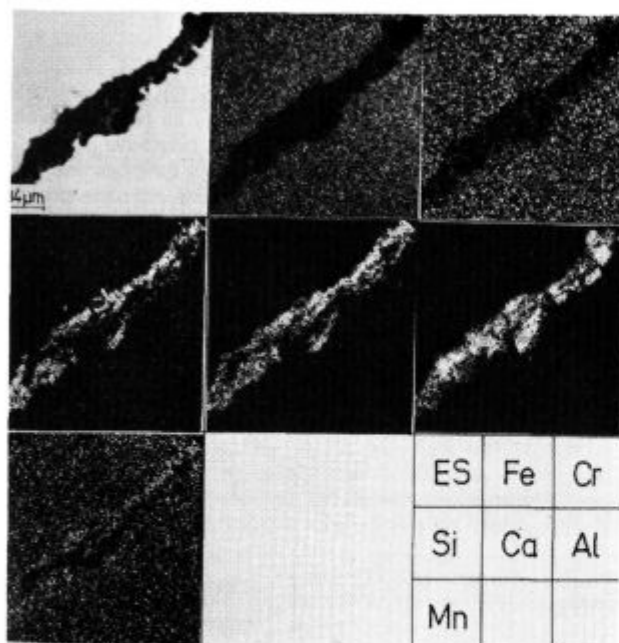
Taline, 3, 4 in 5 so mnogo čistejše. Zelo redki so vključki, ki so se med preoblikovanjem deformirali in deloma drobili. Modificirani vključki so drobnejši, posamezni vključki pa merijo v premeru do $60 \mu m$. Sestava modificiranih vključkov kalcijevega aluminata je v vseh talinah podobna. V vseh vključkih smo izmerili majhno vsebnost SiO_2 (1 do 5%), vsebujejo pa lahko še MnO in MgO . Na modificirane vključke je vezano sulfidno žveplo (CaS , MnS). Porazdelitev sulfidov je lahko po preseku vključkov enakomerna (sl. 6), večinoma pa je v obliki venca po površini (sl. 7). CaO je termodinamično stabilnejši kot CaS , zato v talini najprej nastajajo $CaO \cdot Al_2O_3$ vključki, na katere se nato vežejo sulfidi. MnS in CaS imata isto kristalno strukturo, zaradi različnih atomskih premerov pa se v sulfidih deloma nadomeščata. Z naraščajočim razmerjem Ca/S v talini se zmanjšuje možnost nastanka vključkov MnS .

Ob modificiranih vključkih se pogosto opazijo praznine trikotne oblike (sl. 6), ki so nastale med vročo predelavo jekla.

V jeklih nismo opazili čistih vključkov kalcijevega aluminata. V vseh primerih so to kompleksni vključki in so na vključke $CaO_2 \cdot Al_2O_3$ vezani še SiO_2 , CaS , MnS , MnO in MgO .

2.3. Mehanske lastnosti

Rezultati nateznih preizkusov in meritev trdot so podani v tabeli 2. Kemična sestava talin je različna in vzorci nizko popuščeni, zato je odvisnost med mejo plastičnosti, natezno trdnostjo, raztežkom, kontrakcijo in oceno čistosti jekla neizrazita.

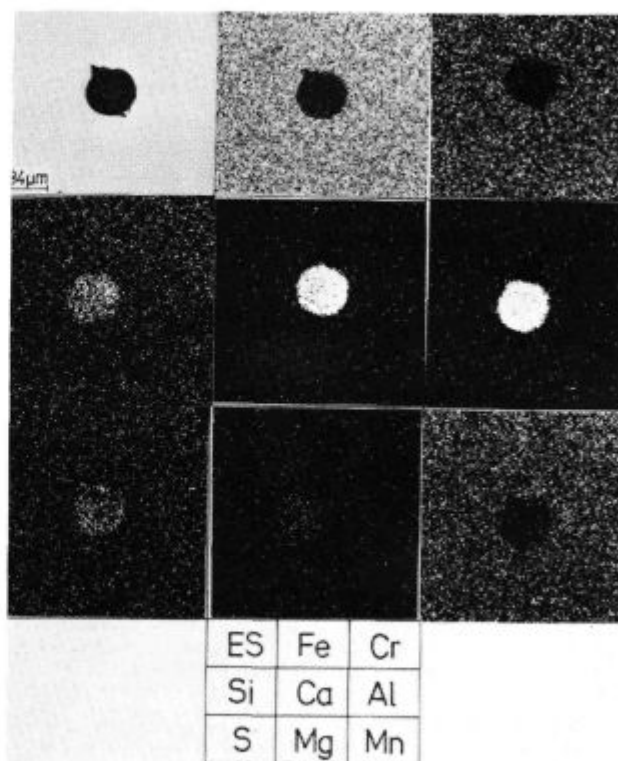


Sl. 5

Posnetek slabše duktilnega $SiO_2 \cdot CaO \cdot Al_2O_3$ vključka z malo MnO , ki se je pri predelavi deloma drobnil

Fig. 5

Picture of less ductile $SiO_2 \cdot CaO \cdot Al_2O_3$ inclusion with small amount of MnO which was partially broken during working



Slika 6

Modificiran vključek kalcijevega aluminata z malo SiO_2 , MgO in CaS . Ob vključku se dobro vidi praznina izoblikovana med valjanjem

Fig. 6

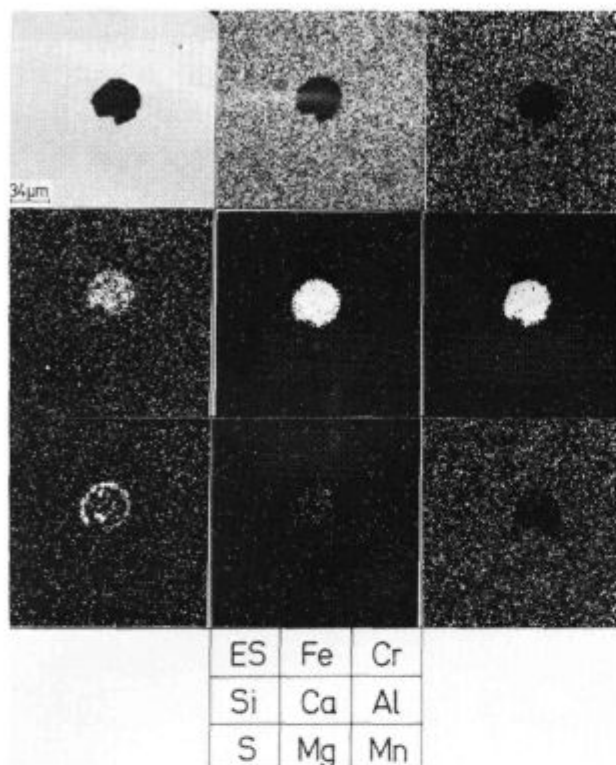
Modified inclusion of calcium aluminate with small amounts of SiO_2 , MgO and CaS . Cavity formed during rolling is visible next to the inclusion.

Tabela 2: Mehanske lastnosti nateznih preizkušancev

Talina	Meja plastičnosti	Natezna trdnost	Raztežek	Kontrakcija	Trdota	
	R_p (N/mm^2)	R_m (N/mm^2)	A (%)	Z (%)	HV	K4
1	1202	1261	11	42	387	80
2	1261	1316	11	36	420	67
3	1209	1263	10	40	398	17
4	1232	1287	10	38	417	8
5	1215	1282	12	44	396	6

Prelomi nateznih preizkušancev imajo čašasto obliko, značilno za duktilen prelom (sl. 8). V sredini ali v bližini sredine se opazi področje, kjer so ob nekovinskih vključkih nastale začetne razpoke. Preizkušanci vseh talin, razen taline 5, imajo izrazite strižne razpoke. Te potekajo vzporedno z izcejami, ki so na vzorcih teh talin izrazite in to bolj na vzorcih, izrezanih iz sredine vzmetnih lamel. Martenzit po izcejah je zelo trd in razlika v mikrotrdoti med izcejami in martenzitom ob njih znaša do 160 HV. Napredovanje strižnih razpok pospešujejo tudi duktilni oksidni vključki in drobni sulfidi, ki so v izcejanih področjih pogostejši.

Prelomne površine so duktilne. Poleg manjših jamic (sl. 9) se opazijo tudi večje, iz katerih so modificirani vključki večinoma izpadli. Redkeje smo opazili deformirane vključke v strižnih razpokah.

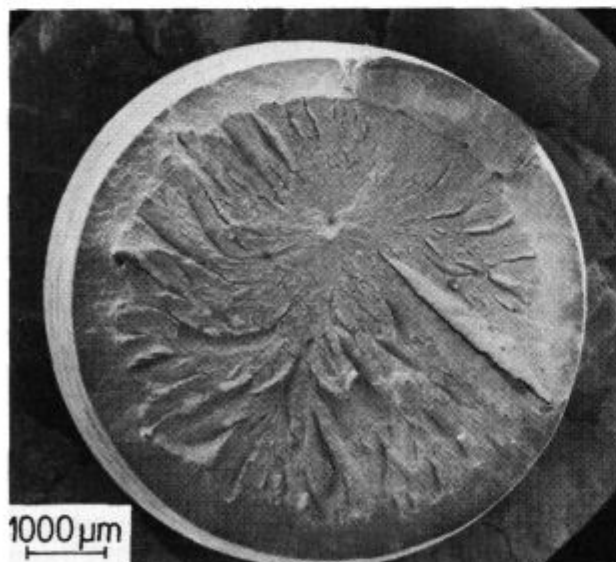


Slika 7

Modified inclusion of calcium aluminate with small SiO_2 , MgO in matrix of CaS

Fig. 7

Modified inclusion of calcium aluminate with small amounts of SiO_2 , MgO , and peripherally distributed CaS .



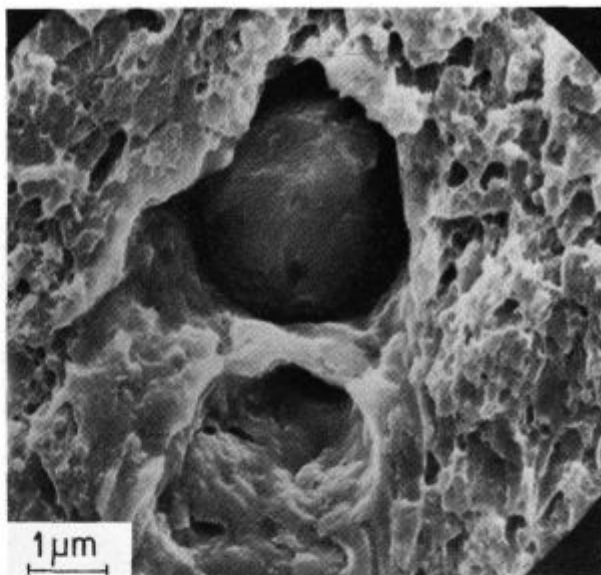
Slika 8

Macropicture of fracture of tensile test piece.

Fig. 8

Macropicture of fracture of tensile test piece.

Z vrtilno upogibnim preizkušanjem se do neke mere približamo pogojem, katerim so vzmeti izpostavljeni v praksi, popolnoma pa jih ne moremo simulirati. Trajno dinamično vrtilno upogibno trdnost smo določili po metodi



Slika 9

Modified non-metallic inclusion in tough fracture surface

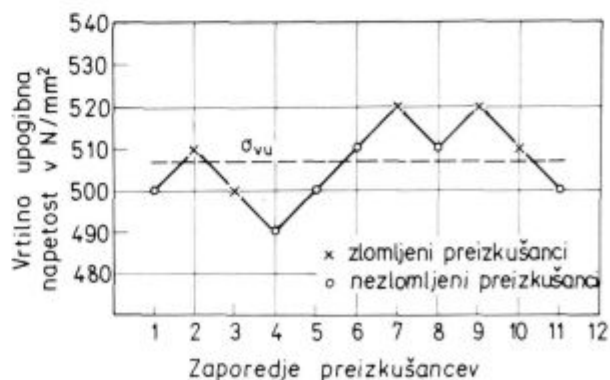
Fig. 9

Modified non-metallic inclusion in tough fracture surface

stopnic iz grafičnega prikaza zaporedja napetosti (sl. 10). Šteje se, da se preizkušane pri določeni napetosti ne zlomi, če vzdrži 10^7 nihajev, praktično pa se ne zlomi, če vzdrži $2 \cdot 10^6$ nihajev. Pri naših preiskavah smo preizkušanje prekinili pri $4,5 \cdot 10^7$ nihajev oz. obratov.

Rezultati preizkušanj so podani v tabeli 3. Pomembnejši kazalec kot trajno vrtilno upogibna trdnost je razmerje med vrtilno upogibno trdnostjo in natezno trdnostjo. Razlike med talinami so sicer majhne, vidi pa se, da ima čistejše jeklo višjo trajno dinamično vrtilno upogibno trdnost in višje razmerje σ_{vu}/R_m .

Natančnejše preiskave prelomnih površin vrtilno upogibnih preizkušancev smo naredili v SEM. Morfološke značilnosti prelomov so zelo podobne. Utrujenostni lom se je v večini primerov širil z enega ali redkeje dveh in več inicialov na površini ali malo pod površino preizkušancev. V primerih, ko se je lom pričel z dveh ali več inicialov v več nivojih, so se lomne površine združile preko stopnic v eno ravnino. V smeri proti inicialu se vidijo radialne linije, ki so zaradi poškodb delno zabrisane. V večji



Slika 10

Potek vrtilno upogibnih preizkušanj za talino 3

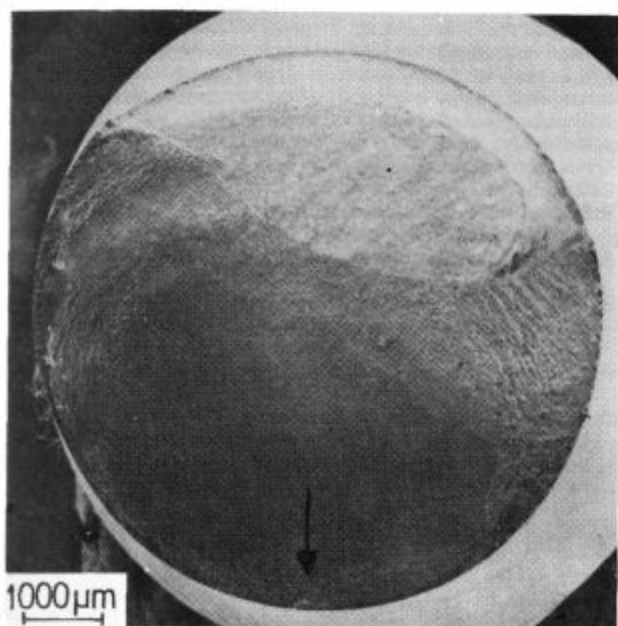
Fig. 10

Flowsheet of rotating cantilever tests for the melt 3

oddaljenosti od iniciala se opazijo linije napredovanja loma. Površina trenutnega loma leži diametralno nasproti iniciala in je žilava (sl. 11). Delež trenutno zlomljene površine je v primerjavi s površino, po kateri je potekal utrujenostni lom, sorazmerno majhen, kar kaže na dobro žilavost jeklene matice.

Tabela 3: Vrtilno upogibna trdnost

Talina	Vrtilno upogibna trdnost σ_{vu} (N/mm ²)	Raztros S (N/mm ²)	Razmerje σ_{vu}/R_m	K4
1	490	22,5	0,39	80
2	509	5,0	0,39	67
3	507	9,4	0,40	17
4	518	11,4	0,40	8
5	538	6,1	0,42	6



Slika 11

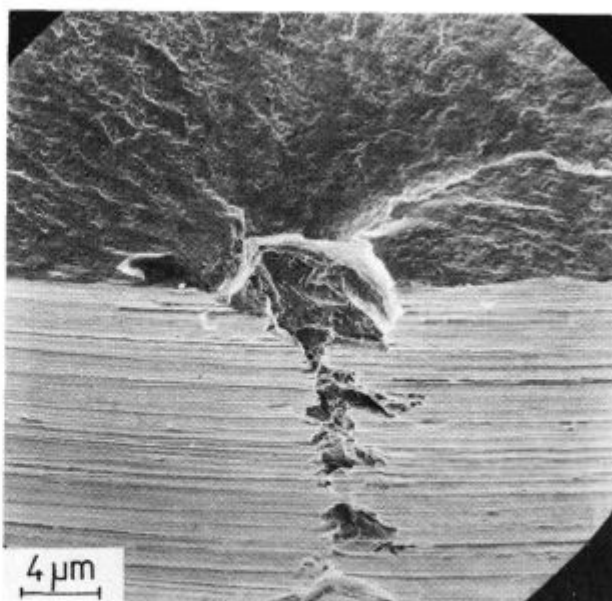
Makrosposnetek vrtilno upogibnega preizkušanca z označenim inicialom loma

Fig. 11

Macropicture of rotating cantilever test specimen with marked initial fracture

V večini primerov smo že pri makroskopskih pregledih, natančneje pa v SEM, opazili, da so iniciali za nastanek utrujenostne razpoke duktilni vključki $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ ($\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$) ali večji modificirani vključki kalcijevega aluminata (sl. 12, 13, 14). Čim manjši je vključek, ob katerem je nastala inicialna razpoka, večje število obratov je bilo potrebnih do zloma. V primeru večjega niza nekovinskih vključkov pa je prišlo do zloma zelo hitro. Le pri redkih preizkušancih nismo uspeli opredeliti vzrokov za začetek utrujenostnega loma. Na površini teh vzorcev so bile lahko napake zaradi mehanske obdelave, ali pa so bili med preizkušanjem ustvarjeni pogoji za večjo koncentracijo napetosti, zaradi katerih je nastala začetna razpoka. Ti vzorci so se zlomili na višjih napetostnih nivojih.

Preiskave mehanskih lastnosti smo naredili v vzdolžni smeri, zato na napredovanje utrujenostne razpoke v večji meri vpliva napetostno stanje, ki je med drugim tudi

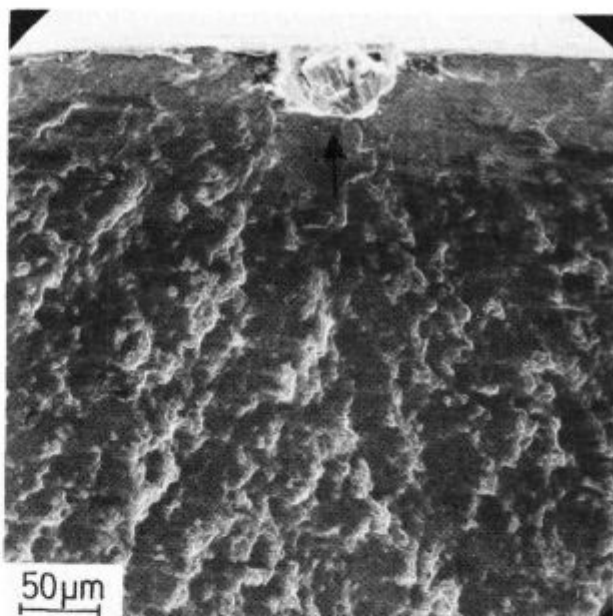


Slika 12

Detajl s slike 11. Inicial loma je bil duktilen $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ vključek na površini preizkušanca

Fig. 12

Detail from Fig. 11. Fracture was initiated on the ductile $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ inclusion on the specimen surface.



