

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

Kos Ivan — Železarna Ravne VPLIV IZHODNEGA STRUKTURNEGA IN TRDNOST- NEGA STANJA VENTILSKIH JEKEL NA MEHANSKE LASTNOSTI PRI POVIŠANIH TEMPERATURAH	1
Kaker Henrik — Železarna Ravne ANALIZA NAPAK, KI VPLIVAJO NA TOČNOST NE- STANDARDNE METODE ENERGIJSKO DISPERZIJSKE MIKROANALIZE VZORCEV V REM	7
Bratina Janez — Železarna Ravne INDUKCIJSKO SEGREVANJE CILINDRIČNIH TELES	13
Tehnične novice	
Smajlc Nijaz — Metalurški inštitut Ljubljana SUPERFERITNA NERJAVNA JEKLA	19
Diplomska dela	23
Osebnosti	25

LETO 22 ŠT. 1 — 1988

ŽEZB BQ 22 (1) 1—28 (1988)

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), P. Berger (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), P. Berger (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 22

LJUBLJANA

MAREC 1988

Vsebina	Stran	Inhalt	Seite	Contents	Page	Содержание	Страница
I. Kos Vpliv izhodnega strukturnega in trdnostnega stanja ventilskih jekel na mehanske lastnosti pri povišanih temperaturah UDK: 669.14.018.853.4:620.17:620.179.13 ASM/SLA: SS, T21b, Q27, 1-66, 3-70	1	I. Kos Einfluss von Gefüge und Festigkeitsausgangszustandes der Ventilstähle auf die mechanischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen UDK: 669.14.018.853.4:620.17:620.179.13 ASM/SLA: SS, T21b, Q27, 1-66, 3-70	1	I. Kos Influence of Initial Structural and Strength State of Valve Steel on the Mechanical Properties at Elevated Temperatures UDK: 669.14.018.853.4:620.17:620.179.13 ASM/SLA: SS, T21b, Q27, 1-66, 3-70	1	I. Kos Влияние исходного структурного и прочностного состояния сталей для клапанов на механические свойства при повышенных температурах. UDK: 669.14.018.853.4:620.17:620.179.13 ASM/SLA: SS, T21b, Q27, 1-66, 3-70	1
A. Kaker Analiza napak, ki vplivajo na točnost nestandardne metode energijsko disperzijske mikroanalize vzorcev v REM UDK: 620.187:543.063 ASM/SLA: M21e, S11e	7	A. Kaker Analyse der Fehler, welche die Genauigkeit der nicht-standardisierten Methode der Energiedispersiven Mikroanalyse der Proben im REM beeinflussen. UDK: 620.187:543.063 ASM/SLA: M21 e, S11e	7	A. Kaker Analysis of Errors Influencing the Accuracy of Non-Standard Method of the Energy Dispersion Microanalysis of Samples in SEM UDK: 620.187:543.063 NSM/SLA: M21e, S11e	7	A. Kaker Анализ погрешностей, которые влияют на точность нестандартизованного метода дисперсионного микроанализа энергии образцов в растровой электронной микроскопии. UDK: 620.187:543.063 ASM/SLA: M21e, S11e	7
J. Bratina Indukcijsko segrevanje cilindričnih teles UDK: 621.365.5 ASM/SLA: J2g, P11	13	J. Bratina Induktive Erwärmung zylindrischer Körper UDK: 621.365.5 ASM/SLA: J2g, P11	13	J. Bratina Induction Heating of Cylindrical Bodies UDK: 621.365.5 ASM/SLA: J2g, P11,	13	J. Bratina Индукционный нагрев цилиндрических тел. UDK: 621.365.5 ASM/SLA: J2g, P11,	13
Tehnične novice	19	Technische Nachrichten	19	Technical News	19	Технические новости	19
Diplomska dela	23	Diplomarbeiten	23	Diploma Thesis	23	Дипломная работа	23
Osebnе vesti	25	Persönliche Nachrichten	25	Personal News	25	Личные сведения	25



899301044

ZELZARSKI ZBORNIK

IZDAVAČ ZELZARNE ŽELENICE, RAJNE, ŠTORIJA, METALURGIJSKI INŠTITUT

1952. g.

LEKARNA

IZDAVAČKI ODEŠAK

Ime	Adresa	Kontakt	Opis
Doktorica Z. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 1234	... 1952
Doktorica M. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 5678	... 1952
Doktorica K. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 9012	... 1952
Doktorica L. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 3456	... 1952
Doktorica N. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 7890	... 1952
Doktorica O. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 1122	... 1952
Doktorica P. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 3344	... 1952
Doktorica R. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 5566	... 1952
Doktorica S. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 7788	... 1952
Doktorica T. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 9900	... 1952
Doktorica U. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 1111	... 1952
Doktorica V. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 2222	... 1952
Doktorica W. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 3333	... 1952
Doktorica X. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 4444	... 1952
Doktorica Y. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 5555	... 1952
Doktorica Z. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 6666	... 1952
Doktorica AA. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 7777	... 1952
Doktorica BB. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 8888	... 1952
Doktorica CC. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 9999	... 1952
Doktorica DD. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 0000	... 1952
Doktorica EE. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 1111	... 1952
Doktorica FF. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 2222	... 1952
Doktorica GG. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 3333	... 1952
Doktorica HH. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 4444	... 1952
Doktorica II. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 5555	... 1952
Doktorica JJ. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 6666	... 1952
Doktorica KK. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 7777	... 1952
Doktorica LL. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 8888	... 1952
Doktorica MM. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 9999	... 1952
Doktorica NN. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 0000	... 1952
Doktorica OO. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 1111	... 1952
Doktorica PP. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 2222	... 1952
Doktorica QQ. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 3333	... 1952
Doktorica RR. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 4444	... 1952
Doktorica SS. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 5555	... 1952
Doktorica TT. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 6666	... 1952
Doktorica UU. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 7777	... 1952
Doktorica VV. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 8888	... 1952
Doktorica WW. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 9999	... 1952
Doktorica XX. Zelzarski	Ljubljana, ...	... 0000	... 1952



Vpliv izhodnega strukturnega in trdnostnega stanja ventilskih jekel na mehanske lastnosti pri povišanih temperaturah

Ivan Kos*

UDK: 669.14.018.853.4:620.17:620.179.13
ASM/SLA: SS, T21b, Q27, 1—66, 3—70

Ventilska jekla uporabljamo za izdelavo ventilov motorjev z notranjim izgorevanjem. Ločimo sesalne in izpušne, ki se razlikujejo po svoji kemični sestavi, strukturi in lastnostih. V članku obravnavamo primerjavo mehanskih lastnosti dveh različnih tipov ventilskih jekel, ki smo ju preizkušali pri povišanih temperaturah v različnih izhodnih stanjih.