Slika 13

Inicial utrujenostnega loma je bil modificiran vključek kalcijevega aluminata na površini preizkušanca

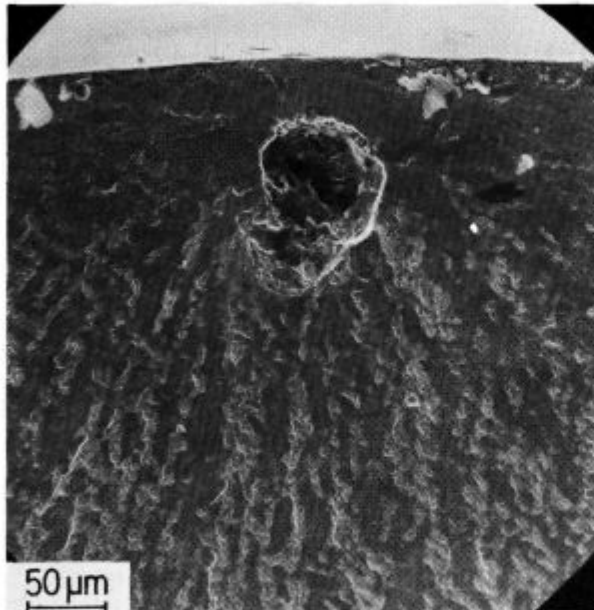
Fig. 13

Fatigue fracture was initiated on the modified inclusion of calcium aluminate on the specimen surface.

posledica mikrostrukturnih nehomogenosti (izceje), kot nekovinski vključki. Med vzorci, izrezanimi iz sredine in ob robu vzmetnih lamel, nismo opazili bistvenih razlik.

3. ZAKLJUČEK

Preiskave smo naredili na talinah jekla Č.4830 z različno oceno čistosti po metodi K4. Jeklo, izdelano po teh-



Slika 14

Inicial utrujenostnega loma je bil modificiran vključek malo pod površino preizkušanca

Fig. 14

Fatigue fracture was initiated on the modified inclusion close below the sample surface.

nologiji obdelave s CaSi, je čistejša, z modifikacijo pa dosežemo, da so nekovinski vključki globularni. Pri neustrezni modifikaciji nastanejo duktilni vključki $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$, ali delno duktilni kompleksni vključki $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$, na katere so lahko vezani oksidi spinelne sestave in CaS. Pri uspešni modifikaciji morajo

biti nastali kalcijevi aluminati, ki še vedno vsebujejo malo SiO_2 in večinoma v vencu razporejen CaS, drobn.

Mehanske lastnosti nateznih preizkušancev v poboljšanem stanju so odvisne predvsem od kemične sestave jekla in izcejanosti jekla. Vpliv nekovinskih vključkov, to je čistosti jekla, je izrazit pri trajno vrtilno upogibni trdnosti σ_{vu} in razmerju σ_{vu}/R_m . Iniciali za začetek utrujenostnega loma so predvsem večji duktilni vključki in tudi večji modificirani vključki kalcijevega aluminata. Zato mora biti jeklo, namenjeno za visoko trdne dele in vzmeti, tako obdelano s CaSi, da so v jeklu le drobn vključki kalcijevega aluminata.

LITERATURA

1. A. D. Wilson: Metal Progress, 1982 april, 41—46.
2. I. C. Mayes, T. J. Baker: Materials Science and Technology, 2, 1986, febr., 133—139.
3. A. Zaczek, T. Maguda, W. Dziadur: 9th Congress on Material Testing, Budimpešta 1986, Zbornik predavanj, 94—98.
4. J. Žvokelj, M. Pipan, S. Senčič: Ugotavljanje lastnosti vzmetnih jekel, izvaljanih iz kontinuirno ulitih gredic pri dinamičnih obremenitvah, Poročilo MI, Ljubljana 1975.
5. V. Prešern, M. Debelak, P. Bračun: Uvajanje postopka vpihovanja CaSi v SŽ-Železarni Štore, poročilo MI, Ljubljana 1984.
6. D. Kmetič, F. Vodopivec, F. Vizjak, S. Senčič: Železarski zbornik 13 (1979) 3, 85—93.
7. D. Kmetič, F. Vodopivec, F. Vizjak, F. Haller: Železarski zbornik, 18 (1989) 17—26.
8. M. Debelak, R. Grabner, F. Golčman, V. Medved: Optimizacija pogojev ulivanja za zagotavljanje kvalitete konti litih gredic, poročilo MI 90-052, Ljubljana 1990.
9. T. Ototani: Calcium Clean Steel, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1986.
10. D. Kmetič, J. Žvokelj, M. Jakupovič, H. Ploštajner, L. Jovanovski, F. Kaučič: Vpliv oblike in količine nekovinskih vključkov na dinamične lastnosti jekla, Poročilo MI 86-042, Ljubljana 1986.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungen sind an Schmelzen der Stahlmarke Č.4830 mit verschiedenem Reinheitsgrad nach der Methode K4 durchgeführt worden. Der mit CaSi nachbehandelter Stahl ist reiner. Durch die Modifizierung erreichen die nichtmetallischen Einschlüsse eine globulitische Form. Bei einer nichtausreichenden Modifikation entstehen plastische $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ Einschlüsse, oder teilweise plastische komplexe $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ Einschlüsse, an welche Oxyde der Spinelzusammensetzung und CaS, gebunden sein können. Bei einer erfolgreichen Modifikation entstehende, Calciumaluminat die immer noch etwas SiO_2 enthalten und meistens am äusseren Rand gebundenen CaS haben, müssen dünnkörnig sein.

Mechanische Eigenschaften von Zerreissproben, im vergüteten Zustand, sind vor allem von der chemischen Stahlzusammensetzung, und den Seigerungen, abhängig. Einfluss der nichtmetallischen Einschlüsse d. h. des Reinheitsgrades von Stahl ist ausgeprägt bei der Dauerverdrehtbiegefestigkeit σ_{vu} und dem Verhältniss σ_{vu}/R_m . Initiale für den Anfang von Ermüdungsbruch sind vor allem grössere plastische Einschlüsse, so wie auch grössere modifizierte Calciumaluminateneinschlüsse. Aus diesem Grunde muss der Stahl, bestimmt für hochfeste Teile und Federn, mit CaSi so behandelt werden, daß im Stahl nur dünnkörnige Calciumaluminateneinschlüsse verbleiben.

SUMMARY

Test were made with melts of Č.4830 steel of various purities according to the K4 method. Purity of steel being treated with CaSi is better while modification gives globular non-metallic inclusions. In not adequate modification, ductile $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ or partially ductile complex $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ inclusions are formed to which oxides of spinel composition and CaS are bonded. In successful modification the formed calcium aluminates, always containing small amounts of SiO_2 and usually peripherally distributed CaS, must be small.

Mechanical properties of tensile test pieces, as hardened

and tempered, depend mainly on the chemical composition of steel and on the segregations. Influence of non-metallic inclusions, i. e. of the purity of steel, is pronounced for fatigue rotating cantilever test strength σ_{uv} and for σ_{uv}/R_m ratio. Initiating nuclei for fatigue fracture are mainly bigger ductile inclusions and also bigger modified inclusions of calcium aluminate. Therefore the high-strength and spring steel must be treated with CaSi that there are only fine inclusions of calcium aluminate in steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы произвели испытания на расплавах стали Č.4830 с различной оценкой чистоты по методу K4. Сталь, изготовленная по технологии обработки с CaSi является более чистой, а с модификацией достигаем глобулярных неметаллических включений. При нецелесообразной модификации образуются дуктильные $\text{SiO}_2\text{-MnO-CaO-Al}_2\text{O}_3$ включения или частично дуктильные комплексные $\text{SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$ включения, на которые могут быть связаны окиси шпинелевого состава и CaS. При удачной модификации образованы кальциевые алюминаты, которые всегда содержат еще несколько SiO_2 и в большинстве в венце распоряжен CaS, должны быть мелкие.

Механические свойства натяжных пробных образцов в улучшенном состоянии прежде всего зависят от химического состава стали и сегрегации стали. Влияние неметаллических включений, т. е. чистоты стали является выразительным при вращательно изгибной прочности σ_{uv} и отношении σ_{uv}/R_m . Причиной начала усталостного разрушения являются прежде всего большие дуктильные включения, а также большие модифицированные включения кальциевого алюмината. Поэтому сталь, предназначенная для высоко прочных частей и пружин должна быть так обработана с CaSi, чтобы в стали были только мелкие включения кальциевого алюмината.

INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE IN TEHNOLOGIJE NAMESTO METALURŠKI INŠTITUT V LJUBLJANI, ZAKAJ?

Metalurški inštitut je ustanovila slovenska vlada leta 1950 s ciljem, da ima strokovno inštitucijo, ki bi sodelovala v razvoju metalurške industrije, tedaj v Sloveniji še proizvodnje grodja, jekla, svinca, cinka in aluminija iz rud in iz odpadkov. Orientacija dela Inštituta je bila v ekstraktivne procese in temu primerna kadrovska zasedba, oprema in raziskovalni program. Že v letu 1955 pa se je pokazalo, da Slovenija potrebuje tudi svetovalno ustanovo za racionalno uporabo kovinskih materialov in razvoj materialov kot industrijskega gradiva. Zato se je začela počasna preorientacija raziskovalnega in razvojnega dela. Po letu 1960 je začel naraščati v programu razvoj novih materialov, ki ga je tedaj podpirala predvsem armada, pa tudi nastajajoča elektronska industrija. Po letu 1970 se je začel hitro zmanjševati del programa usmerjen v ekstrakcijo kovin in danes od vsega tega ostaja le še raziskava uporabe sekundarnih surovin in odpadkov neposredno v metalurški industriji ali zunaj nje in projekt razvoja postopka za izdelavo aluminija največje čistosti. Skladno z zmanjšanjem aktivnosti na področju ekstrakcije je rastla vključenost Inštituta v probleme raziskav in razvoja materialov ter njihove optimalne uporabe v industriji in ekspertno delo. Na primer že leta 1966 je Toplarna Ljubljana, ki je bila tedaj v gradnji, na osnovi ekspertize iz Inštituta iztožila okoli 700.000 USD od inozemskega dobavitelja. Za slovensko termo energetiko je bilo izvršeno še več ekspertiz, na osnovi katerih so bili povrnjeni stroški za havarirane industrijske naprave v podobni višini. Te ekspertize so dokazale vrhunsko znanje sodelav-

cev Inštituta na področju industrijske uporabe kovinskih materialov. Od leta 1960 je bilo vsako leto pripravljeno veliko število ekspertiz in strokovnih mnenj s področja uporabe in kakovosti materialov in raziskovalno-razvojnih del za nemetalurško industrijo, ki so privedla do koristnih aplikacij. V letu 1990 je imel Inštitut sklenjene pogodbe o raziskovalno-razvojnem delu za enako število metalurških in nemetalurških podjetij za skupno okoli 60 raziskovalnih nalog. V tem letu je bilo pripravljeno tudi 112 ekspertiz iz področja materialov in tehnologij, izvršeno pa je bilo tudi 84 tehnoloških storitev za nemetalurška podjetja.

Začetna usmerjenost v ekstraktivno metalurgijo se je postopoma preusmerjela v proizvodnjo materialov iz odpadnih surovin, raziskovanje pa se je vse bolj usmerjalo v razvoj materialov, njihovo procesiranje za doseg optimalnih lastnosti in v uporabo. Pri mnogih potencialnih uporabnikih strokovnih, raziskovalnih, tehnoloških in ekspertnih storitev pa je vendarle naziv Metalurški asociiral na ekstraktivno metalurgijo in jih odvrčal od središča, kjer je v Sloveniji in v Jugoslaviji največ teoretičnega in praktičnega znanja o izdelavi kovinskih materialov, njihovem procesiranju, preizkušanju in lastnostih pri uporabi. Zato se je zadnja leta vse bolj kazala potreba, da se naziv Inštituta prilagodi že izvršeni vsebinski pretvorbi dela in izbran je bil nov naziv INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE IN TEHNOLOGIJE. Geslo Inštituta ostaja še naprej, biti čim bolj aktiven v razvoju novih materialov in tehnologij, svetovati kako preizkušati materiale, da bodo najbolj ustrezali specifičnim namenom uporabe, svetovati kako racionalno in optimalno izkoriščati njihove lastnosti in vzgajati strokovnjake, ki bodo takim nalogam v industriji kos.

Franc Vodopivec

42. POSVETOVANJE O METALURGIJI IN KOVINSKIH GRADIVIH, PORTOROŽ, 2.—4. OKT. 1991

V organizaciji Inštituta za kovinske materiale in tehnologije bo od 2. do 4. oktobra v Portorožu (Hoteli Bernardin) 42. posvetovanje o metalurgiji in kovinskih gradivih. Na posvetovanju bodo obravnavana naslednja področja:

- sinteza sodobnih kovinskih materialov po konvencionalnih in po postopkih hitrega strjevanja ter metalurgije prahov,
- razvoj modernih tehnologij proizvodnje jekla, aluminijevih, bakrovih, cinkovih in drugih zlitin,
- matematično modeliranje in računalniška simulacija procesov in tehnologij,
- korozija in korozijska odpornost,
- sodobne termične obdelave,
- razvoj in metodike za karakterizacijo materialov,
- tribologija,
- varstvo okolja,
- druga področja uporabe kovinskih gradiv.

Delovni jeziki na posvetovanju bodo vsi jugoslovanski in angleški. Povzetke del pošljite najkasneje do 3. julija 1991 na naslov:

Organizacijski odbor 42. posvetovanja — Portorož 91, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, 61000 Ljubljana.

Povzetek naj obsega približno 250 besed ali največ eno tipkano stran, format A4. Vsebovati mora točen naslov dela, imena avtorjev in inštitucij. Znanstveni odbor bo odločil, katera dela bodo predstavljena kot govorni prispevki in katera v poster sekciji. Dela, uvrščena v program, bodo natisnjena v prvi številki Železarskega Zbornika v letu 1992.

Dodatne informacije: dr. Monika Jenko (predsednica organizacijskega odbora), Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, 61000 Ljubljana, Lepi pot 11, tel. (061) 332-502, fax. (061) 213-780

Rekonstrukcija koračne peči Custodis v Valjarni žice in profilov

D. Mikec^{*1}, B. Glogovac^{**2}, T. Kolenko^{**3}, D. Finžgar^{*1}, P. Sekloča^{*1}

UDK: 621.783.231.1.004.6:662.614
ASM/SLA: F21b, W20h, 18-72, A11e

S koračno pečjo zaradi zastarele konstrukcije in regulacije nismo mogli slediti vedno ostrejšim zahtevam pri ogrevanju gredic, zato smo se odločili za rekonstrukcijo peči.

V članku je opisana rekonstrukcija peči in toplotno-tehnične preiskave ogrevanja gredic po rekonstrukciji peči.

1.0. UVOD

Koračna peč Custodis s storilnostjo 30 t/h (slika 1) je v Valjarni žice in profilov namenjena za ogrevanje gredic na temperaturo valjanja. Peč je bila projektirana za ogrevanje gredic z dimenzijama $\square 125$ in $\square 135$ mm, ki se pomikajo skozi peč s pomočjo dveh hidravličnih dviznih gredi. Gredice z dolžino 1500—1850 mm je mogoče v peč zalagati dvoredno, daljše gredice z dolžino 3500—4000 mm pa enoredno.

Peč je opremljena s sistemom igličastih rekuperatorjev, s katerim je možno pri temperaturi dimnih plinov 800° C predgreti zrak za zgorevanje do temperature 280° C.

Rekuperator je zaščiten pred pregretjem. V primeru prevročih dimnih plinov se s posebnim ventilatorjem vpiha hladni zrak, ki zniža temperaturo dimnih plinov na 800° C, tako da ne pride do poškodb rekuperatorja.

2.0. OPIS PEČI

Peč je leta 1968 izdelala firma »Industrie Ofenbau Custodis«. Sprva je bila peč razdeljena na dve regulacijski coni: ogrevno in izenačevalno cono. Kurjena je bila z mazutom in je imela vgrajenih šest tlačnorazpršilnih gorilnikov. Pri zgorevanju mazuta s komprimiranim zrakom je nastal oster plamen z visoko temperaturo, ki je omogočal večjo storilnost peči. Pomanjkljivost peči je bilo izrazito neenakomerno temperaturno polje v peči, ki je povzročalo lokalno zažganost površine gredic.

V letu 1979 je firma »LOI OFAG« peč prilagodila za kurjenje z zemeljskim plinom. Zamenjani so bili vsi gorilniki z visokoimpulznimi gorilniki na zemeljski plin.

Na kurjenje z zemeljskim plinom se je prešlo brez konstrukcijskih sprememb ter brez posodobitve merilne in regulacijske opreme peči. Pri spremembi pretoka plina oziroma zgorevnega zraka sta se v peči pojavila oba ekstremna primera: visoko reduktivna atmosfera pri odpiranju plinske lopute in visoko oksidativna atmosfera pri zapiranju plinske lopute.

Na sliki 2 je prikazan zapis porabe zemeljskega plina in zraka za zgorevanje v ogrevni coni. Sunkovitim spremembam dotoka plina je z veliko časovno zakasnitvijo (3—4 minute) sledila sprememba dotoka zraka za zgorevanje. S pnevmatsko regulacijo v peči ni bilo mogoče zagotoviti homogene pečne atmosfere z nizkim deležem kisika, ki se zahteva zlasti pri ogrevanju zahtevnejših kvalitet jekel.

Zastarela konstrukcija peči in neustrezen sistem regulacije sta ustvarila neenakomerno temperaturno polje in nehomogeno atmosfero v peči, ki je slabo vplivala na kvaliteto ogrevanja gredic. Zaradi slabo ogretyh gredic je pogosto prihajalo do težav pri valjanju (slabo oprijemanje in krivljenje valjanca, raztrganine in cepljenje koncev na vmesnih profilih) in številnih napak na valjancu (zažgana in razogljčena površina, obogatenje kristalnih mej z bakrom in nikljem, uvaljana škaja . . .).

3.0. REKONSTRUKCIJA PEČI

Da bi se izognili težavam pri vodenju koračne peči in ogrevanju gredic, smo se v letu 1989 odločili za rekonstrukcijo peči. Rekonstrukcijo peči je izvedla »RO Vatrostalna OOUR Inženiring Zenica« v sodelovanju s strokovnimi delavci Oddelka regulacijske tehnike in avtomatike Železarne Jesenice.

Na sliki 3 je prikazana koračna peč pred in po rekonstrukciji.

Pri rekonstrukciji peči je bil v celoti zamenjan zgornji del peči. Velike segmentne polkrožne oboke v ogrevni in izenačevalni coni je zamenjal raven strop z vgrajenimi stropnimi gorilniki (slika 4) po celotni dolžini peči, ki omogočajo enakomerno porazdelitev dovedene toplote. Stropni gorilniki so razdeljeni v tri regulacijske cone: predgrevno, ogrevno in izenačevalno cono.