1. UVOD

Ventilska jekla smo na splošno že predstavili v Železarskem zborniku 19, 1985, 4. S tem člankom pa bomo podrobneje obdelali področje »mehanske lastnosti pri povišanih temperaturah«. Zanima nas vpliv izhodnega strukturnega stanja na potek plastomehanskih lastnosti v temperaturnem območju, kjer ventili za motorje z notranjim izgorevanjem delujejo.

Predstavljamo dva tipa ventilskih jekel:

a) martenzitni tip Č4581,

b) avstenitni tip s karbonitridi Č4870.

Martenzitni tipi ventilskih jekel se utrjujejo s poboljšanjem. Zaradi tega pomenijo delovne temperature preko 500° C območje popustnih efektov. Jeklom se drastično spremenijo trdnostne lastnosti. Jeklu Č4581 pade natezna trdnost pod 100 N/mm² v temperaturnem območju med 700 in 800° C.

V nasprotju s to vrsto ventilskih jekel so avstenitna. Ta jekla se izločevalno utrjujejo. Izločeni karbonitridi blokirajo ravnine drsenja, kar pomeni višjo natezno trdnost. Zaradi tega pojava je ta vrsta ventilskih jekel uporabna za izpušne ventile, ki obratujejo v temperaturnem območju okrog 800° C.

Pri izbiri materiala ventilov za motorje z notranjim izgorevanjem moramo biti pozorni. Vedeti moramo, kako so dani ventili v motorju toplotno obremenjeni, kajti na tej osnovi izbiramo jeklo za posamezno vrsto ventilov.

2. NAMEN POSKUSOV

Za raziskavo ventilskih jekel pri povišanih temperaturah smo uporabljali raztržni poskus. Osnovni namen poskusov je bil izmeriti mehanske lastnosti, ugotoviti razlike glede na vrsto izhodnega stanja ter izdelati diagramski prikaz odvisnosti plastomehanskih lastnosti od temperature.

2.1 Vrsta jekla ter izhodno stanje

2.1.1 V uvodu smo omenili, s katerima jekloma smo opravljali poskuse. V tabeli 1 navajamo njuni okvirni kemični sestavi.

2.1.2 Za poskuse smo dobili jeklo v vlečenem stanju. Naknadno smo ga toplotno obdelali, tako da smo imeli za obe vrsti jekla tri izhodna stanja.

V tabeli 2 prikazujemo stanje jekla z mehanskimi lastnostmi, ki smo jih dosegli z ustrezno toplotno obdelavo. Vrsto oziroma postopek za toplotno obdelavo smo izbrali standardno. Le pri jeklu Č4581 smo za poboljšanje s poskusi izbrali pravilno temperaturo kaljenja, za katero vemo, da je odvisna od konkretne kemične sestave.

Zaradi boljše predstave o razliki mehanskih lastnosti glede na različna izhodna stanja smo naredili tudi diagramski prikaz. Na sliki 1 sta prikazani obe preiskovani jekli.

Tabela 1: Kemična sestava jekel

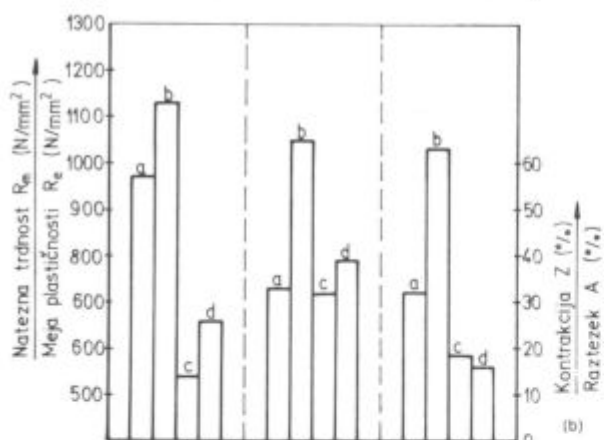
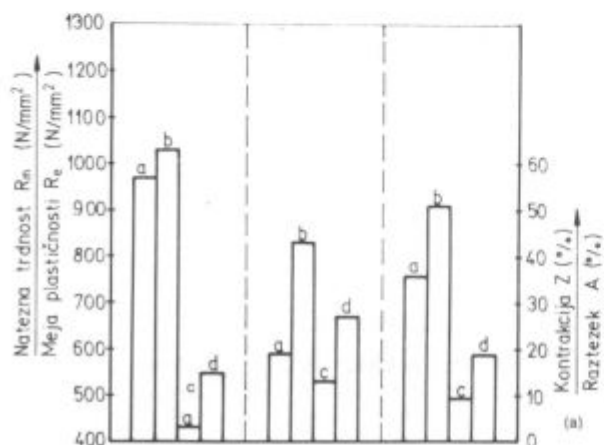
Oznaka JUS	% C	% S	% Si	% Cr	% Ni	% Mn	% P	% V	% Mo	% Nb	% N ₂
Č4581	0,75	max	1,75	19,0	1,20	max	max				
	0,85	0,030	2,25	21,0	1,70	1,0	0,040				
Č4870	0,48	max	max	20,0	3,25	8,0	max	0,75	0,75	0,75	0,38
	0,58	0,035	0,25	22,0	4,25	10,0	0,040	1,25	1,25	1,25	0,50

* Ivan Kos, dipl. inž. met., Železarna Ravne

Tabela 2: Izhodno stanje jekla ter pripadajoče mehanske lastnosti

Jeklo JUS	Izhodno stanje	Mehanske lastnosti			
		Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A (%)	Z (%)
Č 4581	vlečeno	970	1030	3,5	15,0
Č 4581	* rekristalizacijsko žarjeno	590	830	13,0	27,0
Č 4581	** poboljšano	760	910	9,5	19,0
Č 4870	vlečeno	974	1130	14,0	26,0
Č 4870	*** rekristalizacijsko žarjeno	730	1050	32,0	39,0
Č 4870	**** starano	730	1030	18,5	16,0

Opomba: * rekristalizacijsko žarjeno pri 750⁰ C/zrak
 ** poboljšano — kaljeno pri 1050⁰ C/olje ter popuščano pri 720⁰/zrak
 *** rekristalizacijsko žarjeno pri temperaturi 1100⁰ C/voda
 **** starano — rekristalizacijsko žarjeno pri 1100⁰ C/voda ter starano pri 760⁰ C/8^h/zrak.



Legenda: a — meja plastičnosti b — natezna trdnost
 c — raztezek d — kontrakcija

Slika 1:

Izhodno stanje ter pripadajoče mehanske lastnosti za jekli Č 4581 (a) in Č 4870 (b).

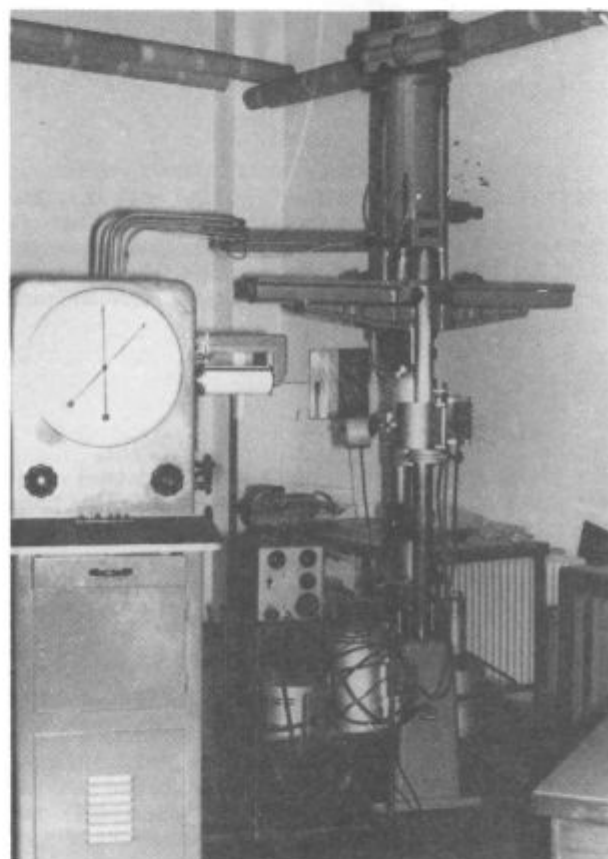
Fig. 1:

Initial state and corresponding mechanical properties for steel Č 4581 (a), and Č 4870 (b)

3. OPIS POSKUSOV

3.1 Trgalne poskuse pri povišanih temperaturah smo delali v mehanskem laboratoriju ŽR.

Pri poskusu smo uporabljali naslednje naprave: (slika 2)



Slika 2:

AMSLER trgalni stroj 200 kN s pripadajočimi aparaturami za preizkušanje jekel pri povišanih temperaturah.

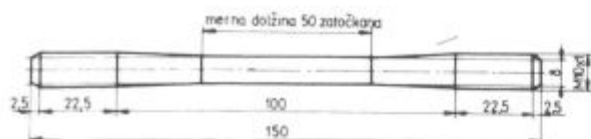
Fig. 2:

Amsler tensile machine of 200 kN with belonging set-ups for testing steel at elevated temperatures

1. Univerzalni trgalni stroj, tipa AMSLER 200 kN.
2. Električna peč za preizkušanje v vročem, moči 5 kW.
3. Amslerjev stikalni aparat.
4. Temperaturni regulator AMSLER.
5. Instrument za odčitavanje temperature.

3.2 Potek poskusa

Za preizkušanje in merjenje mehanskih lastnosti ventilskih jekel pri povišanih temperaturah smo izdelali po-



Slika 3:

Skica trgalne probe z obojestranskim navojem za trganje pri povišanih temperaturah.

Fig. 3:

Scheme of tensile testing probe with both-sided thread for rupture tests at elevated temperatures

sebne preizkušance z obojestranskim navojem. Skica preizkušanca je prikazana na sliki 3.

Značilnost trgalnega preizkusa za trganje pri povišanih temperaturah je v izredno fini obdelavi oslabljenega dela preizkušanca. Preizkušamo namreč jekla z visokimi trdnostmi in pri nižjih temperaturah preizkušanja je lahko vsak najmanjši zarezni učinek tisti, ki povzroči predčasno prekinitev poskusa in s tem nepravilnost meritve.

Časovno traja poskus trganja pri povišanih temperaturah okrog 20 minut. Delali smo z več paralelkami na isti temperaturi. Temperaturo smo merili s termoelementom, tipa Pt Rh Pt.

Trdnostne lastnosti smo odbirali na merilni skali AM-SLER trgalnega stroja. Raztezek in kontrakcijo smo izmerili po ohladitvi preizkušanca.

Temperature preizkušanja smo si izbrali v intervalih po 50° C, in sicer za jeklo Č4870 med 400 in 850° C, za jeklo Č4581 pa med 500 in 800° C.

4. REZULTATI POSKUSOV

Rezultati poskusov trganja pri povišanih temperaturah za jekli Č4581 in Č4870 so prikazani v tabelah 3 in 4. Navedene so srednje vrednosti več meritev.

5. OCENA IN ANALIZA REZULTATOV

5.1 Primerjava mehanskih lastnosti jekla Č4581 za posamezna izhodna stanja je naslednja:

— Jeklo Č4581 ima najslabše mehanske lastnosti v vlečenem stanju. Izrazito odstopa meja plastičnosti R_e , ki se že močno približa natezni trdnosti R_m . V vlečenem stanju je zelo nizek tudi raztezek A, le za spoznanje boljša je kontrakcija.

— Z rekristalizacijskim žarjenjem smo povrnili jeklu sorazmerno dobre plastomehanske lastnosti. Pozna se velik padec meje plastičnosti, vidno se zboljšata tudi raztezek in kontrakcija.

— Za poboljšanje vemo, da je postopek, ki da jeklu pri povišani trdnosti večji raztezek in kontrakcijo. S poboljšanjem preizkušane jekla smo dosegli zanj predpisane lastnosti za to stanje.