Stropni gorilniki zagotavljajo dobro mešanje plina z zrakom za zgorevanje na gorilnikih in omogočajo popolno zgorevanje z minimalnim pribitkom zraka za zgorevanje oziroma minimalno vsebnostjo kisika v dimnih plinih.

Tabela 1: Tehnični podatki o peči

		pred rekonstrukcijo peči			
cona		predgr.	ogrevna	izenač.	skupaj
število gorilnikov		—	2	4	6
maks. količina plina	m ³ /h	—	1 200	600	1 800
ogrevna površina	m ²	—	66,2	34,7	100,7
		po rekonstrukciji peči			
cona		predgr.	ogrevna	izenač.	skupaj
število gorilnikov		12	18	12	42
maks. količina plina	m ³ /h	550	800	550	1 900
ogrevna površina	m ²	26,5	32,9	25,5	84,9

*1 mag. Darko Mikec, dipl. ing. met., SŽ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, C. železarjev 8

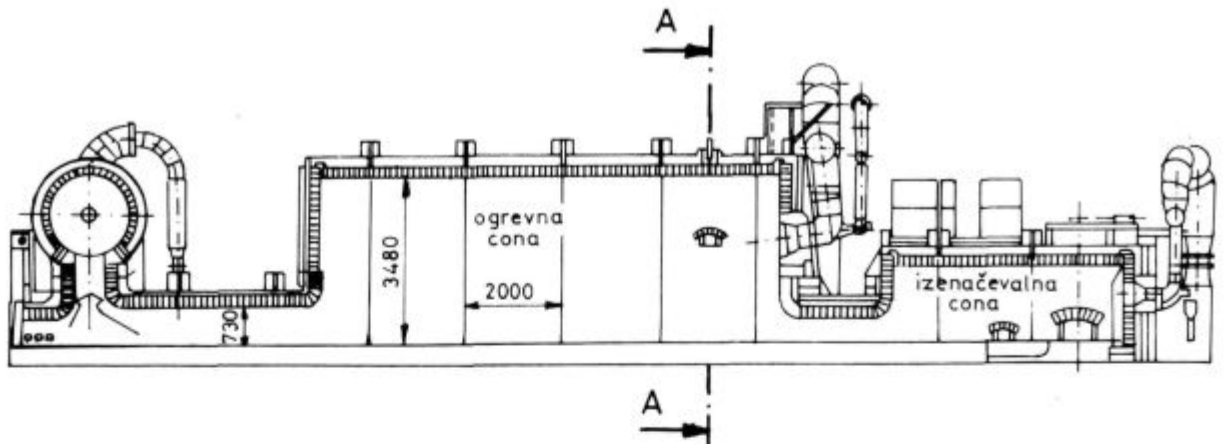
** Železarna Jesenice

** SŽ — Metalurški inštitut Ljubljana

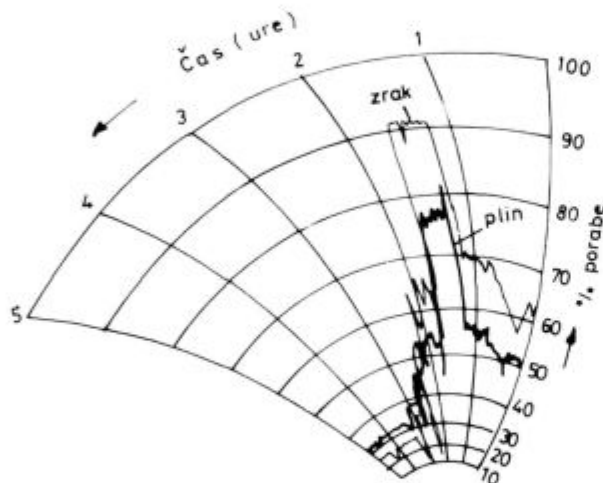
** VTOZD Montanistika, Univerza Ljubljana

** Originalno objavljeno: ZEZB 25(1991)2

** Rokopis sprejet: februar 1991



Slika 1:
Vzдолžni prerez peči z dvіžnimi gredami
Fig. 1:
Longitudinal section of the walking beam furnace



Slika 2:
Poraba plina in zraka za zgorevanje v ogreivni coni
Fig. 2:
Consumption of gas and combustion air in the heating zone

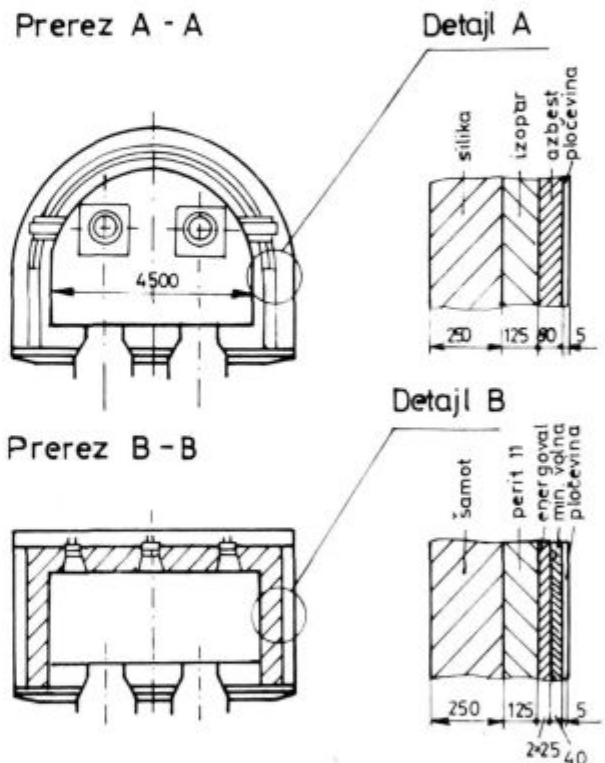
Sočasno s spremembo konstrukcije peči smo zamenjali tudi obzidavo peči.

Staro pnevmatsko regulacijo je zamenjala mikroprocesorska regulacija. Uporabili smo Honeywellov mikroprocesorski regulator TDC 2000, ki je bil rezervni regulator za globinske peči v Valjarni bluming-štekel.

TDC 2000 je osnovni večkanalni mikroprocesorski regulator iz družine TDC (Total Distributed Control). Sestavljen je iz priključnega panela, regulatorja in komandne plošče. Sistem ima 16 analognih vhodov in 8 analognih izhodov z zmogljivostjo osmih regulacijskih zank, kolikor jih je bilo tudi potrebno pri rekonstrukciji peči.

4.0. TOPLOTNOTEHNIČNE MERITVE NA PEČI

Da bi ugotovili dejanske pogoje ogrevanja in optimirali temperaturne režime ogrevanja na rekonstruirani peči, smo v sodelovanju z Metalurškim inštitutom opravili vrsto toplotnotehničnih meritev.

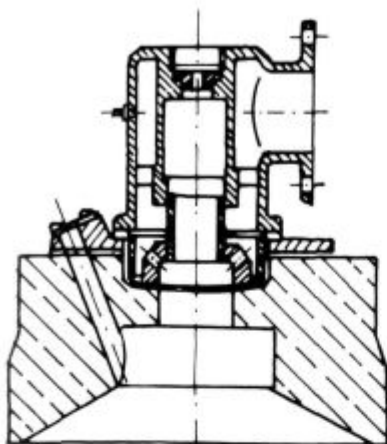


Slika 3:
Prečni prerez koračne peči pred in po rekonstrukciji
Fig. 3:
Transversal section of the furnace before and after the reconstruction

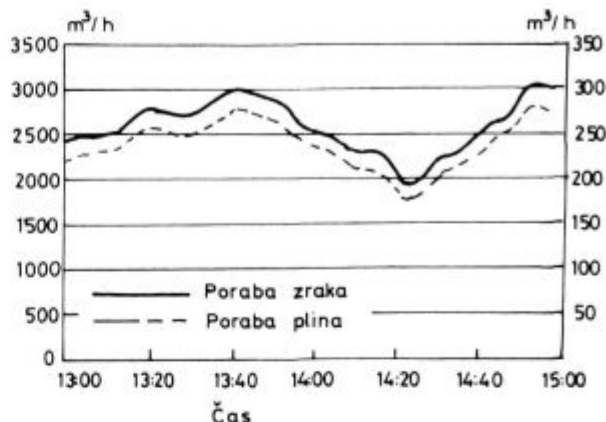
4.1. Meritve poteka ogrevanja gredice

Z vlečnimi termoelementi NiCr-Ni smo izmerili potek ogrevanja gredice pri prehodu skozi peč (slika 5). Na gredico kvalitete VAC 60 preseka $\square 135$ mm smo pritrdili dva termoelementa.

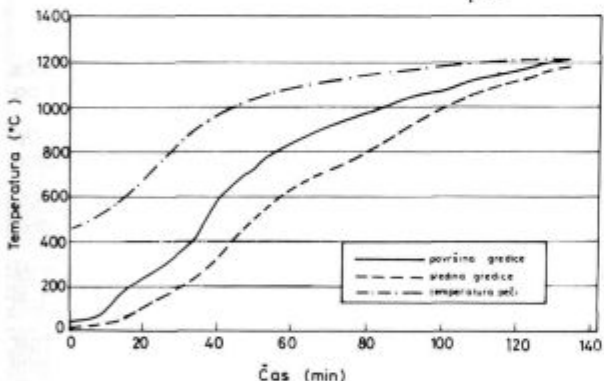
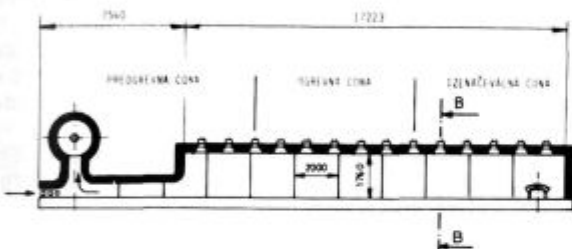
Temperature notranjega površja sten peči smo izmerili s sevalnim optičnim pirometrom na značilnih mestih vzdolž peči in vmesne vrednosti interpolirali.



Slika 4:
Prečni prerez stropnega gorilnika Bloom
Fig. 4:
Transversal section of the top burner Bloom



Slika 6:
Porabe plina in zraka za zgorevanje
Fig. 6:
Consumption of gas and of combustion air



Slika 5:
Temperaturni potek ogrevanja gredice
Fig. 5:
Temperature course in heating billets

Za neoporečno pregretost gredice je potrebno zmanjšati temperaturno razliko med temperaturo površja gredice in sredino gredice. Dobra in enakomerna pregretost gredice je predpogoj za doseganje predpisanih tolerančnih mej vroče valjane žice. Po literaturnih podatkih je pri nazivni storilnosti peči dopustna temperaturna razlika 50°C. Izmerjena temperaturna razlika med površjem in sredino gredice je bila 30°C pri storilnosti peči 22 t/h.

4.2. Kontrola zgorevanja in regulacije

Delovanje mikroprocesorske regulacije smo kontrolirali s kisikovo sondo in spremljanjem porabe zemeljskega plina in zraka za zgorevanje.

Iz slike 6 je razvidno, da je z mikroprocesorsko regulacijo možno natančno uravnavati dotok plina in zraka

brez opaznih časovnih zakasnitev, kar zagotavlja homogeno atmosfero v peči z željeno vsebnostjo kisika v dimnih plinih. Regulacija razmerja zgorevanja natančno deluje tudi v področju majhnih obremenitev peči.

S pomočjo Data Loggerja — instrumenta za avtomatsko akvizicijo podatkov, smo posneli celotno delovanje peči in dobljene podatke kasneje obdelali na računalniku. Instrument omogoča sočasno odčitavanje mA in mV signalov na več kanalih v poljubno kratkih časovnih intervalih. Vsako minuto smo zabeležili naslednje podatke:

- temperaturo, pretok plina in zraka (v vseh treh regulacijskih conah)
- temperaturo dimnih plinov (pred in za rekuperatorjem)
- tlak v peči

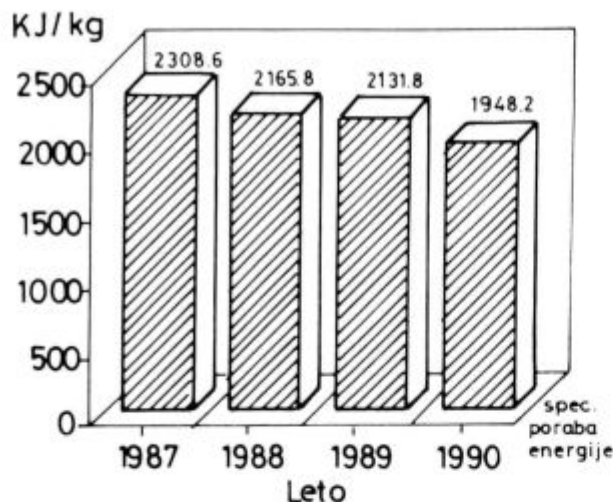
4.3. Meritve toplotnih izgub skozi stene peči

Na nerekonstruirani peči smo merili temperature zunanjih sten peči z Landovim pirometrom. Podatki izmerjenih temperatur in izračuni so pokazali, da so bile temperature zunanjih sten peči previsoke (100—240°C), zato so bile velike toplotne izgube skozi stene peči. Temperature zunanjih sten smo ponovno merili tudi pri rekonstruirani peči z novo obzidavo na več mestih vzdolž peči. Temperature in izgube skozi stene smo merili z merilnim instrumentom Shorttherm, ki omogoča direktno odčitavanje temperature in toplotnega toka oziroma izgub skozi stene v W/m². Izmerjene temperature so med 80—90°C. Bistvena prednost nove obzidave je možnost pogostejšega ustavljanja peči brez večje nevarnosti poškodb obzidave peči zaradi temperaturnih šokov, na katere je bila zelo občutljiva obzidava s silika opeko.

5.0. SPECIFIČNA PORABA TOPLOTE ZA OGREVANJE VLOŽKA

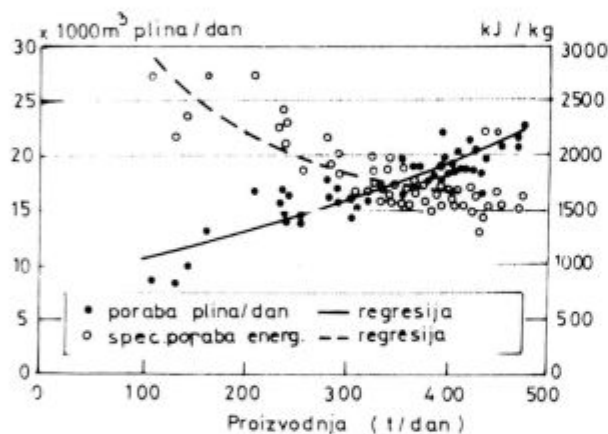
Na sliki 7 so prikazane povprečne letne specifične porabe energije pri ogrevanju vložka v koračni peči.

Specifična poraba energije je odvisna od več vplivnih faktorjev: deleža slepega kurjenja, števila zastojev na progi, načina dela valjarne, storilnosti peči, stanja rekuperatorja in obzidave peči... Vpliv storilnosti peči na specifično porabo zemeljskega plina smo analizirali za obdobje od maja do avgusta 1990 z dnevno analizo ogretyh gredic in količino porabljenega plina. Rezultati analize so prikazani na sliki 8.



Slika 7:
Povprečne letne specifične porabe energije na peči

Fig. 7:
Mean annual specific energy consumption in the furnace



Slika 8:
Vpliv storilnosti koračne peči na specifično porabo zemeljskega plina

Fig. 8:
Influence of the output of the walking beam furnace on the specific consumption of natural gas

Specifično porabo energije bi lahko še znižali z zamenjavo sedanjega igličastega rekuperatorja s cevnim rekuperatorjem. Pri sistemu igličastih rekuperatorjev so

izgube zraka za zgorevanje relativno velike in rastejo s številom elementov, ki sestavljajo rekuperator. Po podatkih iz literature se pri rekuperatorju, ki je sestavljen iz 80—100 elementov, izgubi do 30% zraka, zato je pri vzdrževanju rekuperatorja potrebno posebej skrbeti za tesnenje rekuperatorja. Prav zaradi slabega tesnenja dimnega kanala in rekuperatorja so temperature predgretega zraka prenizke (100—150°C).

6.0. SKLEPI

Koračna peč Custodis je v Valjarni žice in profilov namenjena za ogrevanje gredic na temperaturo valjanja. Zastarela konstrukcija peči in neustrezen sistem regulacije sta bila vzrok za slabo kvaliteto ogrevanja gredic. Zaradi slabo ogreth gredic smo imeli težave pri valjanju in številne napake na izvaljeni žici.

Da bi se izognili opisanim težavam, smo v letu 1989 peč rekonstruirali. Rekonstrukcija sedaj omogoča zagotovitev enakomernega temperaturnega polja in homogene atmosfere v peči, ki sta pogoj za ogrevanje zahtevnejših kvalitet jekel.

Rezultati meritev po rekonstrukciji peči so pokazali, da je kvaliteta ogrevanja boljša, povprečna letna specifična poraba energije za ogrevanje pa za 10% nižja. Na specifično porabo energije močno vpliva tudi storilnost peči, ki je odvisna od deleža slepega kurjenja in zastojev na valjavski progi. Pri dnevni storilnosti 300—400 t/dan je dosežena specifična poraba energije 1600 kJ/kg.

Specifično porabo bi lahko še znižali z obnovo dimnega kanala oziroma zamenjavo rekuperatorja za predgrevanje zraka za zgorevanje.

LITERATURA:

1. B. Glogovac, K. Hribar, T. Kolenko, D. Finžgar, P. Sekloča, R. Tolar: Možnosti izboljšanja regulacije zgorevanja na podajni peči, Poročilo, Metalurški inštitut, september 1984.
2. B. Glogovac, J. Šranc, V. Rakovec, T. Kolenko, F. Pavlin: Optimizacija režima ogrevanja vložka v podajni peči, Poročilo, Metalurški inštitut, december 1978.
3. H. Hammer: Konzeption und Betriebserfahrungen mit dem neuen 200-t/h Hubbalkenofen einer Mittelbandstraße, Stahl und Eisen, (102)1989, 1095—1103.
4. R. Schneider: Erfahrungen beim Bau und Betrieb eines deckenbeheizten 150 t/h-Hubbalkenofen mit Wendenbett einer Feinstraße, Stahl und Eisen, (97)1977, 627—632.
5. B. Glogovac, T. Kolenko, M. Hodošček, D. Mikec, D. Finžgar, M. Torkar: Ocena obratovanja koračne peči v žični valjarni, Poročilo, Metalurški inštitut, oktober 1990.
6. F. Reinitzhuber, G. Jacob, G. Hirschmann, D. Rohner: Führung von Wärmeföhen mit Mikroprozessoren — dargestellt am Beispiel einer Draht- und Feinstahlstraße, Stahl und Eisen, (4)1986, 147—153.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Hubbalkenofen Custodis im Draht und Profilverwalzwerk ist für die Erwärmung von Knüppeln auf die Walztemperatur bestimmt. Eine veraltete Konstruktion des Ofens und ein nicht entsprechendes Regulationssystem waren die Ursache für die schlechte Erwärmungsqualität von Knüppeln. Wegen der schlecht angewärmten Knüppel hatten wir Schwierigkeiten beim Walzen. Walzfehler am ausgewalzten Draht waren die Folgen davon. Um diese Schwierigkeiten umzugehen haben wir im Jahre 1989 den Ofen rekonstruiert. Der rekonstruierte Ofen sichert ein gleichmässiges Temperaturfeld und eine homogene Atmosphäre im Ofen, was eine Bedingung für die Erwärmung höherwertiger Stahlgüten ist.