Tabela 3: Vrednosti mehanskih lastnosti jekla Č4581 pri povišanih temperaturah

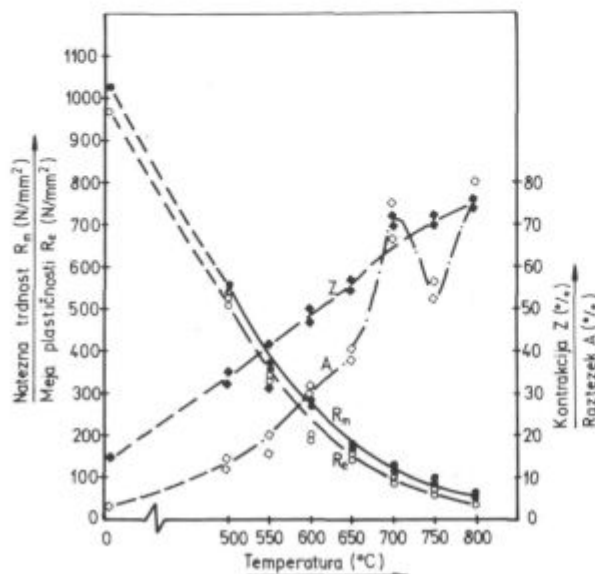
Mehanske lastnosti	Temperatura (°C)							Izhodno stanje
	500	550	600	650	700	750	800	
R_e (N/mm ²)	520	350	195	162	95	70	50	vlečeno
R_m (N/mm ²)	540	365	275	180	120	90	60	
A (%)	13,5	17,0	30,0	39,0	70,0	55,0	87,0	
Z (%)	34,5	37,5	48,5	56,0	71,0	70,5	75,0	
R_e (N/mm ²)	332	235	163	152	100	70	55	rekristalizacijsko žarjeno
R_m (N/mm ²)	450	310	195	175	120	90	70	
A (%)	22,5	41,0	36,0	45,0	52,5	74,0	73,0	
Z (%)	41,0	48,0	56,0	63,0	67,0	74,0	75,0	
R_e (N/mm ²)	470	392	277	222	147	87	65	poboljšano
R_m (N/mm ²)	520	435	295	235	160	120	80	
A (%)	21,0	19,5	25,5	34,5	37,5	40,0	80,0	
Z (%)	43,5	49,0	58,0	65,5	72,0	73,0	84,0	

Tabela 4: Vrednosti mehanskih lastnosti jekla Č4870 pri povišanih temperaturah

Mehanske lastnosti	Temperatura (°C)										Izhodno stanje
	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	
R_e (N/mm ²)	665	625	594	582	555	552	489	431	331	257	vlečeno
R_m (N/mm ²)	814	774	760	735	669	605	546	459	363	278	
A (%)	16,0	15,1	15,5	15,5	13,0	11,5	11,1	11,1	11,5	16,0	
Z (%)	26,0	34,0	35,0	32,5	22,0	22,0	21,0	23,5	27,0	41,0	
R_e (N/mm ²)	440	—	367	380	345	315	300	267	252	227	rekristalizacijsko žarjeno
R_m (N/mm ²)	780	—	670	720	655	595	520	450	365	320	
A (%)	30,0	—	29,0	28,5	24,0	20,5	18,5	20,5	24,5	25,0	
Z (%)	37,0	—	41,5	44,0	31,5	23,5	22,0	26,5	38,5	47,5	
R_e (N/mm ²)	467	—	447	377	332	310	297	265	230	190	starano
R_m (N/mm ²)	765	—	690	670	605	560	485	410	360	310	
A (%)	24,0	—	20,0	20,5	22,0	24,0	23,0	26,5	25,5	30,5	
Z (%)	28,0	—	30,0	34,5	36,0	33,5	36,0	38,5	46,0	46,0	

5.1.1 Primerjava mehanskih lastnosti pri povišanih temperaturah

— Glede mehanskih lastnosti pri povišanih temperaturah lahko ugotovimo, da se jeklo Č4581 najboljše obnaša v poboljšanem stanju. Mejna temperaturna vrednost za uporabnost tega ogljik-krom-silicijevega jekla je pri okrog 500–600° C. V tem temperaturnem območju

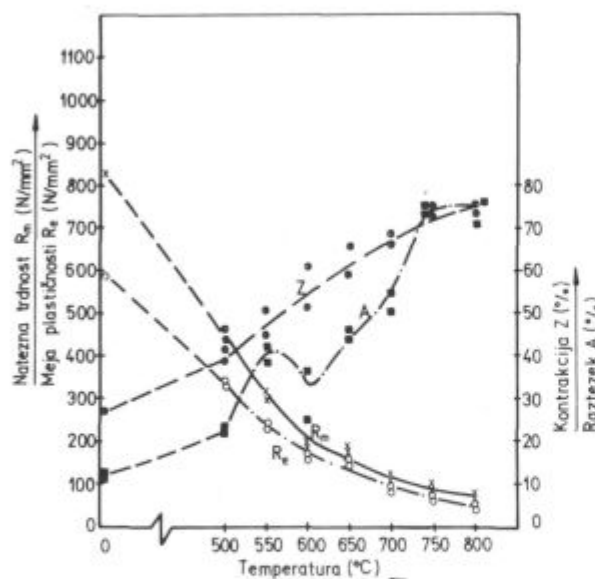


Slika 4:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4581 v vlečenem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 4:

Mechanical properties of the Č4581 valve steel, as drawn, at elevated temperatures.



Slika 5:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4581 v rekristalizacijsko žarjenem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 5:

Mechanical properties of the Č4581 valve steel, as recrystallized, at elevated temperatures

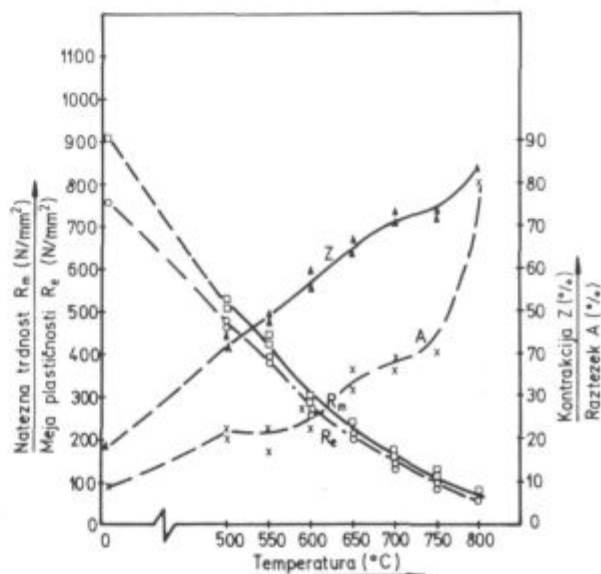
mu trdnostne lastnosti močno padejo. Natezna trdnost R_m je le še okrog 300 N/mm².

— Razlika v mehanskih lastnostih med posameznimi izhodnimi stanji pri preizkušanju pri povišanih temperaturah je očitna v glavnem le v spodnjem temperaturnem območju preizkušanja.

— Vseeno lahko ugotovimo, da ima jeklo Č4581 v poboljšanem stanju pri vseh temperaturah preizkušanja najvišje vrednosti trdnostnih parametrov.