Die Ergebnisse der Messungen nach der Rekonstruktion des Ofens, haben eine bessere Qualität der Erwärmung, und eine Verminderung des durchschnittlichen jährlichen spezifischen Energieverbrauches um 10 %, für die Erwärmung, ergeben. Auf den spezifischen Energieverbrauch hat die Ofenbeileistung einen grossen Einfluss, diese ist von dem Anteil der Blindheizung und von den Stillständen auf der Walzenstrasse abhängig. Bei der Tagesleistung 300—400 t/Tag ist ein spezifischer Energieverbrauch von 1600 kJ/kg erreicht worden. Weitere Möglichkeiten für die Verminderung des spezifischen Energieverbrauches sind durch die Erneuerung des Abgaskanales bzw. durch den Austausch des Rekuperators gegeben.

SUMMARY

Custodis walking beam furnace is used in the wire and section rolling plant to heat billets to the rolling temperature. Old design of the furnace and unsuitable regulation system were the reason of low quality billet heating. Because of these problems numerous defects in the rolled wire appeared during rolling.

In order to avoid the described problems the furnace was reconstructed in 1989. The reconstructed furnace enables to achieve an uniform temperature field and homogeneous atmosphere in the furnace which is the condition in heating more demanding steel qualities.

Results of measurements after the furnace reconstruction showed the improved quality of heating, and simultaneously a 10 % reduction of specific mean annual energy consumption was achieved. Specific energy consumption also highly depends on the furnace output which is influenced by the periods of idling and stoppages in rolling line. If daily output is 300—400 t the achieved specific energy consumption is 1600 kJ/kg. Specific energy consumption can be further reduced by the renewal of flue channel or substitution of recuperator.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Печь „Кустодис“ на Заводе по прокатке проволоки и профилей предназначена для нагревания заготовок на температуру прокатки. Застаревшая конструкция печи и негодная система регулировки явились причиной плохого качества нагревания заготовок. Из-за плохо нагретых заготовок у нас проявились проблемы в прокатке, а также численные дефекты на прокатанной проволоке. Чтобы уклонились описанным проблемам мы в 1989 г. реконструировали печь. Реконструированная печь позволяет обеспечить равномерно температурного поля и гомогенную атмосферу в печи, что является условием по нагреванию сложных марок стали.

Результаты измерений после реконструкции печи показали лучшее качество нагревания и снижение среднего годового специфического расхода энергии для нагревания за 10 %. На специфический расход энергии печи мощно влияет также производительность печи, которая зависит от доли светлой толки и застойев на прокатной линии. При производительности 300—400 тонн в день достигается специфический расход энергии 1600 кДж/кг. Специфический расход бы также могли снизить с реконструкцией димового канала т. е. сменой рекуператора.



IZDELUJEMO

- debelo, srednjo in tanko pločevino
- hladno valjane trakove in pločevino
- dinamo trakove in pločevino
- nerjavne trakove in pločevino
- vlečeno, brušeno in pločevino
- valjano in vlečeno žico
- patentirano žico
- pleteno patentirano žico za prednapeti beton
- hladno oblikovane profile
- kovinske podboje za vrata
- dodajni material za varjenje
- žičnike
- jeklene odlitke
- tehnične pline

NUDIMO TUDI USLUGE

- prevajanja, vlečenja, iztiskanja
in toplotne obdelave
pločevin in žice

**120 let
TRADICIJE
ZNANJA**

**in
KAKOVOSTI
naših izdelkov**



ŽELEZARNA JESENICE

64270 Jesenice, Cesta železarjev 8
telefon: (064) 81-231, 81-341, 81-441
telex: 34526 ZELJSN Jugoslavija
telefax: 83 395

Ugotavljanje začetnega temperaturnega stanja vročih plošč pri zalaganju v potisno peč

T. Kolenko¹, M. Debelak², B. Glogovac²

UDK: 536.55:536.21:681.3.06:669-147
ASM/SLA: F21b, D9q, S16b, U4k, P11m

Raziskan je problem ugotavljanja začetnega temperaturnega stanja pri toplem zalaganju plošč v potisno peč. Izhodišče raziskave predstavlja matematični model kontinuirnega ulivanja plošč, ki je predhodni proces ogrevanja plošč v potisni peči. Upoštevani so vsi robni pogoji, ki vplivajo na ohlajanje plošč, od začetka ulivanja do transporta plošč do peči. Rezultati raziskave so prikazani v diagramih, ki prikazujejo temperaturo v sredini in na površju plošč v odvisnosti od časa.

UVOD

Za vodenje ali analizo procesnih sistemov je potrebno skrbno definirati posamezne faze procesa, začetna stanja v sistemu in druge robne pogoje. Pri ogrevanju vložka v potisni peči na temperaturo tople predelave predstavlja poseben problem določitev začetnega temperaturnega stanja vložka, ki vsebuje določeno entalpijo kot posledico predhodnega procesa. V pogojih normalnega obratovanja ni mogoče direktno z meritvami določiti začetne temperaturne porazdelitve v plošči pri zalaganju v vročem stanju. Tudi bi to bilo nesmotrno, ker začetno temperaturno stanje ni enolično, ampak se spreminja odvisno od obratovalnih pogojev. Zato smo določitev začetnega temperaturnega stanja v vročih zalozenih ploščah, ulitih na napravi za kontinuirno ulivanje, osnovali na poznavanju osnovnih zakonitosti procesa kontinuirnega ulivanja plošč. Podoben problem z zahtevnimi meritvami v zvezi s tehniko transporta vročih plošč je obdelan v literaturi.¹

2. SPOZNAVANJE S PROCESOM KONTINUIRNEGA ULIVANJA

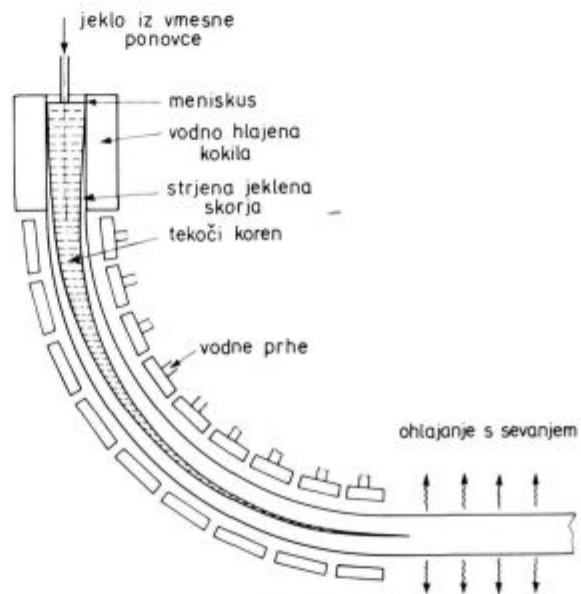
Po svoji naravi je kontinuirno ulivanje jekla predvsem proces odvajanja toplote. Pretvorba staljenega jekla v strjeno obliko polizdelka zahteva odvajanje:

- entalpije, ki jo ima talina zaradi višje temperature, kot je temperatura likvidusa;
- tališne toplote na fronti strjevanja, ko se talina transformira v strjeno jeklo;
- entalpije strjene skorje.

Te toplotne tokove odvedemo s kombinacijo mehanizmov prenosa toplote:²

- konvekcije v tekočem korenu, ki nastane zaradi vrtincev pri ulivanju taline iz vmesne ponovce v kokilo in vzgona;
- prevajanja toplote v smeri padanja temperaturnega gradienta v strjeni skorji od vroče fronte strjevanja proti hladnejšemu zunanemu površju žile;

— zunanjega prenosa toplote s sevanjem, prevajanjem in konvekcijo v treh glavnih conah odvajanja toplote, ki so: kokila, prhe in podporni valji ter cona sevanja na okolico. Te cone so prikazane v sliki 1.



Slika 1.

Cone odvajanja toplote v napravi za kontinuirno ulivanje jekla

Fig. 1

Zones of heat removal in a continuous casting machine

Ker ima prenos toplote pomembno vlogo pri kontinuirnem ulivanju, je zaželeno, da procese prevajanja toplote razumemo tudi kvantitativno, kar nam omogoča, da predvidimo profil fronte strjevanja in porazdelitev temperatur kot funkcijo spremenljivk ulivanja.

Matematična formulacija temelji na osnovni enačbi prevajanja toplote v nestacionarnem temperaturnem polju, na obratovalnih podatkih o hladilni vodi, na empiričnih podatkih, ki opisujejo zapletene procese odvajanja toplote na površju žile v hladilnih conah, in na zakonu o sevanju trdnih teles.

S stališča matematične simulacije je smotno privzeti, da se toplota prevaja samo v prečni smeri (x, y) in da ni prevajanja v osni smeri. Tako lahko opazujemo presek žile, ki ima dvodimenzionalni značaj. Med potovanjem od meniskusa do mesta rezanja se presek ohlaja pod različnimi robnimi pogoji, ki vladajo v kokili, pod prhami in na izteku žile. Čas razdelimo na kratke časovne intervale in ker je hitrost ulivanja » v « konstantna, lahko izračunamo položaj preseka v osni smeri » z « ob vsakem povečanju časa » t « za » Δt «, $z = v \cdot t$, s tem pa tudi robne pogoje.

¹ Doc. dr. Tomaž Kolenko, docent FNT, VTOZD Montanistika, Aškerčeva 20, Ljubljana

² SŽ — Metalurški inštitut Ljubljana

*Originalno objavljeno: ZEB 25(1991)2

**Rokopis sprejet: februar 1991

Takšno gledanje na proces ohlajanja pa pomeni, da lahko problem ohlajanja žile obravnavamo kot dvodimenzionalni primer prevajanja toplote v nestacionarnem temperaturnem polju pri spreminjajočih se robnih pogojih, ki ga opišemo z en. (1):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \right) = \rho c_p \frac{\partial \vartheta}{\partial t} \quad 1$$

Za rešitev en. (1) moramo določiti začetne in robne pogoje. Začetne pogoje dobimo z določitvijo temperaturne porazdelitve v meniskusu, ki je navadno enakomerna in enaka temperaturi ulivanja, ϑ_p :

$$0 \leq x \leq X; 0 \leq y \leq Y, \vartheta(x, y) = \vartheta_p \quad 2$$

Robne pogoje na površju žile izpeljemo iz predpostavke o kontinuiteti toplotnega toka:

$$x=0, -\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \Big|_{x=0} = q_0 \quad 3$$

$$y=0, -\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial y} \Big|_{y=0} = q_0 \quad 4$$

kjer je q_0 toplotni tok na površju, značilen za vsako hladilno cono. Z besedami ti robni pogoji pomenijo, da je toplotni tok, ki prihaja iz notranjosti na površje, enak zunanemu toplotnemu toku, ki ga moramo določiti empirično. Tako so potrebne meritve profila toplotnega toka v kokili v odvisnosti od hitrosti ulivanja, kvalitete jekla in tipa mazila. Podobno so potrebni eksperimenti za določitev toplotnega toka v prhah za različne tipe šob in njihovo razporeditev kot tudi za konfiguracijo podpornih valjev. Podatke o toplotnih tokovih izrazimo s toplotno prestopnostjo, ki je definirana z en. (5):

$$\alpha = \frac{q_0}{\Delta \vartheta} \quad 5$$

kjer je $\Delta \vartheta$ temperaturna razlika med temperaturo površja žile in hladilnega sredstva. V coni hlajenja s sevanjem izrazimo q_0 s Stefan-Boltzmannovim zakonom:

$$q_0 = \alpha \varepsilon (T_0^4 - T_s^4) \quad 6$$

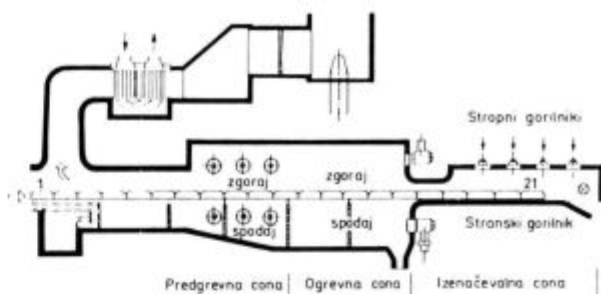
kjer je emisivnost površja žile 0.8.

V pričujoči raziskavi smo robne pogoje v kokili določili iz pretokov in temperaturnih narastkov vode. Toplotno prestopnost v coni ohlajanja pod prhami smo izračunali s kombinacijo meritev in simulacije ohlajanja z matematičnim modelom.

3. SPOZNAVANJE S PROCESOM OGREVANJA PLOŠČ V POTISNI PEČI

Tako kot prehaja žila pri kontinuiranem ulivanju skozi različne cone ohlajanja, tako tudi plošče v potisni peči potujejo skozi različne ogrevne cone v potisni peči kot prikazuje **slika 2**.

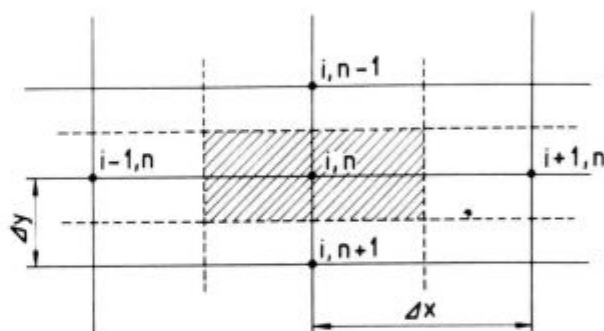
Proces ogrevanja plošč teče neprekinjeno. Ob vsakem pomiku se plošča premakne za razdaljo, ki je enaka širini plošče. Ni nujno, da so intervali zadrževanja plošče na posameznem mestu enaki, ker prihaja do zastojev na spremljajočih napravah. Tako tudi vsaka plošča ni v peči enako dolgo. Z modelom računamo temperaturni profil v plošči, povprečno temperaturo plošče in največjo temperaturno diferenco v plošči ter vodimo evidenco o času zadrževanja plošče na položajih v peči med dvema izvlačenjema in o temperaturi sten peči.



Slika 2.
Peč za kontinuirno ogrevanje jeklenih plošč
Fig. 2.
Continuous steel slab reheating furnace

4. PREVAJANJE TOPLOTE V PLOŠČI OBRAVNAVANO V DVEH DIMENZIJAH

Za prevajanje toplote v dveh dimenzijah v pravokotnem koordinatnem sistemu uporabimo numerično tehniko končnih diferenc. Naredimo energijsko bilanco za pravokotni element po **sliki 3**:



Slika 3.
Nomenklatura za dvodimenzionalno mrežo v notranjosti ploščatega telesa
Fig. 3.
Nomenclature for numerical solution of two-dimensional heat conduction inside a slab

Vsota toplotnih tokov v ali iz elementa je enaka povečanju ali zmanjšanju entalpije elementa. En. (7) predstavlja matematični zapis energijske bilance s končnimi diferencami.

$$\begin{aligned} & \lambda \Delta y \frac{\vartheta_{i-1,n}^p - \vartheta_{i,n}^p}{\Delta x} + \lambda \Delta y \frac{\vartheta_{i+1,n}^p - \vartheta_{i,n}^p}{\Delta x} + \\ & + \lambda \Delta x \frac{\vartheta_{i,n-1}^p - \vartheta_{i,n}^p}{\Delta y} + \lambda \Delta x \frac{\vartheta_{i,n+1}^p - \vartheta_{i,n}^p}{\Delta y} = \\ & = \rho c_p \Delta x \Delta y \frac{\vartheta_{i,n}^{p+1} - \vartheta_{i,n}^p}{\Delta t} \quad 7 \end{aligned}$$

Iz energijske bilance izrazimo enačbo za prevajanje toplote v nestacionarnem temperaturnem polju v dveh dimenzijah s končnimi diferencami:

$$\begin{aligned} & \frac{\vartheta_{i+1,n}^p + \vartheta_{i-1,n}^p - 2\vartheta_{i,n}^p}{\Delta x^2} + \frac{\vartheta_{i,n+1}^p + \vartheta_{i,n-1}^p - 2\vartheta_{i,n}^p}{\Delta y^2} = \\ & \frac{1}{a} \frac{\vartheta_{i,n}^{p+1} - \vartheta_{i,n}^p}{\Delta t} \quad 8 \end{aligned}$$

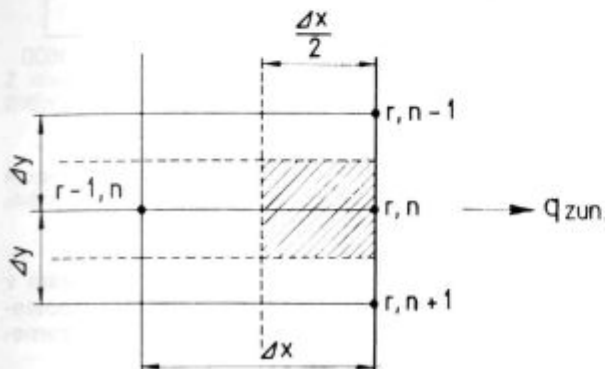
kjer je $a = \lambda / c_p$.

Iz en. (8) izrazimo temperaturo mrežne točke v naslednjem časovnem intervalu s temperaturami te mrežne točke in sosednjih točk v trenutnem časovnem intervalu kot kaže en. (9). Indeks »i« pomeni koordinate mrežnih točk v smeri »x« indeks »n« pa koordinate točk v smeri »y«.

$$\begin{aligned}
 \vartheta_{i,n}^{p+1} = & \frac{a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left(\frac{1}{q} \vartheta_{i+1,n}^p + \frac{1}{q} \vartheta_{i-1,n}^p + q \vartheta_{i,n+1}^p + q \vartheta_{i,n-1}^p \right) \\
 & + \left[1 - \frac{2a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left(\frac{1}{q} + q \right) \right] \vartheta_{i,n}^p
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$q = \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

Za površje plošče moramo narediti energijsko bilanco posebej po **sliki 4**:



Slika 4.

Vozli končnih diferenc za numerično rešitev dvodimenzionalnega prevajanja toplote na površju plošče

Fig. 4.