Zanimivo je, da je do temperature poprave kristalov tudi vlečeno stanje trdnostno ugodno. Plastomehanski parametri pa so sorazmerno nizki, predvsem ta trditve velja za raztezek.

— Vrednosti mehanskih lastnosti pri povišanih temperaturah posameznih stanj jekla Č4581 smo prikazali tudi diagramsko, in sicer imamo te odnose prikazane na slikah 4, 5 in 6.



Slika 6:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4581 v poboljšanem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 6:

Mechanical properties of the Č4581 valve steel, as quenched and tempered, at elevated temperatures.

5.2 Primerjava mehanskih lastnosti jekla Č4870 za posamezna izhodna stanja je:

— To jeklo ima najboljše plastomehanske lastnosti v rekristaliziranem stanju. Trdnostna parametra R_e in R_m sta nizka, hkrati pa ima jeklo visok raztezek in kontrakcijo.

— Podatek, da so najslabše vrednosti, ki karakterizirajo plastičnost jekla, v vlečenem stanju, ne preseneča. Hladna deformacija jeklo utrdi, kar je pri avstenitnih strukturah še izrazitejša. Spet najbolj izstopa meja plastičnosti, ki je odraz hladne utrditve jekla.

5.2.1 Primerjava mehanskih lastnosti pri povišanih temperaturah:

— Razlika med posameznimi preizkušanimi izhodnimi stanji pri jeklu Č4870 ni velika.

— Enako kot pri jeklu Č4581 tudi pri tem avstenitnem tipu vlečeno stanje vse do temperatur poprave kri-

stalov (800° C) trdnostno odstopa. Odstopa pa tudi v raztežku, ki je pri vseh temperaturah najnižji.

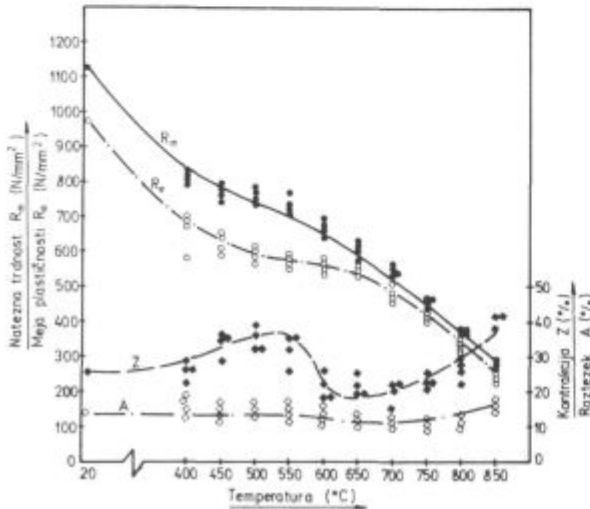
— Šele v temperaturnem območju 800–850° C pride do izraza starano in rekristalizacijsko žarjeno stanje jekla.

— Vseeno lahko povzamemo, da ima jeklo Č4870 najprimernejše mehanske lastnosti v staranem stanju. Namreč gledano v celoti, sta raztezek in kontrakcija tudi pomembna parametra, ki pa sta v tem stanju vseskozi najvišja.

— Zanimiva pa je ugotovitev, da med lastnostmi v rekristaliziranem stanju in staranemu stanju ni izrazito velikih razlik. Verjetno je potrebno razlago za to iskati v

osnovnem gašenju. Temperatura osnovnega gašenja 1050° C je za popoln raztop karbidov in karbonitridov prenizka. Ker pa pri osnovnem gašenju nismo raztopili vseh karbidnih faz, je razlika med stanjema »rekristalizirano« in »starano« minimalna.

— Vrednosti preizkušanja pri povišanih temperaturah posameznih stanj jekla Č4870 pa prikazujemo tudi v diagramih na slikah 7, 8 in 9.

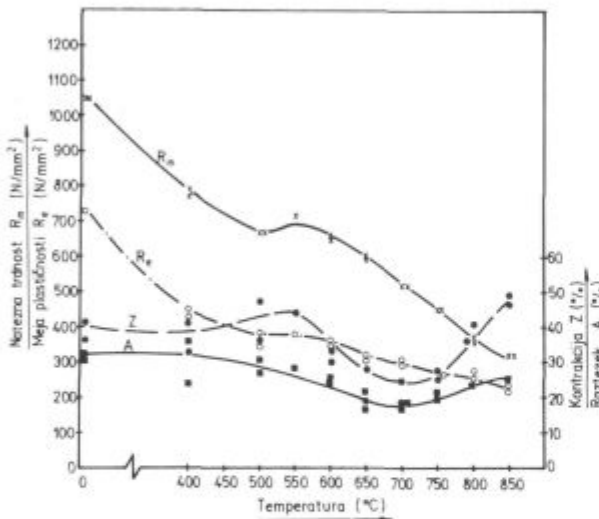


Slika 7:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4870 v vlečenem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 7:

Mechanical properties of the Č4870 valve steel, as drawn, at elevated temperatures.

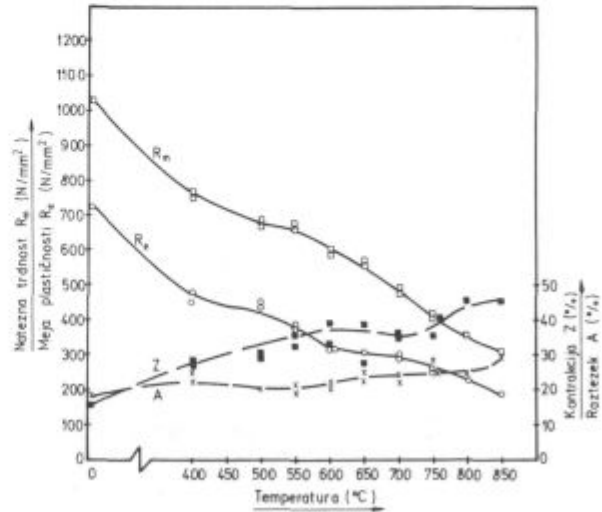


Slika 8:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4870 v rekristalizacijsko žarjenem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 8:

Mechanical properties of the Č4870 valve steel, as recrystallized, at elevated temperatures.



Slika 9:

Mehanske lastnosti ventilskega jekla Č4870 v staranem stanju pri povišanih temperaturah.

Fig. 9:

Mechanical properties of the Č4870 valve steel, as aged, at elevated temperatures.

6. Primerjava med jekloma Č4581 in Č4870

Že v uvodu smo ugotovili, da je ogljik-krom-silicijev jeklo Č4581 z 0,80 % C namenjeno za sesalne ventile. Ti poskusi so nam to potrdili. Jeklo ima vse do popuščnih temperatur zadovoljive lastnosti. Vemo pa tudi, da so delovne temperature za to vrsto ventilov sorazmerno nizke, okrog 500° C.

Nasprotno pa za jeklo Č4870 velja, da se izločevalno utrjuje. Karbonitridni precipitanti imajo temperature raztopa višje, zato so mehanske lastnosti tega jekla tudi v območju do 850° C sorazmerno visoke.

V primerjavi z jeklom Č4581 ima jeklo Č4870 pri temperaturi okrog 800° C za faktor 4 do 5-krat višjo natezno trdnost.

Vpliv izločevalnih učinkov pri jeklu Č4870 pa je viden tudi pri raztežku in kontrakciji. Od izhodnega stanja pa do 800° C ta dva parametra narasteta za okrog 50 %. Pri jeklu Č4581 pa je porast mnogo večji — za okrog 200 %.

7. SKLEPI

7.1 Ventilsko jeklo Č4581 je martenzitnega tipa in se uporablja za sesalne ventile, kjer praviloma nastopajo nižje delovne temperature in s tem nižje toplotne obremenitve.

Najprimernejše je v poboljšanem stanju tako glede na trdnostne kot plastomehanske lastnosti.

7.2 Jeklo Č4870, ki je legirano s karbidotvornimi elementi in dušikom, ima po ustrezni toplotni obdelavi v

svoji strukturi izločene karbonitridne precipitate. Zaradi teh, ki jeklu tudi pri višjih temperaturah od 500° C dajejo povišano natezno trdnost, se to jeklo uporablja za bolj obremenjene izpušne ventile.

Najprimernejša toplotna obdelava je staranje. Dileme o tem, ali starano ali vlečeno, seveda ni, ker vemo, da ventile izdelujemo iz paličastega jekla z vročim kovanjem. Torej je ventil po kovanju v surovem kovanem stanju in ga je potrebno v celoti in popolnoma toplotno obdelati.

7.3 Poskusi pa so vseeno pokazali, da določene razlike preizkušanja ventilskih jekel pri povišanih tempera-

turah obstajajo. Za dober ventil in njegovo dolgo življenjsko dobo je tako za martenzitni tip kot avstenitni potrebnana popolna toplotna obdelava.

Literatura:

1. H. Brandis, B. Huchteman: Verbesserung Der Verarbeitbarkeit austenitische Ventilstähle. Thyssen Edelstahl Technische Berichte, 10 Band, 1984.
2. Deutsche Norm-Ventilwerkstoffe DIN 17480.
3. Rodič A.: Sistematika in značilnosti mikrostruktur ventilskih jekel ŽR; R-8405.
4. Kos I.: Ventilska jekla; Železarski zbornik, 19, 1985, 4.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Untersuchung hatte das Ziel den Einfluss des Ausgangszustandes von Stahl auf die mechanischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen festzustellen. Zwei verschiedene Stahltypen von Ventilstählen sind untersucht worden:

- martensitischer Typ Č 4581
- austenitischer Typ mit Karbonitriden Č 4870

Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass der austenitische Stahl Č 4870 tatsächlich temperaturbeständiger ist als der martensitische Stahl Č 4581. Ein Vergleich der mechanischen

Eigenschaften zeigt, dass bei 800° C die Zugfestigkeit von Stahl Č 4870 viermal größer ist als beim Stahl Č 4581.

Der Ausgangszustand hat beurteilt nach unseren Untersuchungen einen größeren Einfluss beim Stahl Č 4581, da der vergütete Zustand ausgeprägt abweicht. Beim Stahl Č 4870 kann festgestellt werden, dass der Ausgangszustand nicht einen so grossen Einfluss hat.

In jedem Fall ist aber die Alterung das Verfahren, dass dem Stahl die besten temperaturbeständigen und stabilen Eigenschaften zusichert.

SUMMARY

The tests with valve steel were made to find the influence of the initial state of steel on the mechanical properties at elevated temperatures. Two various types of valve steel were tested:

- martensitic Č 4581 steel, and
- austenitic Č 4870 steel with carbonitrides.

The results of investigations showed that austenitic Č 4870 steel has actually better temperature stability than the martensitic Č 4581 steel. Comparison of strengths show that tensile

strength of Č 4870 steel at 800° C is four times greater than that of Č 4581 steel.

The initial state according to our investigations has greater influence with the Č 4581 steel since as quenched and tempered differs essentially. It was found that the original structure of the Č 4870 steel has not such a great influence. Anyhow, the ageing assures the optimal properties which are temperature stable.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С исследованием сталей для вентиля автор этой работы хотел определить какое влияние оказывает выходное состояние стали на механические свойства при повышенных температурах. Исследованы были два различных сорта сталей для вентиля:

- Č 4581 мартенситного вида и
- Č 4870 аустенитного вида с карбонитридами.

Результаты исследования показали, что аустенитная сталь Č 4870, более температурноустойчива чем мартенситная сталь Č 4581. Сравнение свойств прочности показывает, что при

температуре 800° C натяжная прочность стали Č 4870 четыре раза больше чем при стали Č 4581.

На основании мнения нашего исследования более существенное влияние оказалось при стали Č 4581, где ясно выражено улучшенное состояние.

Для стали Č 4870 можно установить, что первоначальная структура не оказывает большое влияние. Всё-таки способ старения представляет собой существенное значение, которое обеспечивает стали самые лучшие, температурноустойчивые стабильные свойства.

Analiza napak, ki vplivajo na točnost nestandardne metode energijsko disperzijske mikroanalize vzorcev v REM

Henrik Kaker*

UDK: 620.187:543.063
ASM/SLA/ M21e, S11e

Opisani so dejavniki, ki vplivajo na točnost energijsko disperzijske mikroanalize vzorcev v raster elektronskem mikroskopu z metodo brez uporabe standardov (nestandardna metoda).

1. UVOD

Metoda energijsko disperzijske analize (EDS) vzorcev brez uporabe standardov (nestandardna metoda) je danes že dobro uveljavljena mikroanalizna metoda. Pogosto pa se vprašamo, kakšna je praktična točnost nestandardne metode mikroanalize in kako posamezne napake vplivajo na točnost dobljenih kvantitativnih rezultatov. V članku so obravnavani vplivi posameznih napak na točnost kvantitativne nestandardne metode mikroanalize v raster elektronskem mikroskopu (REM).