Finite-difference nodes for numerical solution of twodimensional heat conduction on the slab surface

$$\begin{aligned}
 \lambda \Delta y \frac{\vartheta_{r-1,n}^p - \vartheta_{r,n}^p}{\Delta x} + \lambda \frac{\Delta x}{2} \frac{\vartheta_{r,n-1}^p - \vartheta_{r,n}^p}{\Delta y} \\
 + \lambda \frac{\Delta x}{2} \frac{\vartheta_{r,n+1}^p - \vartheta_{r,n}^p}{\Delta y} + \Delta y q_{zun} = \rho c_p \frac{\Delta x}{2} \Delta y \frac{\vartheta_{r,n}^{p+1} - \vartheta_{r,n}^p}{\Delta t}
 \end{aligned} \tag{10}$$

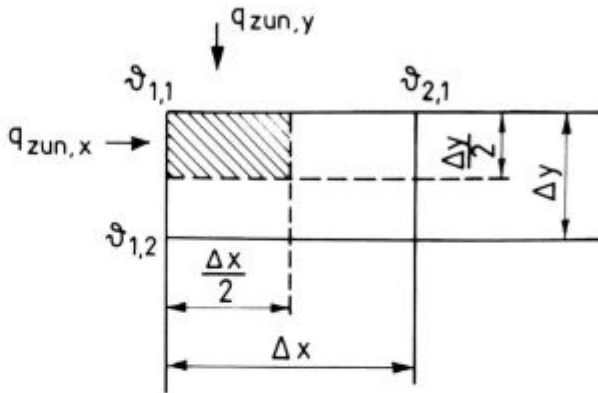
q_{zun} je toplotni tok, ki priteka (+) v točko (r, n) na površju iz okolice ali odteka (-) iz točke (r, n) v okolico. Izražen mora biti v W/m^2 .

Iz en. (10) izrazimo temperaturo v točki na površju za naslednji časovni interval »p+1« s temperaturo te točke, temperaturami sosednjih točk in toplotnim tokom, ki ga točka izmenjuje z okolico.

$$\begin{aligned}
 \vartheta_{r,n}^{p+1} = & \frac{a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left\{ 2 \frac{1}{q} \vartheta_{r-1,n}^p + q \vartheta_{r,n+1}^p + q \vartheta_{r,n-1}^p + \right. \\
 & \left. + \left[\frac{\Delta x \Delta y}{a \Delta t} - 2 \left(\frac{1}{q} + q \right) \right] \vartheta_{r,n}^p + 2 \frac{1}{\lambda} \Delta y q_{zun} \right\}
 \end{aligned} \tag{11}$$

Za rob ploščatega telesa oziroma vogal glede na dvodimenzionalno predstavitev mreže točk po **sliki 5** prav tako naredimo energijsko bilanco:

$$\begin{aligned}
 \lambda \frac{\Delta x}{2} \frac{\vartheta_{1,2}^p - \vartheta_{1,1}^p}{\Delta y} + \lambda \frac{\Delta y}{2} \frac{\vartheta_{2,1}^p - \vartheta_{1,1}^p}{\Delta x} + \frac{\Delta y}{2} q_{zun,x} + \\
 \frac{\Delta x}{2} q_{zun,y} = \rho c \frac{\Delta x \Delta y}{2} \frac{\vartheta_{1,1}^{p+1} - \vartheta_{1,1}^p}{\Delta t}
 \end{aligned} \tag{12}$$



Slika 5.

Vozli končnih diferenc za numerično rešitev dvodimenzionalnega prevajanja toplote na robu plošče

Fig. 5.

Finite-difference nodes for numerical solution of twodimensional heat conduction on the slab edge

Energijska bilanca po en. (12) je izdelana za ogrevanje robu. Če se toplota odvaja v okolico, potem je potrebno $q_{zun,x}$ in $q_{zun,y}$ upoštevati z negativnim predznakom.

$$\begin{aligned}
 \vartheta_{1,1}^{p+1} = & \frac{2 a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left\{ q \vartheta_{1,2}^p + \frac{1}{q} \vartheta_{2,1}^p + \left[\frac{\Delta x \Delta y}{2 a \Delta t} - \left(\frac{1}{q} + q \right) \right] \vartheta_{1,1}^p \pm \right. \\
 & \left. \pm \frac{\Delta y}{\lambda} q_{zun,x} \pm \frac{\Delta x}{\lambda} q_{zun,y} \right\}
 \end{aligned} \tag{13}$$

+ velja za dovajanje toplotnega toka od zunaj
- velja za odvajanje toplotnega toka navzven

5. UPOŠTEVANJE SIMETRIČNEGA PREVAJANJA TOPLOTE V MODELU

Zaradi simetrije upoštevamo v modelu samo eno četrtino preseka, s čimer pridobimo precej računalniškega časa. Zato pa moramo dodatno nastaviti enačbe za temperature na oseh preseka plošče. Temperaturo točk, ki ležijo na polovici debeline (smer y) v smeri x, izračunamo iz en. (9), za katero velja, da je zaradi simetričnega temperaturnega polja $\vartheta_{i,my2+1}^p = \vartheta_{i,my2-1}^p$:

$$\begin{aligned}
 \vartheta_{i,n}^{p+1} = & \frac{a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left(\frac{1}{q} \vartheta_{i+1,my2}^p + \frac{1}{q} \vartheta_{i-1,my2}^p + 2 q \vartheta_{i,my2-1}^p \right) + \\
 & + \left[1 - \frac{2 a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left(\frac{1}{q} + q \right) \right] \vartheta_{i,my2}^p
 \end{aligned} \tag{14}$$

my 2 izračunamo: $my \text{ div } 2 + 1$; število točk my v smeri y mora biti liho.

Temperaturo v točkah, ki ležijo v smeri y na polovici širine (smer x), izračunamo prav tako iz en. (9), za katero velja, da je zaradi simetričnega prevajanja toplote $\vartheta_{mx2+1,n}^p = \vartheta_{mx2-1,n}^p$:

$$\begin{aligned}
 \vartheta_{mx2,n}^{p+1} = & \frac{a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left(2 \frac{1}{q} \vartheta_{mx2-1,n}^p + q \vartheta_{mx2,n+1}^p + q \vartheta_{mx2,n-1}^p \right) + \\
 & + \left[1 - \frac{2 a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left(\frac{1}{q} + q \right) \right] \vartheta_{mx2,n}^p
 \end{aligned} \tag{15}$$

mx 2 izračunamo: $mx \text{ div } 2 + 1$; število točk mx v smeri x mora biti liho.

Temperaturo v točki v sredini preseka izračunamo iz en. (9) z analognim premislekom ob upoštevanju ustreznih indeksov:

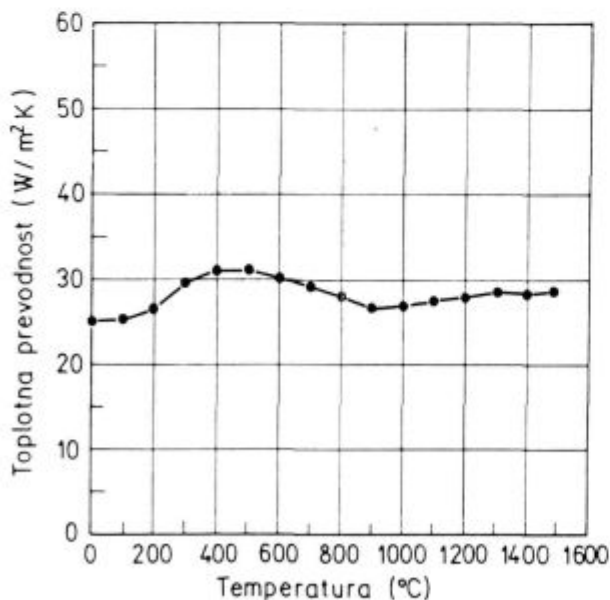
$$g_{mx 2, my 2}^{p+1} = \frac{a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left(2 \frac{1}{q} g_{mx 2-1, my 2}^p + 2 q g_{mx 2, my 2-1}^p \right) + \left[1 - \frac{2 a \Delta t}{\Delta x \Delta y} \left(\frac{1}{q} + q \right) \right] g_{mx 2, my 2}^p \quad 16$$

6. UPORABA MATEMATIČNEGA MODELA ZA UGOTOVITEV ZAČETNE TEMPERATURE PRI ZALAGANJU VROČIH PLOŠČ V POTISNO PEČ

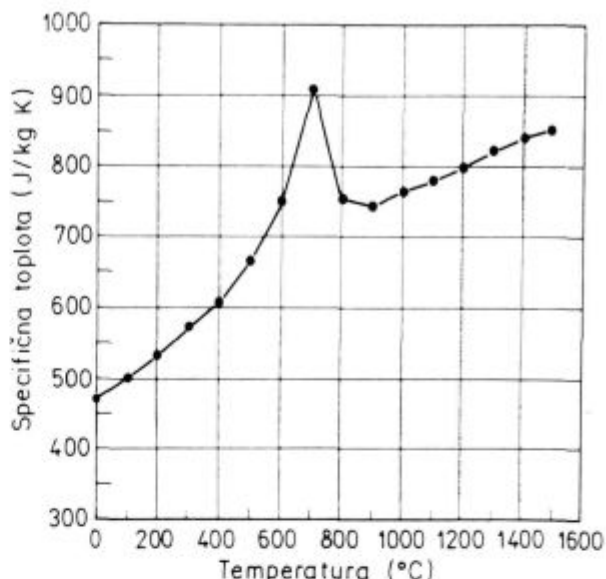
Pri kontinuirnem ulivanju vplivajo na strjevanje plošč številne procesne veličine:

- temperatura ulivanja jekla,
- kemijska sestava jekla in s tem njegova toplotna prevodnost, specifična toplota in talilna toplota,
- debelina in širina plošče,
- pretok in temperatura hladilne vode v kokili,
- značilnosti sekundarnega hlajenja: intenziteta in čas ohlajanja pod prhami ter čas ohlajanja s sevanjem.

Z modelom smo simulirali ulivanje 200 mm debelih in 1050 mm širokih plošč iz dinamo jekla s temperaturo ulivanja 1527°C, likvidus temperaturo 1507°C in solidus temperaturo 1486°C. Privzeli smo, da je meniskus taline v 700 mm visoki kokili 100 mm pod vrhom kokile. Pretok hladilne vode skozi kokilo za ohlajanje širine plošče je 2,700 m³/h in za ohlajanje debeline plošče 0,350 m³/h. V obeh primerih se voda ogreje za 6°C. Iz teh podatkov izračunamo povprečni odvedeni toplotni tok na m² s površja posebej preko širine in debeline plošče. Diagrami toplotne prevodnosti in specifične toplote so prikazani v **sliki 6 in 7**. Za izračun prevajanja toplote v talini privzamemo, da se temperature zaradi konvekcijski tokov hitro izenačijo po preseku. Zato vzamemo za toplotno pre-



Slika 6.
Toplotna prevodnost dinamo jekla
Fig. 6.
Thermal conductivity of electrical steel

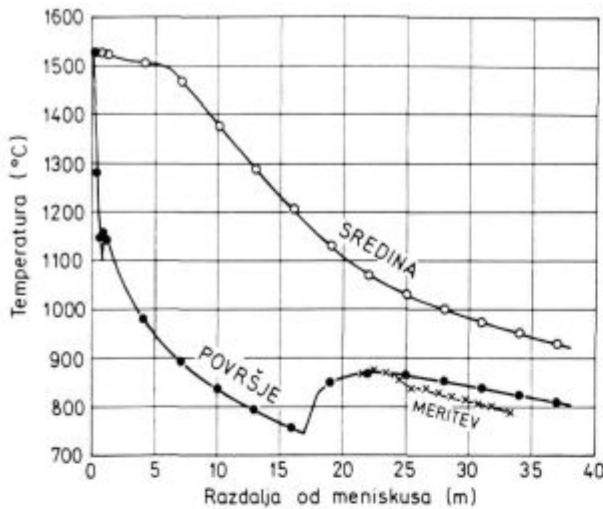


Slika 7.
Specifična toplota dinamo jekla
Fig. 7.
Specific heat of electrical steel

vodnost relativno visoko vrednost glede na diagram v **sliki 6**, in sicer 100 W/m²K. Pri specifični toploti upoštevamo v področju strjevanja še talilno toploto. Privzamemo vrednost 7890 J/kg K.¹

Pomembni podatki so še: hitrost ulivanja 1 m/min, dolžina hladilne cone pod prhami 16,493 m in celotna dolžina poti od meniskusa do mesta, kjer z dvigalom prenesemo ploščo pod prenosni pokrov, 38,321 m. Pod en prenosni pokrov je zloženih po 10 plošč ena na drugo. Po povprečno 640 min gredo plošče v potisno peč. Toplotno prestopnost med površjem plošč in hladilno vodo določimo s kombinacijo uporabe matematičnega modela in meritev temperatur na površju plošč v coni ohlajanja s sevanjem. Vrednost toplotne prestopnosti variramo, dokler se izmerjene in izračunane temperature na površju plošč v coni ohlajanja s sevanjem ne ujemajo v mejah tolerance meritev. Primerjava izračunanih in izmerjenih temperatur je prikazana z diagramoma v **sliki 8**. Profil strjevanja je prikazan v **sliki 9**. Iz diagrama strjene debeline žile v odvisnosti od časa je razvidno, da je predvideni čas strjevanja 200 mm debele plošče 420 s.

Za to raziskavo je pomemben rezultat tudi potek ohlajanja pod prenosnim pokrovom. Za simulacijo ohlajanja pod prenosnim pokrovom so v matematičnem modelu spremenjeni robni pogoji. Glede na način zlaganja plošč smo privzeli, da se plošče ohlajajo le preko ploskev, ki se raztezajo po debelini, medtem ko so ploskve, ki se raztezajo po širini, toplotno izolirane. Diagram ohlajanja površja plošče in sredine kaže, da se po 900 s temperature v plošči praktično izenačijo, plošča pa se nato ohlaja zelo počasi. Račun torej kaže, da pridejo plošče do potisne peči z enakomerno temperaturo. Simulacija ohlajanja pod prenosnim pokrovom za 2513 s od časa izenačenja temperatur kaže, da se plošče ohladijo v tem času za 11°C. Zato lahko pričakujemo, da bodo imele plošče po 10 urah povprečnega zadrževanja pod havbo 158°C nižjo temperaturo od 878°C, ki je izračunana temperatura ob izenačenju. Pred peč pridejo torej plošče s temperaturo 720°C.

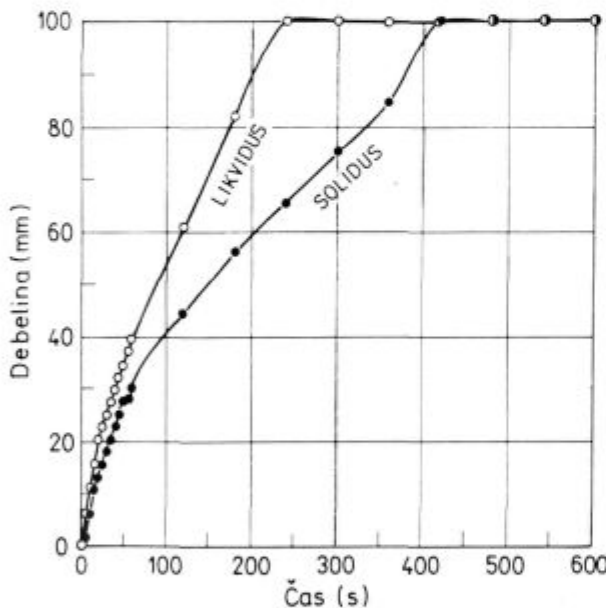


Slika 8.

Z modelom predvidene temperature na površju in v sredini 200 mm plošče ter primerjava z izmerjenimi vrednostmi na površju plošče

Fig. 8.

Model predicted surface and center temperatures of 200 mm slab and comparison with values measured from the slab surface



Slika 9.

Profil strjevanja

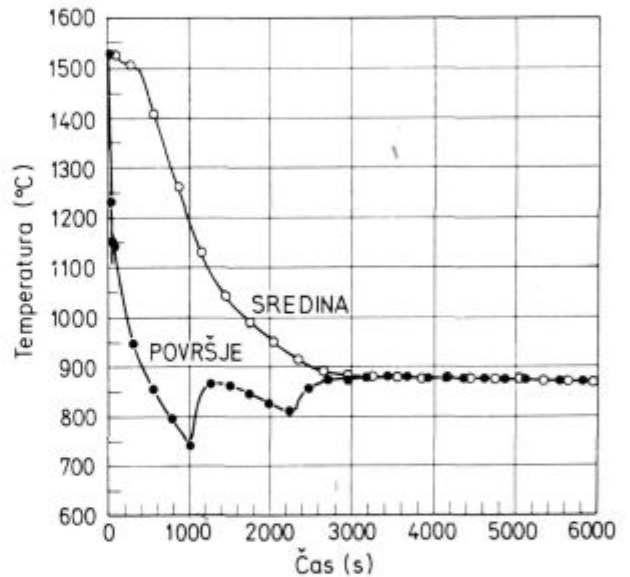
Fig. 9.

Solidification profile

7. SKLEP

Raziskava obravnava ugotavljanje začetne temperaturne porazdelitve v ploščah, ki se zalagajo v potisno peč v toplen stanju. Temperaturno stanje v toplih ploščah je rezultat predhodnega procesa odvajanja toplote pri kontinuirnem ulivanju plošč. Ker temperaturno stanje plošč pred zalaganjem v potisno peč ni enolično odvisno

od obratovalnih pogojev predhodnih postopkov, smo razvili matematični model, ki simulira strjevanje in ohlajanje kontinuirno ulitih plošč. Model obravnava problem dvodimenzionalno, kar pomeni, da je po potrebi možno študirati tudi ohlajanje robov. V modelu je možno variirati robne pogoje. Zbrali smo povprečne podatke o robnih pogojih, ki vladajo pri kontinuirnem ulivanju plošč v Železarni Jesenice, in zanje simulirali potek procesa. Izvedli smo tudi meritve temperatur na površju plošč v coni ohlajanja s sevanjem, ki je meritvam edina dostopna. S primerjavo izračunanih in izmerjenih temperatur smo po nekaj ponovitvah simulacije lahko ocenili toplotno prestopnost v coni vodnih prh. Rezultat analize postopka ravnjenja s ploščami kaže, da pridejo plošče pred peč z enakomerno temperaturno porazdelitvijo, kar nam pri računalniškem vodenju potisne peči omogoča določiti začetno stanje z meritvijo temperature površja plošče. Velikost temperature je odvisna od časa, ki mine od trenutka zlaganja pod prenosni pokrov do transporta v peč. Glede na privzete povprečne pogoje obratovanja bi plošče prišle pred peč s temperaturo 720°C. (Slika 10)



Slika 10.

Izenačenje temperatur v ploščah pod prenosnim pokrovom

Fig. 10.

Uniforming of temperatures under the portable cover

LITERATURA

1. Voigt H., Bullerschen K. G. in Friderich R.: Untersuchungen zum Heisstransport von Stranggussbrammen, Stahl und Eisen 110, 1990, 6, 97—105.
2. Brimacombe J. K., Samarasekera I. V. in Lait J. E.: Continuous Casting, Vol. 2, Heat Flow, Solidification and Crack Formation, BookCrafters, U.S.A. 1984.

Zahvala

Zahvaljujemo se vodstvu kontinuirne livne naprave v Jeklarni II Železarne Jesenice, da je omogočilo meritve in posredovalo potrebne podatke.

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Prozesseführung des Erwärmungsvorganges im Stossofen ist es nötig die Anfangs und die Randbedingungen zu definieren. Ein Sonderproblem stellen vor, die Anfangsbedingungen beim Erwärmen von Stranggussbrammen, die einen Wärmehalt von dem vorgehendem Prozess haben. Die Bestimmung des Anfangstemperaturzustandes von warmeingesetzten Stranggussbrammen in den Stossofen, basiert auf den Grundgesetzmässigkeiten der Wärmeübertragung beim Stranggiessen von Brammen. Die Wärmeleitung wird in zwei Dimensionen behandelt. Es wird vorausgesetzt, dass die Wärme in der Querrichtung geleitet wird, während den die Wärmeleitung in der Längsrichtung vernachlässigt werden kann. Vom Meniskus aus bis zu der Schneide kült der Querschnitt des Stranges unter verschiedenen Randbedingungen ab, die in der Kokille, in der Sekundärkühlzone, und am Auslauf des Stranges herrschen. Die Zeit wird auf kurze Zeitintervalle Δt geteilt. Die Giessgeschwindigkeit ist konstant, so kann bei jeder Verlängerung der Zeit um Δt , die Lage des Querschnittes, und damit die Randbedingungen, berechnet werden. Für die Simulation der

Wärmeleitung ist die Differenzmethode angewendet worden. Die Ergebnisse werden in Diagrammen von Abkühlkurven, der Mitte, und der Oberfläche des Stranges, und der Abkühlfront, in Abhängigkeit von der Zeit, gezeigt. Für die Simulation der Abkühlung von Stranggegossenen Brammen, die in Staffeln gelagert, unter einem Deckel abkühlen, werden im Modell nur die Randbedingungen geändert. Die Ergebnisse für diese Abkühlphase werden an zwei Diagrammen von Abkühlkurven, der Mitte, und der Oberfläche, gezeigt. Aus den Diagrammen für die Abkühlung der Oberfläche und der Mitte der Bramme ist ersichtlich, dass sich die Temperaturen nach 900 s praktisch ausgleichen. Die Simulation der Abkühlung von Brammen unter einem Deckel zeigt, daß in 2513 s, gerechnet nach dem Temperatureausgleich, die Brammen in dieser Zeit um 11°C abkühlen. Nach im Durchschnitt 10 stündiger Verweilzeit unter dem Deckel wird die Temperatur der Brammen um 158°C niedriger, von der ausgerechneten Ausgleichstemperatur von 878°C . Vor den Stossofen kommen die Brammen mit einer Temperatur von 720°C .

SUMMARY

The process control of slabs reheating in the pusher furnace requires initial and boundary conditions to be specified. A special problem arises with the hot charging of slabs which have a certain sensible heat from a beforehand process. Therefore, the determination of temperature distribution in the hot charged slabs is based on the mathematical model of heat extraction during the continuous casting of slabs, which is the beforehand process. The mathematical formulation is based on the first principles of heat transfer, and on empirical data. The heat conduction is treated in two dimensions. It is supposed that heat is conducted only in transverse direction, the conduction in axial direction being neglected. From the meniscus to the cut-off stand the transverse slice of the strand is being cooled under different boundary conditions which exist in the mold, spray cooling zone and radiant cooling zone. The casting time is divided into short time intervals Δt . As the casting speed is constant, the position of the transverse slice can be calculated and, therefore, boundary conditions specified at each in-

crease of time Δt . For the solution of heat conduction equation the explicit finite difference method was adopted. The results are shown in diagrams of center and surface cooling curves as well as solidification front as a function of time. For the simulation of cooling of slabs, which are piled up under movable cover after leaving cut-off stand, only the boundary conditions are changed in the mathematical model. The results are once again shown in diagrams of center and surface cooling curves. The cooling curves show that after 900 s the temperature distribution is uniform. Further simulation of cooling under the movable cover for 2513 s from the time of temperature equalisation show, that the slabs are cooled down 11°C . After keeping the slabs under the movable cover 10 hours in average, the slabs will have 158°C lower temperature of 878°C , which is calculated at the equalisation of temperatures. The initial temperature distribution before charging of hot slabs into the pusher furnace is thus uniform at 720°C .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для процессного ведения нагревания в проходной методической печи необходимым является определить начальные и поверхностные условия. Особенную проблему представляют начальные условия при нагревании плит, содержащих теплоту из предварительного процесса.

Определение начального температурного состояния теплых загруженных плит в проходной методической печи основывается на основных закономерностях переноса теплоты при непрерывной разливке плит. Перевод теплоты рассматривался в двух измерениях. Предполагаем, что теплота переводится в поперечном направлении, а перевод теплоты в осном направлении незначительно. От менискуса до места резки поперечный разрез жилы охлаждается под различными поверхностными условиями, имеющимся в изложнице, под струями и на конце жилы. Время разделено на короткие периоды t . Скорость разливки — константная и потому при каждом повышении времени t можем высчитать положение поперечного разреза, а тем самым и поверхностные условия.

Для симуляции перевода теплоты мы использовали дифференциальный метод. Результаты показаны с диаграммами охладительных кривых середины и поверхности плиты, а также фронты отвердения в зависимости от времени. Для симуляции охлаждения плит, загруженных одна сверх другой под подвижной крышкой, в модели изменены только поверхностные условия. Также по этой фазе охлаждения результаты показаны с диаграммами охладительных кривых середины и поверхности. Диаграммы охлаждения поверхности и середины плиты показывают, что температуры практически уравниваются по 900 с.

Симуляция охлаждения плит под подвижной крышкой за 2513 с времени уравнения температур показывает, что в этом времени плиты охлаждены за 11°C . После 10 часов среднего задерживания под подвижной крышкой плиты потому имеют 158°C более низкую температуру от 878°C , которая является высчитанной температурой после уравнивания. Значит, что перед печь поступают плиты температурой 720°C .

TEHNIČNE NOVICE

Vpliv vodika na napetostne razpoke pri vijakih in verigah

F. Legat¹

UVOD

Že več let se v Verigi intenzivno ukvarjamo s študijem in preiskavami vpliva vodika na mehanske lastnosti jekel z višjo trdnostjo.

V zadnjih letih se za verige in vezne elemente verižne opreme uporabljajo vedno bolj mikrolegirana jekla, za vijake pa srednjelegirana.

Zanimata nas dva problema:

— močno zmanjšanje raztezka na poboljšanih in nato galvansko pocinkanih verigah s trdnostjo prek 1200 N/mm²

— močno zmanjšanje zvojne in upogibne žilavosti pri karbonitriranih in pocinkanih vijakih, ki so izdelani iz jekel Č 1221 ali iz 15 MnNi.

Poleg omenjenih dveh problemov bi radi pojasnili tako imenovani zapozneli lom jekla, ki nastane zaradi napetostno inducirane segregacije vodika v jeklu. V praksi se pojavljajo občasni lomi na lokih za snežne verige, ki so iz jekla Č 1731, poboljšani na 1500 N/mm² in nato galvansko pocinkani.

Nismo preiskovali lomov z upočasnjenim nateznim preizkusom navodičenih preizkušancev iz naših jekel, ker je preiskava zelo dolgotrajna in primerna za inštitutsko obdelavo. Pri nas smo spremljali celoten tehnološki postopek izdelave po posameznih operacijah in skušali ugotoviti, katere operacije dajo, oziroma sproščajo največ vodika in kako bi ga znižali do nenevarne meje.

1. Zaradi aktualnosti se najprej nekoliko približje oglejmo vijake. Pri reklamacijah smo ugotovili, da je napetostna korozija povzročala škodo in prezgodnje lomele na vijakih, ki so bili poboljšani s cementacijo ali karbonitracijo ter nato galvansko pocinkani. Pri preiskavi prevlek smo srečali nanose niklja, kroma in kadmija pa tudi različne postopke, kot so:

inkromiranje

šerardiziranje in

toplo cinkanje, vendar je pri napaki največkrat udeležen cink in to nanešen z galvanskim načinom.

Ker ima vijak zapleteno geometrijsko obliko, so debeline nanosov kljub predpisanim tolerancam po DIN 267 različne. Kot priprava je obvezna čista metalna površina, kar dosežemo z luženjem v HCl.

Peskanje kot priprava površine tudi zaradi predpisane hrapavosti po DIN 267 ne pride v poštev. Čiščenje z luženjem pa že da prve dodatne količine vodika. To pomeni, da imajo vsi naši cementirani ali karbonitrirani vijaki (od 0,05 do 0,3 mm globine difuzijske plasti), ki se uporabljajo za fasade, različne montaže in za umetne plošče, že delno količino vodika, kar močno zmanjšuje lastnosti vijaka.

Napaka krhkosti pride še posebej močno do izraza pri avtomatskih montažnih linijah, kjer se vijaki pogosto lomijo ali se jim trgajo glave.

Pri samem procesu vodika ne moremo zaustaviti, zato mu moramo dati možnost, da iz izdelka zopet odide. Močan vpliv na ta izhod vodika ima debelina cinkove kožice in tudi njena strukturna zgradba. Lamelarna zgradba zrn je reden rezultat kislega postopka, zato je vodik težje izgnati kot pri cianidnem postopku, ki ima stebelasto zgradbo kristalov v kožici.

Ob teh spoznanjih se nam odpira nekaj vprašanj:

— Pogosteje uporabljati postopek fosfatiranja, še prej pa preveriti stanje vodika in njegovo odstranjevanje pri tem postopku?

— Ali je možno meriti razliko med H v kislem postopku in cianidnem postopku?

— Ali je 10 μ kožica še prepustna za vodik pri toplotni obdelavi, ki je namenjena odstranjevanju vodika iz izdelka?

— Kakšna je razlika pri različnih elektrolitih druge kovine?

Ta korozijska krhkost nastane:

— pri materialu z visoko trdnostjo in omejeno žilavostjo,

— kadar je element obremenjen na dinamične obremenitve,

— če okolica pri obdelavi daje na razpolago toliko vodika, da pride ta čez kritično mejo koncentracije,

— pri različnem temperaturnem področju uporabe.

Kritična trdnost:

V literaturi navajajo avtorji kot trdnostno mejo, pri kateri ta krhkost močneje nastopa, različne vrednosti. Prav nobene razlike ni, na kakšen način do te trdnosti pride-mo:

— s poboljšanjem ali

— s hladnim preoblikovanjem.

Po zadnjih ugotovitvah je ta meja 1000 N/mm². Nad to vrednostjo se nevarnost risov močno povečuje. V praksi srečamo celo 1200 N/mm² kot kritično trdnostno mejo.

NASTANEK VODIKA PRI NAŠI TEHNOLOGIJI

Vodik je topen v jeklu. Je pa ta topnost odvisna od temperature in od samega sredstva. Pri naših izdelkih ga lahko dobimo:

— z jeklom od dobavitelja,

— s toplotno obdelavo,

— pri varjenju,

— luženju,

— katodnem razmaščevanju,

— fosfatiranju,

— pri galvanskih obdelavah in

— korozijskih reakcijah v uporabi.

¹ Franc Legat, dipl. ing. met., SŽ — Veriga Lesce, Lesce

Vsaka od operacij dviguje delež vodika tako, da končna galvanska obdelava gotovo preseže maksimalno dovoljeno mejo.

Pri naših karbonitriranih vijakih ali cementiranih verigah je od navedenih možnosti verjetnih vsaj 5 ali 6.

2. Posamezne pogosteje uporabljene operacije si bomo ogledali natančneje. Pri nas je to predvsem karbonitriranje.

Že pri proizvodnji jekla pride zaradi plinov do napetosti, ki pozneje povzročajo težave. Zaradi termičnega cepjenja in ioniziranja vode lahko dobimo do 30 mg H na kg železa. Ta vodik pa ostane med kristali pri kasnejšem hitrem ohlajanju.

Tudi pri toplotni obdelavi imamo na razpolago dokaj veliko količino vodika. Pri naši karbonitraciji je atmosfera sestavljena iz dušika, propana in amoniaka. Temperatura je navadno 860–880 °C.

Nad 750 °C propan razpade v ogljikov monoksid in vodik. Prav tako razpade tudi amoniak. Na ta način dobimo plinsko mešanico z 20 % CO, 40 % H₂, sledove O₂, CH₄ in kot ostanek dušik. Vodika je torej dovolj in ima naslednjo pot:

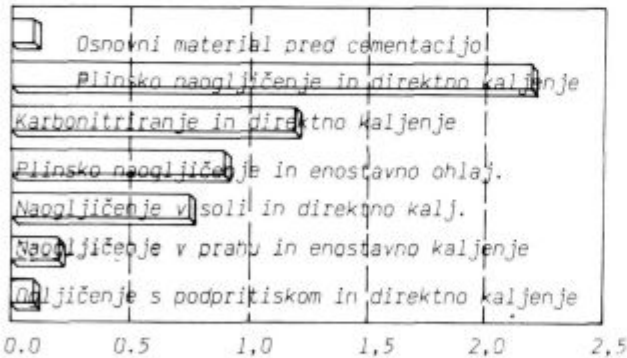
- transport plinskih molekul do metalne površine in nato sledi fizikalna adsorpcija,
- disociacija plinskih molekul in tvorba atomov,
- prehod atomov skozi metalno površino in
- difuzija atomov v kristalno mrežo.

Pri razplinjanju teče ta reakcija v obratni smeri. Očiščena površina in predhodna plastična deformacija difuzijo H pospešujeta, prisotnost CO pa proces zavira.

Na drugi strani pa tudi plinska mešanica reagira s površino obdelovanca, jo razogljčuje, pri tem pa nastaja CH₄. Tudi umazana ali namaščena površina povečujeta ponudbo vodika.

Danes še ni natančno ugotovljeno, koliko H sprošča ta proces in literatura navaja, da dobimo do 2 µg H/g železa pri karbonitraciji, vendar ga pri popuščanju na zraku 60 % izgubimo.

Slika 1 kaže vpliv postopkov ogličenja na količino sproščenega vodika.



Slika 1

Pri naših vijakih je po karbonitraciji trdota površine med 730 in 810 HV, v jedru pa 280–360 HV.

Po karbonitraciji smo naredili praktičen preizkus z vijaki.

Eno uro po poboljšanju smo vijak uvili v pripravljeno izvrtino v 5 mm debelo pločevino. Vijaki so se masovno lomili. Isti postopek smo ponovili čez 200 ur in število slabih vijakov je bilo že manjše; po 450 urah pa nismo imeli več nobenega izmeta.

Ta preizkus kaže, da so bili vijaki takoj po toplotni obdelavi kritično nasičeni z H. Po skladiščenju na zraku

je vedno več vodika odšlo, zato so tudi vrednosti boljše. Seveda so bili vijaki še necinkani.

Še vedno nam ni popolnoma jasno, katera je kritična količina vodika. V praksi in literaturi se navaja ta H v različnih enotah:

- ppm H ali gH/g Fe pa tudi cm³ H/100 G Fe
- po DIN 1 ppm H = 0,000001 gH/g Fe
- 1 µg H/g Fe = 0,000001 gH/g Fe
- 1 µg H/g Fe = 1,11 cm³ H/g Fe

Kot meja se dostikrat omenja 1 do 49.10² µg H/g Fe, vendar je razlika nenormalno velika in tako praktično neuporabna. Tako je do danes meja še vedno neznan in jo je potrebno s preiskavami še določiti.

Za visokoodporne verige za dvigala po DIN 5684, ki so bile tudi površinsko utrjene in zato galvansko pocinkane, smo naredili nekaj preizkusov v domači galvaniki, vzporedni preizkus pa še v Kemični tovarni v Podnartu.

Na osnovi praktičnih rezultatov smo sedaj osvojili naslednji postopek:

1. Razmaščevanje 80 °C 10' Degresin K 7029
2. Izpiranje v vodi
3. Jedkanje 20 °C 10' HCl 1:1 + Desox 329 K
4. Izpiranje v vodi
5. Razmaščevanje 40 °C 5' Desox II
6. Izpiranje v vodi
7. Dekapiranje 20 °C 1' H₂SO₄ — 10 %
8. Izpiranje v vodi
9. Cinkanje 20 °C 24' Zinkolit AL 30 N
10. Izpiranje v vodi
11. Popuščanje 200 °C 120' Sušilnica
12. Ohlajanje
13. Aktiviranje 20 °C 1' HNO₃ — .5 %
14. Izpiranje v vodi
15. Pasiviranje 20 °C 0- Kromatin R 123
16. Izpiranje v vodi .5'
17. Utrjevanje 20 °C 1' Kromatin Z
18. Izpiranje v vodi
19. Sušenje

Po novem postopku je sušenje opravljeno pred pasiviranjem. To sušenje je poboljšalo raztezek, vendar so vrednosti zelo različne, nihajo in še niso zanesljive. Pri vijakih (poskusni vzorci) so bili rezultati boljši in pri uvijanju skoraj ni bilo lomov. Seveda ima na ta preizkus uvijanja odločilen vpliv jeklo in njegove lastnosti v končnem stanju. Zato tudi literatura mnogokrat priporoča, da se za vijake trdnostnih razredov 10.9 ali 12.9 uporablja jeklo, ki ima dobre duktilne sposobnosti in popuščno temperaturo okoli 500 °C. Sicer se priporočajo temperature segrevanja do 190 °C pa tudi do 220 °C. Vodik odhaja pri 200 °C desetkrat hitreje kot pri sobni temperaturi.

Toplotna obdelava za izločanje vodika mora slediti pocinkanju takoj (10 minut). Še vedno pa je nejasno, koliko se to segrevanje splača pri debelinah nad 5 mikronov. Od uporabnikov v proizvodnji dostikrat slišimo, da pri prevlekah debeline 7–10 mikronov posebnega učinka ne dosežemo.

To ugotovitev deloma potrjuje tudi naša pisana vrednost raztezkov pri verigah. Povedati je treba tudi, da se z daljšim časom segrevanja rezultatiboljšajo in da danes segrevamo najmanj 2 uri.

ZAKLJUČEK

Ker je uporaba površinsko galvansko zaščitene izdelkov vsakodnevna in bo tudi še ostala, je potrebno celoten pojav raziskati nekoliko bolj natančno. Prav zato smo se pri Metalurškem inštitutu v Ljubljani domenili za raziskovalno nalogo:

Vpliv galvanske zaščite s pocinkanjem na deformabilnost verig, izdelanih iz mikrolegiranih jekel

Rezultat preiskave nam bo dal določene usmeritve za spremembe postopkov, pa tudi za možno menjavo jekla.

Vrednosti bomo lahko uporabili tudi na vijačnem področju.