2. PRIPRAVA VZORCEV

V preiskavi smo uporabili vzorce zlitine Nimonic 80 A. Kemična sestava vzorcev je bila določena z rentgensko fluorescenčno analizo in je 0,03 % C, 1,26 % Al, 0,19 % Si, 0,002 % S, 2,28 % Ti, 19,40 % Cr, 0,07 % Mn, 1,21 % Fe, <0,01 % Cu, 0,003 % Zr in <0,002 % Pb. Vzorce smo pripravili na klasičen način, to je z brušenjem in poliranjem.

3. EKSPERIMENTI

Vse preiskave so bile opravljene z rastrskim elektronskim mikroskopom JEOL 35-CF in energijsko disperzivnim spektrometrom EDAX PV 9100/40 z računalnikom DIGITAL LSI-11/02 in operacijskim sistemom RT-11.

Analitični pogoji so bili naslednji:

Pospoševalna napetost: 25 kV

Nagibni kot vzorca: 27,8°

Odvzemni kot: 45,1°

Ločljivost detektorja: 150 eV na Mn α

Vhodna pogostost sunkov: 2000–3000 s⁻¹

Čas zbiranja spektra: 160 sekund

Debelina Be okna: 10,89 μ m (izmerjena po metodi A. O. Sandborga¹⁾)

Debelina mrtvega Si: 0,15 μ m

Debelina Au kontaktne plasti: 0,01 μ m

Uporabljeni standardi: Al, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, SiO₂, FeS₂

V analizi smo uporabili programsko opremo firme EDAX. Od vsakega zbranega spektra smo odšteli »escape« vrhove, ozadje in prekrivajoče se vrhove ter izračunali k-razmerja po nestandardni metodi analize. Izračunana k-razmerja smo nato uporabili kot vhod v ZAF izračun (korektura zaradi razlik v atomskem številu, absorpciji in fluorescenci med vzorcem in standardom) (računalniški program FRAME²⁾).

4. REZULTATI

Za oceno rezultatov kvantitativne EDS mikroanalize brez uporabe standardov smo opravili 50 površinskih analiz na naključno izbranih mestih vzorca zlitine Nimonic 80 A. Tako dobljene rezultate smo primerjali s 50 dobljenimi rezultati po metodi z direktno uporabo standardov. Vse te rezultate smo nato primerjali z določeno kemično sestavo zlitine Nimonic 80 A, izračunali povprečne vrednosti, standardne odklone in relativne napake meritve. **Tabela 1** prikazuje rezultate mikroanalize zlitine Nimonic 80 A.

Celotna napaka kvantitativne EDS mikroanalize je vsota posameznih napak in jo prikazuje naslednja enačba:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_v^2 + \sum_{i=1}^n \sigma_i^2}, \quad (1)$$

kjer je σ_s prispevek zaradi števne statistike, σ_v je prispevek zaradi nehomogenosti vzorca in $\sum \sigma_i$ je vsota vseh drugih možnih napak v kvantitativni EDS mikroanalizi³⁻⁷, katere lahko razdelimo v:

- 1) Napake, ki izvirajo iz nestabilnosti REM in EDS:
 - nestabilnost sistema,
 - točnost nastavitve pospeševalne napetosti,
 - napaka zaradi kontaminacije,
 - napaka zaradi vzbujanja notranjih delov vzorčne komore REM.
- 2) Napake zaradi operaterja:
 - priprava vzorcev,
 - geometrijska napaka,
 - napaka zaradi netočne kalibracije EDS.
- 3) Napake zaradi obdelave spektra in ZAF modela:
 - napaka zaradi slabe statistike,
 - napaka v izračunu relativnih čistih elementnih intenzitet,
 - napaka v ZAF modelu.

* Henrik Kaker, mag. dipl. inž. met., Železarna Ravne

Tabela 1: Primerjava rezultatov kvantitativne EDS mikroanalize po metodi brez uporabe standardov in s standardi z rezultati kemijske analize.

Elem.	EDS								
	Brez standardov				S standardi				
	C	Ĉ	σ	AN	RN	Ĉ	σ	AN	RN
Al	1,26	0,89	0,16	0,37	29,36	1,04	0,10	0,22	17,46
Si	0,19	0,21	0,19	0,02	10,52	0,23	0,39	0,04	21,05
S	0,002	0,07	0,009	0,068	3400	0,06	0,009	0,06	2900
Ti	2,28	2,15	0,009	0,13	5,70	2,19	0,009	0,09	3,94
Cr	19,40	19,27	0,16	0,13	0,67	19,31	0,14	0,09	0,46
Mn	0,07	0,63	0,08	0,56	800	8,55	0,09	0,48	686
Fe	1,21	1,06	0,06	0,15	12,39	1,13	0,07	0,08	6,61
Ni	75,53	75,83	0,35	0,30	0,40	75,69	0,34	0,16	0,22

C — sestava vzorca, določena s kemijsko analizo (ut. %)

Ĉ — sestava vzorca, določena z EDS analizo (ut. %)

σ — standardna deviacija meritve

AN — absolutna napaka meritve (%)

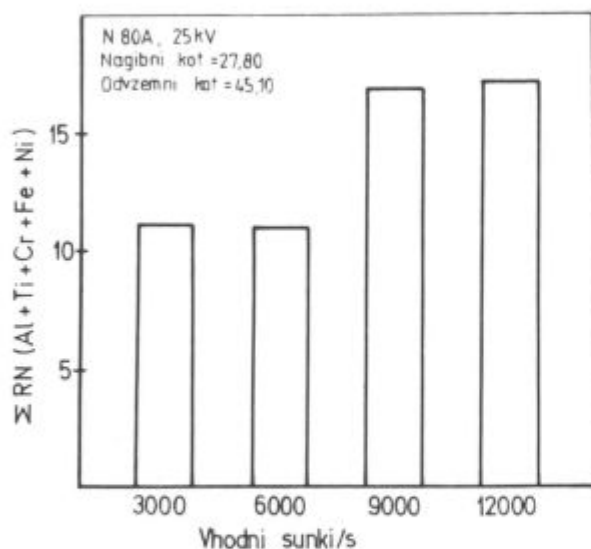
RN — relativna napaka meritve (%)

NAPAKA ZARADI NESTABILNOSTI SISTEMA

Te napake so posledica nestabilnosti elektronske opreme (prispevek zaradi elektronskega šuma v ozadje spektra), drift in dolgi mrtvi čas sistema.