LITERATURA

DRAHT, 40, 9, 11

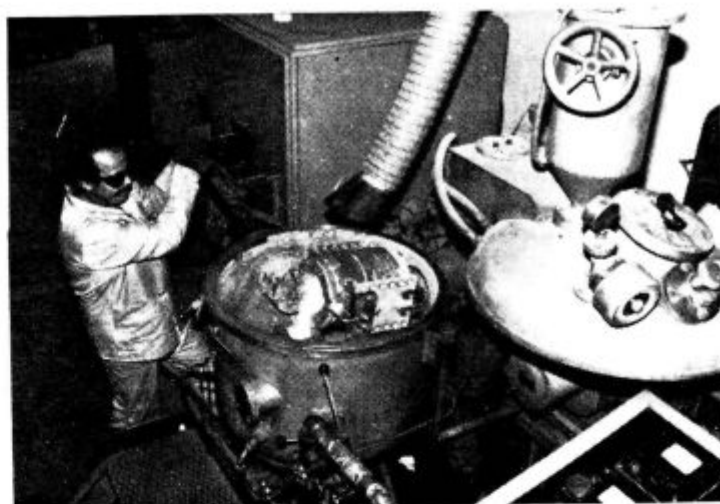
DRAHT, 41, 2, 3

Ule, Vodopivec, Vehovar, Kokalj, Pšeničnik, Hrnčič: Vodik in mehanske lastnosti jekel z visoko trdnostjo, Poročilo MI, Ljubljana

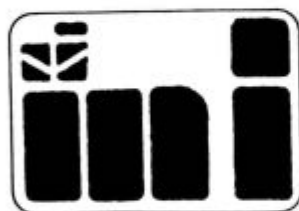
Galvanotechnik 3, 1990, 825—833



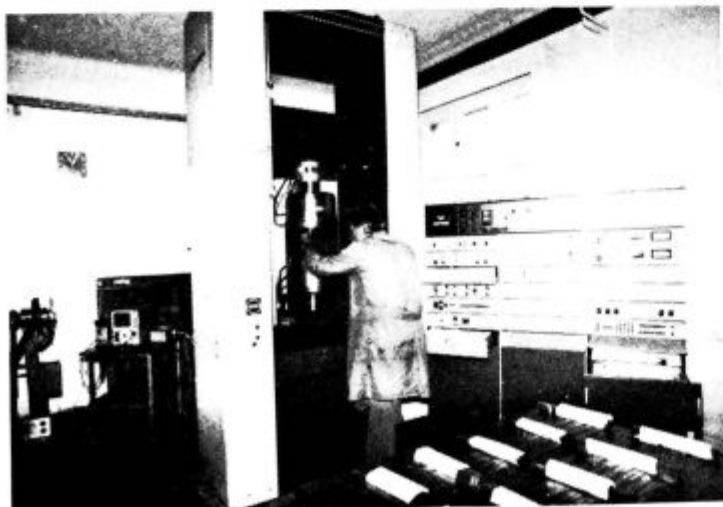
Električno pretaljevanje pod žlindro



Vakuumska talilna peč



SLOVENSKE ŽELEZARNE
METALURŠKI INŠTITUT
LJUBLJANA, LEPI POT 6



Stroj Instron za mehansko preizkušanje kovin



Vakuumska talilna peč

**Magistrska in doktorska dela v šolskih letih 1988/89 in 1989/90
na odseku za metalurgijo, VTOZD Montanistika FNT**

**PH. D. and M. SC. Theses in Academic Years 1988/89 and 1989/90 at the
Department of Geology, Mining and Metallurgy, University of Ljubljana**

DOKTORSKIH DEL V TEM OBDOBJU NI BILO.

THERE WERE NO PH. D. THESES COMPLETED IN THAT PERIOD.

MAGISTRSKA DELA

M. SC. THESES:

Marica Tonkovič (mentorja: J. Lamut, C. Pelhan, 27. 10. 1988
Določitev sestave škaže pri Ni-Resist litini i z dodatkom fosforja

Marica Tonkovič (supervisor: J. Lamut, C. Pelhan, 27/10/1988)

Determination of Scale Composition on the Ni-Resist 1 Cast Iron with Phosphorus Additions

Pri ulitkih, ki so izpostavljeni oksidacijski atmosferi pri temperaturah 750–900° C, uporabljajo poleg litin legiranih s kromom, predvsem litine legirane z nikljem zaradi dobre obdelovalnosti in boljše žilavosti. Najboljša zaščita pred oksidacijo je kompaktnost škaže, ki zavisi od količine in vrste zlitinskega elementa. Analizirana je bila tvorba škaže na sintetičnih litinah Fe-Si-C, Fe-P-C, Fe-Cr-C, Fe-Cr-P-C, Fe-Ni-C, Fe-Cu-C, Fe-Cu-Ni-C in Fe-Si-P-C, ki so bile žarjene 72 ur pri 900° C. V litini Ni-Resist nastaja škaža sistema FeO-P₂O₅-SiO₂, ki se po prerezu spreminja od magnetitne plasti do kovine, ter faza sestavljena iz Cr₂O₃ in FeO.

For castings being exposed to oxidizing atmosphere in the temperature range 750 to 900° C mainly cast irons alloyed with nickel are used next to chromium-alloyed cast irons, due to good machinability and better toughness. The best protection against oxidation is the compactness of the scale which depends on the amount and type of alloying element. The scale formation on synthetic alloys Fe-Si-C, Fe-P-C, Fe-Cr-C, Fe-Cr-P-C, Fe-Ni-C, Fe-Cu-C, Fe-Cu-Ni-C, and Fe-Si-P-C was analyzed. The samples were annealed for 72 hours at 900° C. The scale formed on the Ni-Resist cast iron corresponds to the FeO-P₂O₅-SiO₂ system. Across the cross section its composition varies from magnetite to metallic phase. There exists still another scale layer, composed of Cr₂O₃ and FeO.

106 strani

55 cit.

106 pages

55 references

Veljko Đukić (mentor: V. Čizman, 21. 3. 1989)

Analiza možnosti asortimana valjanja na jednoprovlačno pruzi Valjaonice I — RO Železarna Zenica

Veljko Đukić (supervisor: V. Čizman, 21/3/1989)

Analysis of the Possible Assortment to be Rolled on the Single-Pass Rolling Line in the Rolling Plant 1 of Zenica Steelworks

V železarni je bila 1973/74 montirana valjalna proga Schloemann za valjanje drobnih profilov z enkratnim valjanjem, namenjena za toplo valjanje masovnih in posebnih legiranih jekel, ki je sestavljena iz dveh valjalnih strojev. Analiza je pokazala, da kakovost izdelkov zavisi predvsem od plastičnih preoblikovalnih lastnosti materiala. Optimalne temperature valjanja so 1000 do 1100° C. Na njej je možno valjati tudi bolj komplicirane profile, kot to delajo do sedaj. Avtor je podrobneje analiziral valjanje ploščatih in kvadratnih profilov.

The Schloemann rolling line for rolling fine sections by a single pass was constructed in 1973/74. This line for hot rolling of common and special alloyed steel consists of two rolling stands. The analysis showed that the quality of products depends mainly on the plastic workability properties of materials. Optimal rolling temperatures were found to be 1100 to 1000° C. Also more demanded sections as done so far can be rolled on this line. Author analyzed in details the rolling of flat and square sections.

169 strani

7 cit.

169 pages

7 references

Kata Kovačević (mentor: L. Kosec, 19. 4. 1989)

Nehomogenost kromovega orodnega jekla za delo v toplem

Kata Kovačević (supervisor: L. Kosec, 19/4/1989)

Nonhomogeneity of Chromium Hot Forming Tool Steel

Orodja iz teh jekel so med obratovanjem dinamično obremenjena. Pomembna lastnost jekel je prekaljivost. Lastnosti pa so odvisne od strukturne in kemične homogenosti, na kar vpliva plastična predelava in toplotna obdelava. Avtorica je analizirala jeklo Č. 4751 in sicer vpliv kemične nehomogenosti na odpornost proti toplotnemu utrujanju ter mehanske lastnosti nehomogeniziranega, kratkotrajno ter dolgotrajno homogeniziranega kovanega ter litega jekla pri sobni in povišanih temperaturah. Ugotovila je, da poteka najintenzivnejša homogenizacija v prvi fazi difuzijskega žarjenja, a vpliv temperature je večji od vpliva časa. Vendar imajo previsoke temperature druge negativne učinke.

Tools made of this steel are dynamically loaded in operation. Their important property is the through hardenability. Properties depend on the structural and chemical homogeneity which is influenced by plastic working and heat treatment. The author analyzed the Č. 4751 steel, giving the emphasis to the influence of chemical nonhomogeneity on the resistance to hot fatigue and on mechanical properties of steel being homogenized for short and long periods, or being not homogenized, as forged or as cast, at room temperature and at increased temperatures. She has found out that the most intensive homogenization occurs in the first phase of diffusion annealing. Increased temperature has greater influence than the prolonged time of annealing. But too high temperatures have another harmful side effects.

96 strani

65 cit.

96 pages

65 references

Sreto Petković (mentor: C. Pelhan, 28. 6. 1989)
Preiskava modifikatorja FeSi (Ca) in njegov vpliv na cepljenje sive litine

Bistvo cepljenja je povečanje števila tujih kristalnih kalij, kar zmanjša nagnjenje k belemu strjevanju ter omogoča drobnejša zrna v strjeni litini. Kalcij povečuje število kristalnih kalij za nastanek grafita pri eutektični kristalizaciji. Analiziran je bil vpliv dodajanja Ca in Al k modifikatorju FeSi. Avtor je ugotovil nastanek različnih trdnih faz: Si, FeSi₂, FeSi, CaSi₂ in CaSi₂Al₂. Povečan delež Ca in Si povečuje delež zadnjih dveh naštetih faz. Analiza mehanskih lastnosti v odvisnosti od deleža kalcija v modifikatorju je pokazala, da se šele pri 1,35 % Ca doseže največje število eutektičnih celic in s tem najboljše mehanske lastnosti. Pozitiven vpliv aluminija je šibkejši.

98 strani

30 cit.

Sreto Petković (supervisor: C. Pelhan, 28/6/1989)
Investigations of the FeSi (Ca) Nodularising Agents and Their Influence on the Inoculation of Grey Cast Iron

Inoculation increases the number of exogeneous crystallization nuclei which reduce the tendency of chill zone formation and give finer grains in the solidified cast iron. Calcium increases the number of crystallization nuclei for formation of graphite in eutectic crystallization. The influence of Ca and Al additions to the FeSi nodularising agent was analyzed. The author found that various solid phases: Si, FeSi₂, FeSi, CaSi₂ and CaSi₂Al₂ were formed. Increased amount of Ca and Si increases the amount of the last two mentioned solid phases. Analysis of mechanical properties as a function of calcium content in the nodularising agent showed that the highest number of eutectic cells was formed only at 1.35 % Ca and thus the best mechanical properties were obtained. Positive influence of aluminium is smaller.

98 pages

30 references

Veselin Nikolić (mentor: V. Čizman, 31. 10. 1989)
Optimizacija procesa valjanja v konti valjarni hladno valjanih trakov Železarne B. Kidrič, Nikšić

Konti valjalna proga Schloemann je iz leta 1956. Poleg nje obstoja reverzorni valjalni stroj, ki ni dovolj izkoriščen. Prevelike redukcije pri valjanju trakov so povzročale tehnološke težave. Avtor je računsko in eksperimentalno določil sile valjanja za vsak valjalni stroj proge, kar je potem omogočilo optimizacijo tehnologije valjanja, večjo proizvodnost proge ter manjše vzdrževalne stroške. Grafični in tabelni prikazi sil valjanja omogočajo tehnologom v obratu, da določijo valjalne parametre na osnovi zahtevane celotne redukcije pri valjanju.

137 strani

18 cit.

Veselin Nikolić (supervisor: V. Čizman, 31/10/1989)
Optimization of the Rolling Process in Continuous Rolling Plant for Cold Rolling of Strips in B. Kidrič Steel Works in Nikšić

Schloemann continuous rolling line was constructed in 1956. In the rolling plant there is also a reversing stand which capacity is insufficiently exploited. Too high reductions in rolling strips caused technological problems. The author calculated and experimentally determined the rolling forces for each stand of the line which enabled the optimization of the rolling technology, greater productivity of the line and lower maintenance costs. Graphical and tabular presentation of rolling forces gives to the operator the possibility to determine the rolling parameters depending on the demanded overall reduction in rolling a product.

137 pages

18 references

Peter Fajfar (mentor: R. Turk, 15. 1. 1990)
Modelne in tehnološke raziskave za postavitev optimiranega plana valjanja toplih trakov

Izdelan je bil računalniški paket OPVAL 1 za izračun optimalnega plana valjanja za toplo valjanje plošč, pločevine in širokih trakov na reverzirnih valjalnih strojih duo in kvarto. Plan valjanja se izračuna na osnovi energijsko-obremenitvenih potreb valjanja, dopustnih obremenitev valjalne opreme in na osnovi eksperimentalno ugotovljenih preoblikovalnih lastnosti materiala. Paket omogoča izračunati optimalno število valjanj ter zagotavlja geometrijsko neoporečen končni izdelek. Uporabnost paketa je bila preverjena za kakovost Al99 v topli valjarni Impola, Slovenska Bistrica.

60 strani

26 cit.

Peter Fajfar (supervisor: R. Turk, 15/1/1990)
Model and Technological Investigations to Determine the Optimal Schedule for Hot Rolling of Strips

Computer pack OPVAL 1 for the calculation of optimal rolling schedule for hot rolling of plates, sheet, and wide strips on two and four-high reversing stands was prepared. The calculation of the rolling schedule is based on the energy-load demands in rolling, on allowed loading of the rolling machinery, and on experimentally determined workability properties of material. The pack enables to calculate the optimal number of passes and it assures the geometrically faultless final product. Applicability of the pack was checked on the Al 99 in the hot rolling mill of Impol, Slovenska Bistrica.

60 pages

26 references

Vasilije Tucić (mentor: L. Kosec, 23. 3. 1990)
Toplotna obdelava valjev iz perlitne nodularne litine

Uporaba matematičnega modela za fazo segrevanja je omogočila optimizacijo toplotne obdelave valjev in skrajšanje časov segrevanja. Z meritvami je bil potrjen potreben čas držanja valjev na temperaturi avstenitizacije. Matematični model ohlajanja valja na vozu žarilne peči pa je omogočil simulacijo prvih dveh ur ohlajanja ter možnost izbire tehnoloških parametrov že pri načrtovanju tehnologije toplotne obdelave valjev. Narejen je bil CCT diagram za perlitno nodularno valjno litino KGR-300 Mo, kar je omogočilo povezovanje ohlajevalnih krivulj za različne točke na valju s tem diagramom.

131 strani

19 cit.

Vasilije Tucić (supervisor: L. Kosec, 23/3/1990)
Heat Treatment of Rolls Made of Pearlitic Nodular Cast Iron

Application of mathematical model for the stage of heating enabled the optimization of heat treatment process for rolls and it shortened the heating period. Measurements confirmed the necessary time of holding the rolls at the austenitization temperature. Mathematical model of cooling the rolls on the moving platform of the annealing furnace enabled the simulation of the first two hours of cooling and gave the possibility to chose the technological parameters already at the designing of the heat treatment technology. CCT diagram was constructed for the pearlitic nodular cast iron KGR-300 Mo for rolls which enabled to connect the cooling curves for various points on the roll with this diagram.

131 pages

19 references

Celestin Nzobandora (mentor: F. Pavlin, 10. 4. 1990)
Verifikacija simuliranja ogrevanja valja z analitično metodo

Obdelana je analitična rešitev prenosa toplote s prevajanjem v valju z namenom potrditve natančnosti rezultatov, ki se dobe z uporabo numeričnih metod in ki jih je možno uporabiti za različne geometrijske oblike vložka. Analitična metoda pa je možna le pri enostavnih oblikah, kot so plošča, valj, krogla. Ob predpostavki, da sta temperatura peči in toplotna prestopnost med pečjo in valjem konstantni in da so gostota, toplotna prevodnost ter specifična toplota neodvisne od temperature, je bil izdelan matematični model za izračun temperaturnega polja v valju pri segrevanju. Uporabljene so bile Besselove funkcije. Računalnik je omogočil izračun velikega števila korenov ter s tem večjo natančnost rešitev. Ob primerjavi z analitično rešitvijo kažejo rezultati dobljeni z numerično metodo končnih diferenc minimalna odstopanja.

55 strani

14 cit.

Celestin Nzobandora (supervisor: F. Pavlin, 10/4/1990)
Verification of the Simulated Heating of a Roll by Analytical Method

The analytical solution for heat transfer by conduction in the roll was prepared in order to confirm the accuracy of the results obtained by numerical methods which can be applied for various geometrical shapes of the charge. But the analytical method is applicable only for simple shapes like plate, cylinder, sphere. Assuming that the furnace temperature and the heat transfer from furnace to roll are constant, and that the density, thermal conductivity and specific heat do not depend on the temperature, the mathematical model for calculation of the temperature field in roll during heating was constructed. Bessel functions were used. Computer enabled to calculate the great number of roots and thus a higher accuracy of solutions. Comparisons with the analytical solution show that the results obtained by numerical method of finite differences agree very well with the exact solution.

55 pages

14 references

Jovo Savanović (mentor: J. Lamut, 25. 5. 1990)
Varilne žilindre kot osnova za razvoj varilnih praškov

Agglomerirani varilni praški sestojijo iz sintetičnih mineralov wollastonita, monticellita, diopsita in enstatita, z dodatkom kovinskih sestavin in dezoksidantov. Analiza dobljenih varilnih žilinder pri uporabi teh praškov omogoča sklepanje na metalurške procese, ki potekajo med varjenjem. Za pojasnjevanje zgradbe trdne žilindre je bil uporabljen sistem $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3$ pri prerezu 20 % Al_2O_3 . Ti agglomerirani praški so omogočali dobro stabilnost obloka brez uporabe posebnih dodatkov, kar zmanjšuje onesnaževanje okolja pri varjenju, večjo proizvodnost, manjšo porabo energije in ustrezno kakovost zvarov. Prijavljen je patent.

93 strani

25 cit.

Jovo Savanović (supervisor: J. Lamut, 25/5/1990)
Welding Slags as Basis for Development of Welding Powders

Agglomerated welding powders consist of synthetic minerals wollastonite, monticellite, diopside, and enstatite, with the additions of metallic ingredients and deoxidation agents. Analysis of the obtained welding slags in application of the mentioned welding powders enabled to explain the metallurgical processes occurring during the welding. The $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3$ system at section of 20 % Al_2O_3 was applied in explaining the composition of solidified slags. These agglomerated powders enabled a good arc stability without use of special additions which reduces the pollution during welding, a better productivity, a reduced energy consumption, and suitable quality of welds. Application for patent was sent.

93 pages

25 references

Slavko Ažman (mentor: M. Gabrovšek, 26. 6. 1990)
Vpliv interakcije elementov Mo, Ni, V in ogljika na žilavost konstrukcijskih jekel pri temperaturah do -196°C

Namen je bil ugotoviti medsebojni vpliv posameznih elementov in toplotne obdelave na žilavost jekla pri nizkih temperaturah ter pojasniti procese, ki se dogajajo. Ugotovljeno je bilo, da dodatek Ni bistveno vpliva na žilavost pri nizkih temperaturah. Rastoči dodatek Ni od 3,5 do 9 % sicer znižuje žilavost pri -60°C , a sočasno premika prehod žilavega loma v krhki k vse nižjim temperaturam. Že 5 % Ni daje relativno dobro žilavost tudi do -200°C v odvisnosti od toplotne obdelave. Z rastočim deležem Ni se manjša vpliv toplotne obdelave na žilavost. Povečan delež ogljika pa vedno poslabša žilavost. Homogenizacijsko žarjenje pri 900°C ter gašenje v vodi je optimalna toplotna obdelava. Dobro žilavost je pričakovati pri majhnem deležu avstenita. Dodatki vanadija ali majhni dodatki molibdena ugodno vplivajo, istočasni dodatki obeh elementov pa običajno ne.

129 strani

32 cit.

Slavko Ažman (supervisor: M. Gabrovšek, 26/6/1990)
Influence of Interaction of Mo, Ni, V, and Carbon on Toughness of Structural Steel at Temperatures down to -196°C

The purpose of the investigation was to find the mutual interaction of single elements and of heat treatment on the steel toughness at low temperatures, and to explain the processes which take place. It was found that addition of Ni has an essential influence on the toughness at low temperatures. The increased addition of Ni from 3.5 to 9 % reduces the toughness at -60°C but it simultaneously also shifts the transition point from tough into brittle fracture towards lower temperatures. Already addition of 5 % Ni gives a relatively good toughness even down to -200°C , depending on the heat treatment. The increased addition of Ni reduces the influence of heat treatment on the toughness. On the other hand the increased content of carbon always reduces the toughness. Homogenization annealing at 900°C and quenching in water is the optimal heat treatment. Good toughness can be expected at low portion of austenite. Additions of vanadium or of small amounts of molybdenum have positive effects, while simultaneous additions of both elements usually not.

129 pages

32 references

Darko Mikec (mentor: B. Sicerl, 27. 6. 1990)
Uporaba matematičnega modela potisne peči za optimiranje hitrosti ogrevanja različnih vrst jekel

Izdelan je bil matematični numerični model za segrevanje vložka v peči ter preverjen s toplotno-tehničnimi meritvami na sami peči. Model je uporaben za različne kakovosti jekel, različne debeline ploščatih blokov (slabov), različne končne temperature segrevanja ter omogoča izračunati optimalne čase segrevanja ter temperaturne razlike med površino in sredino bloka. Upoštevanje so tudi napetosti, ki med segrevanjem ne smejo preseči napetosti tečenja. Ta nevarnost je posebno velika pri avstenitnih jeklih.

60 strani

30 cit.

Darko Mikec (supervisor: B. Sicerl, 27/6/1990)
Application of Mathematical Model of Pusher-Type Furnace for Optimization of Heating Rates for Various Types of Steel

A mathematical numerical model for heating of charge in the furnace was prepared and checked by pyrometric measurements on the furnace itself. The model is applicable for various steel types, various thicknesses of slabs, various final heating temperatures, and it enables to calculate the optimal heating times and temperature differences between the surface and the centre of slab. Also the thermal stresses which during heating should not exceed the yield stress are taken in account. This danger is especially high with austenitic steel.

60 pages

30 references

Jožica Bezjak (mentor: L. Kosec, 29. 6. 1990)
Raziskave martenzitne transformacije v zlitinah CuZnAl z oblikovnim spominom

Za te zlitine je v zadnjem času veliko zanimanje. Glavni vzrok so njihove mehanske lastnosti, predvsem psevdoelastičnost in oblikovni spomin. Na dveh zlitinah CuZnAl z majhno razliko v kemijski sestavi (7,5 oz. 8,4 % Al), ki naj bi imeli temperaturo M_s nad temperaturo okolice, so bile izmerjene temperature premen na različno toplotno obdelanih in različno deformiranih vzorcih z dilatometriko metodo in transmisijsko ter optično mikroskopijo. Pri drugi zlitini so temperature premen precej nižje. Toplotno utrjanje je dalo martenzitno strukturo pri temperaturi okolice pri prvi zlitini ter omogoča dvigniti temperaturo M_s za 270 K pri drugi zlitini. Popuščanje kaljenih zlitin vpliva na temperature premen v odvisnosti od časa popuščanja. Stopnja deformacije povečuje število dislokacij in deformira martenzitno mikrostrukturo, kar se zmanjša zopet z žarjenjem deformiranih vzorcev.

109 strani

28 cit.

Jožica Bezjak (supervisor: L. Kosec, 29/6/1990)
Investigations of Martensitic Transformation in CuZnAl Shape Memory Alloys

There is a great interest for these alloys in the recent time. Main reason are their mechanical properties, especially pseudoelasticity and the shape memory. Transformation temperatures were measured in variously heat treated and variously deformed samples of two CuZnAl alloys with a slightly different chemical composition (7.5 and 8.4 % Al) which should have M_s temperature above the room temperature. Dilatometric method and transmission electron and optic microscopy were applied. The second alloy has much lower transformation temperatures. Thermal hardening gave martensitic structure at room temperature in the first alloy and it increased the M_s temperature for 270 K in the second alloy. Tempering of hardened samples had influence on the transformation temperatures depending on tempering times. Degree of deformation increases the number of dislocations and the martensitic structure is deformed, while subsequent annealing has the opposite effect.

109 pages

28 references

VSEBINA

UDK: 620.178.3.620.192.45.669.14.018.298.3.669.046.558.6
ASM/SLA: Q7c, M21c, 9—69, AYb, D9q, E25q

Metalurgija — jeklo za poboljšanje — modificirani nekovinski vključki — mehanske lastnosti

D. Kmetič, J. Žvokelj, L. Jovanovski, B. Ralič, M. Jakupovič

Lastnosti s CaSi obdelanega konti litega jekla Č.4830 pri dinamičnih obremenitvah

Železarski zbornik 25 (1991) 2, s 49—55

Z obdelavo jekla s CaSi dosežemo, da so modificirani vključki kalcijevega aluminata globularni in drobni. Pri nepopolni modifikaciji nastanejo duktilni in veliki globularni nekovinski vključki, ki poslabšajo mehanske lastnosti jekla, predvsem trajno dinamično trdnost. Večji nekovinski vključki so iniciali za nastanek utrujenostnega loma.

Avtorski izveček

UDK: 536.55:536.21:681.3.06:669-147
ASM/SLA: F21b, D9q, S16b, U4k, P11m

Prenos toplote, robni pogoji, strjevanje, ohlajanje

T. Kolenko, M. Debelak, B. Glogovac

Ugotavljanje začetnega temperaturnega stanja vložka pri toplen zalaganju

Železarski zbornik 25 (1991) 2, s 63—68

Procesno vodenje ogrevanja v potisni peči zahteva poznavanje začetnega temperaturnega stanja plošč, ki jih zalagamo v peč z določeno toplotno vsebnostjo iz predhodnega procesa kontinuirnega ulivanja plošč. Zato smo razvili računalniški model strjevanja in ohlajanja plošč med kontinuirnim ulivanjem, ki omogoča prikaz temperaturne porazdelitve v ploščah v poljubni fazi ohlajanja na poti do peči. Robni pogoji so opisani s pomočjo obratovnih parametrov, izkustvenih podatkov iz metalurške prakse in kombinacije računa in meritev.

Avtorski izveček

UDK: 621.783.231.1.004.6.662.614
ASM/SLA: F21b, W20h, 18—72, A11e

Metalurgija — Ogrevne peči

D. Mikec, B. Glogovac, T. Kolenko, D. Finžgar, P. Sekloča

Rekonstrukcija koračne peči CUSTODIS v Valjarni žice in profilov

Železarski zbornik 25 (1991) 2, s 57—61

S koračno pečjo zastarele konstrukcije in regulacije nismo mogli slediti vedno ostrejšim zahtevam pri ogrevanju gredic, zato smo se odločili za rekonstrukcijo peči.

V članku je opisana rekonstrukcija peči in toplotnotehnične preiskave ogrevanja gredic po rekonstrukciji peči.

Rezultati meritev po rekonstrukciji peči so pokazali boljšo kvaliteto ogrevanja in znižanje povprečne letne specifične porabe energije za ogrevanje za 10 %.

Avtorski izveček

СОДЕРЖАНИЕ

<p>UDK: 536.55-536.21-681.3.06:669-147 ASM/SLA: F21b, D9q, S16b, U4k, P11m</p> <p>Перенос теплоты, поверхностные условия, отверждение, охлаждение Т. Kolenko, М. Debelak, В. Glogovac</p> <p>Определение начального температурного состояния шихты при горячей загрузке Železarski zbornik 25 (1991) 2, с 63—68</p> <p>Процессное ведение нагревания в проходной методической печи требует знание о начальном температурном состоянии плит, загружаемых в печь с определенным температурным содержанием из предварительного процесса непрерывной разливки плит.</p> <p>Потому мы развили компьютерный модель отверждения и охлаждения плит в ходе непрерывной разливки, который позволяет показ температурного размещения в плитах в какой-либо фазе охлаждения на их пути до печи. Поверхностные условия описаны с помощью рабочих параметров, опытных данных из металлургической практики, а также комбинации счетов и измерений.</p> <p style="text-align: right;">Авто. реф.</p>	<p>UDK: 620.178.3:620.192.45:669.14.018.298.3:669.046.558.6 ASM/SLA: Q7c, M21c, 9—69, AYb, D9q, E25q</p> <p>Металлургия — сталь для улучшения — модифицированные неметаллические включения — механические свойства D. Kmetič, J. Žvokelj, L. Jovanovski, B. Ralić, M. Jakupović</p> <p>Свойства с CaSi обработанной контн литой стали Č.4830 при динамических нагрузках Železarski zbornik 25 (1991) 2, с 49—55</p> <p>Обработкой стали с CaSi достигаем того, что модифицированные включения кальциевого алюмината глобулярны и мелки. При неполной модификации образуются дуктильные и большие глобулярные неметаллические включения, ухудшающие механические свойства стали, прежде всего ее длительную прочность. Большие неметаллические включения являются причиной возникновения усталостного разрушения.</p> <p style="text-align: right;">Авто. реф.</p>
<p>UDK: 621.783.231.1.004.6:662.614 ASM/SLA: F21b, W20h, 18—72, A11e</p> <p>Металлургия — Нагревательные печи D. Mikec, В. Glogovac, Т. Kolenko, D. Finžgar, P. Sekloča</p> <p>Реконструкция печи „КУСТОДИС“ в прокатном заводе по изготовлении проволоки и профилей Železarski zbornik 25 (1991) 2, с 57—61</p> <p>С печью „Кустодис“ застаревшей конструкции и регулирования мы не могли следовать за более острым требованиями при нагревании заготовок и по этому мы решили реконструировать печь.</p> <p>В статье описана реконструкция печи и теплототехнического испытания нагревания заготовок после реконструкции печи.</p> <p>Результаты измерений после реконструкция печи показали лучшее качество нагревания и снижение среднего годового специфического расхода энергии для огревания за 10 %.</p> <p style="text-align: right;">Авто. реф.</p>	

TEHNIČNA NAVODILA AVTORJEM

Rokopis

Rokopis dostavite v originalu odgovornemu uredniku ali enemu od članov uredništva. Pisan mora biti z dvojnimi presledkom. Na levi strani je rob širine 4 cm. Na tem robu označite mesta, kjer naj bodo slike ali tabele.

Članki naj bodo kratki in jedrnat in ne prenatrpani z nepotrebnimi podatki. Izogibajte se tabel z veliko številkami, ki bralca ne zanimajo, posebno če so isti podatki prikazani kot odvisnosti v diagramih. Razlage naj bodo jasne, kratke in v neposredni zvezi z doseženimi rezultati, brez širših hipotetičnih dodatkov.

V primeru, da prvič objavljate v Železarskem zborniku, dostavite uredništvu naslednje podatke: ime in priimek z akademskim nazivom spredaj in poklicnim nazivom zadaj, katero delo opravljate, delovna organizacija, žiro račun in naslov stanovanja.

Uredništvo si pridržuje pravico jezikovne korekcije, strokovne recenzije in presoje o ustreznosti objave. Prosimo, da glede rokopisa upoštevate še naslednja navodila:

1) **Izveček pod naslovom** naj obsega 4 do 10 tipkanih vrst. Vsebina naj pove, kateri problem obravnava članek.

2) **Povzetek za prevode** v angleški, nemški in ruski jezik pošljite v 4 izvodih. Obsega naj pol do največ dve tipkani strani. Glede vsebine naj pove tujemu bralcu, kakšen je bil problem in kateri so glavni rezultati vašega dela. Specifične strokovne izraze, ki jih prevajalci morda ne poznajo, navedite spodaj v angleškem, nemškem in ruskem jeziku. Vsebuje naj tudi naslov članka.

3) **Avtorski izveček za kartice** (4 izvodi) naj obsega: glavno geslo in eno ali več stranskih gesel (npr. Metalurgija — Orodna jekla — Preizkušanje materiala), avtorja in soavtorje, naslov članka in kratko vsebino članka (največ 15 tipkanih vrst) s poudarkom na rezultatih raziskave.

4) **Podpisi k slikam** v 2 izvodih na posebnih listih. Podpis naj bo formuliran tako, da bo v angleškem prevodu tudi tuj bralec razumel vsebino slike.

5) **Literaturo**, ki jo citirate v tekstu, označite z zaporednimi številkami, zgoraj za besedo, kjer označbo želite, npr. ... Smith³ ... Na koncu članka navedite nato vse bibliografske podatke:

— Za knjige: začetnice imen in priimki avtorjev, naslov knjige, številka izdaje, založba, leto izdaje.

— Za članke: začetnice imen in priimki avtorjev, naslov članka, neskrajšani naslov revije, letnik, številka, leto, strani (prva in zadnja).

6) **Poglavja in razne vrste tiska**: Članek naj bo, kolikor je mogoče, razdeljen po naslednji shemi: uvod (nakazati problem, izhodišče in cilj raziskave in pregled literature), načini raziskovanja in materiali, rezultati raziskav, razlaga rezultatov in sklepi.

Glavna poglavja in podpoglavja pišite po primeru:

REZULTATI RAZISKAV

1. **Preizkušanje jekla Ž 0147** (mastni tisk, tekst se prične v naslednji vrsti)

a) **Količina vključkov** (mastni tisk, tekst se nadaljuje v isti vrsti).

Zvezano podčrtane besede pomenijo mastni tisk, lahko pa uporabite še kurzivni tisk (prekinjeno podčrtane besede) in razprti tisk (tipkajte razprto).

7) **Tabele** pišite med tekstom ali jih priložite na koncu teksta. V drugem primeru napišite na levi rob, kjer je treba tabelo vstaviti.

8) **Enote**: Uporabljajte izključno enote po SI (System International d'Unités).

9) **Enačbe in simbole** napišite jasno in čitljivo, najbolje s prosto roko. V enačbah ne uporabljajte znakov za množenje (\times ali \cdot). Izogibajte se zamotanih indeksov. Če ne morete jasno napisati grških črk, napišite pojasnilo na levi rob, npr. mala grška črka gama. Simbole v enačbah sproti tolmačite. Uporabljajte simbole, ki so v JUS standardih, če teh ni pa najbolj uveljavljene.

Fotografije

Metalografski in drugi posnetki morajo biti izdelani na belem papirju z visokim leskom in naj bodo jasni in kontrastni. Preslikane fotografije ali iz tiska preslikane fotografije niso dovoljene, razen v izjemnih primerih. Računajte, da bo širina fotografije v tisku največ 80 mm. Več fotografij, ki spadajo skupaj, nalepite na papir in jih označite kot eno sliko. V tem primeru je lahko širina slike tudi 165 mm. Izjemno imajo fotografije lahko tudi nestandardno širino. V tem primeru priložite fotografiji pojasnilo, kakšno velikost želite v tisku. Mikroskopska in makroskopska povečanja in pomanjšanja označite v podpisu k sliki (povečanje 100-krat), (pomanjšanja 1,5-krat), še bolje pa z vrisanjem ustrezne skale s črnim ali belim tušem na fotografiji.

Diagrami in risane slike

Diagrami in risane slike morajo biti narisane s tušem na paus papirju. Ne pošiljajte prefotografiranih ali kopiranih risb. Diagrami morajo imeti popoln okvir in mrežo (raster) v notranjosti okvira. Zaporedno številko slike napišite s svinčnikom na vogalu formata.

Prosimo avtorje, da dosledno upoštevajo še naslednja navodila:

1. **Širina**: Diagrami morajo biti narisani na formatu A4. Širina diagrama naj bo 150 mm, plus ali minus 10 mm. Širina ni le okvir diagrama, temveč tudi številke in napis na ordinatni osi. V tisku so ti diagrami pomanjšani približno 2-krat, na širino enega stolpca. Odstopanja od teh širin narisanih in tiskanih diagramov bodo upoštevana le v primerih, ko morajo biti zaradi gostote podatkov, krivulj ali preglednosti tiskani v širini obeh stolpcev, to je okoli 160 mm. V teh primerih naj bo širina naranega diagrama 300 mm, plus ali minus 20 mm.

Pri drugih risanih slikah (izdelki, preseki, naprave, sheme, načrti in podobno) je lahko skupna narisana širina manjša od 150 mm. Pri tem upoštevajte estetski videz pomanjšane tiskane slike med tekstom in tudi, da bo slika v vsakem primeru v tisku pomanjšana 2-krat; uporabljajte torej enake velikosti črk in debeline črt kot pri diagramih.

2. **Črte**: V vseh diagramih in drugih risanih slikah uporabite izključno naslednje debeline črt:

— Okviri diagramov (koordinatne osi)	0,4 mm
— Mreže v diagramih	0,2 mm
— Krivulje v diagramih	0,6 mm
— Osnovne črte v risbah	0,2 mm
— Prerezi (obrisi) v risbah	0,4 mm
— Šrafure	0,2 mm

V tisku bodo te črte polovico tanjše.

3. **Črke in številke**: Uporabljajte pokončne črke in številke velikosti 4 mm, risane s šablono in peresom, ki ustreza tej velikosti. Izjema so le indeksi, ki naj bodo veliki 3 mm. V tisku bo velikost črk in številok okoli 2 mm, indeksov pa 1,5 mm.

4. **Opis koordinat**: Na abscisi in ordinati mora biti neskrajšan opis s simbolom in enoto, npr.: Natezna trdnost σ_M v N/mm²; Stopnja deformacije ϵ v %; Količina mase Mn v %; ne pa le σ_M N/mm²; ϵ %; % Mn.

5. **Oznake točk in krivulj**: Legende za različne vrste točk in krivulj morajo biti v sliki. Legende za simbole in druge črkovne oznake so lahko tudi v podpisih k slikam.

Izveček

Za hitro orientacijo po dokončanju članka navajamo na kratko, kaj je potrebno poslati uredništvu Železarskega zbornika:

1. Rokopis v enem izvodu (drugega hranite za pregled krtačnega odtisa) z izvečkom pod naslovom, oznakami za slike na levem robu in podatki o avtorjih.

2. Povzetek za prevode v 4 izvodih.

3. Avtorski izveček za kartice v 4 izvodih.

4. Podpisi k slikam v 2 izvodih.

5. Oštevilčene fotografije, diagrami in druge slike.