Za ugotovitev vpliva nestabilnosti REM elektronike smo opravili 10 površinskih analiz na vzorcu, tako da smo vsakokrat izklopili in vklopili pospeševalno napetost pri meritvi in $\sum RN$ (Al + Ti + Cr + Fe + Ni) primerjali z rezultati analize brez uporabe standardov v tabeli 1. Dobljena $\sum RN$ je 10,77 ali 11,04 % več kot pri analizi brez izklopa/vklopa pospeševalne napetosti.

Za ugotovitev vpliva mrtvega časa sistema smo opravili 10 analiz pri različni pogostosti vhodnih sunkov. Ta vpliv je prikazan na sliki 1. Z nje vidimo, da $\sum RN$ naraste, ko preidemo optimalno območje v diagramu vhodni sunki — shranjeni sunki (to območje leži med 3000 — 6000 pulzov/s).



Slika 1:

Vpliv pogostosti vhodnih pulzov na $\sum RN$ (Al + Ti + Cr + Fe + Ni).

Fig. 1

Influence of the frequency of input pulses on $\sum RN$ (Al + Ti + Cr + Fe + Ni)

V napake zaradi nestabilnosti štejemo tudi napake, ki izvirajo iz fluktuacije toka elektronskega curka. Te fluktuacije v toku se pri analizi s standardi kompenzirajo z meritvijo tokovnega faktorja⁸.

NAPAKA ZARADI NASTAVITVE POSPEŠEVALNE NAPETOSTI

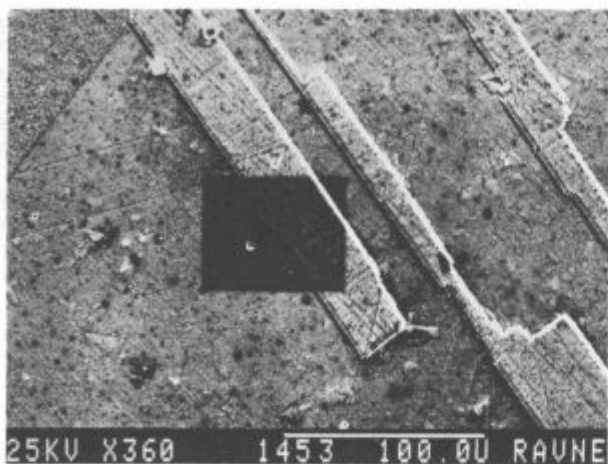
Napaka v predpostavljene energiji elektronov v elektronskem curku nekaj sto eV je posledica razlike med označenim in dejanskim katodnim potencialom. Za ugotovitev tega vpliva smo najprej vzorce analizirali pri 25 kV, nato pa z 1 kV napako, to je pri 26 kV. Rezultati 10 analiz so prikazani v tabeli 2. Relativne napake za posamezne elemente so izračunane glede na kemično sestavo vzorcev v tabeli 1; iz rezultatov vidimo, da se je relativna napaka povečala za vse analizirane elemente.

Tabela 2: Vpliv spremembe pospeševalne napetosti na točnost EDS mikroanalize.

Elem.	25 kV		26 kV	
	Ĉ (ut. %)	RN (%)	Ĉ (ut. %)	RN (%)
Al	0,85	32,54	0,69	45,24
Ti	2,13	6,58	2,07	9,21
Cr	19,16	1,23	18,96	2,27
Fe	1,07	11,57	1,05	13,22
Ni	76,18	0,86	76,57	1,38

NAPAKA ZARADI KONTAMINACIJE

Prisotnost rezidualnih plinov in par v REM elektronsko-optičnem stebru povzroča značilno depozicijo ogljikovodikov na vzorčni površini. Slika 2 prikazuje kontaminacijsko sled na vzorčni površini zlitine Nimonic 80 A. Ogljikova plast na površini vzorca absorbira vstopajoče primarne elektrone in tako zmanjšuje efektivno E_0 , absorbira emitirano rentgensko sevanje in poveča intenziteto sevanja CK_{α} . Ta pojav je seveda časovno odvisen. Slika 3 prikazuje vpliv časa kontaminacije na relativno napako določitve vsebnosti posameznih elementov v zlitini Nimonic 80 A, iz česar vidimo, da se s časom kontaminacije relativna napaka v splošnem povečuje. Relati-

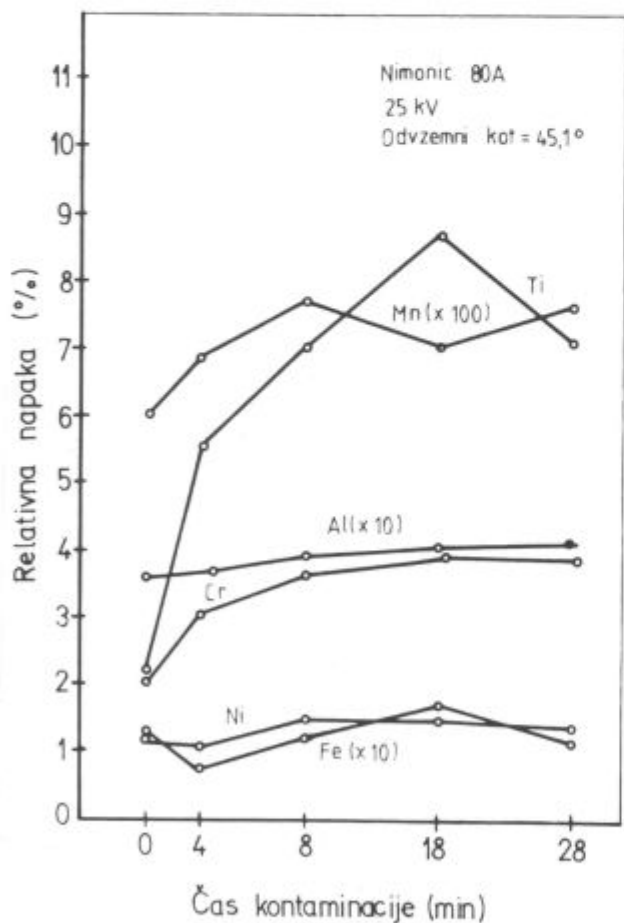


Slika 2:

Kontaminacijska sled na površini vzorca. Pov. 360 x, posneta s sekundarnimi elektroni.

Fig. 2

Contamination trace on the surface of the sample. Magn. 360 x, recorded with secondary electrons



Slika 3:

Vpliv časa kontaminacije na relativno napako posameznih elementov v zlitini Nimonic 80 A.

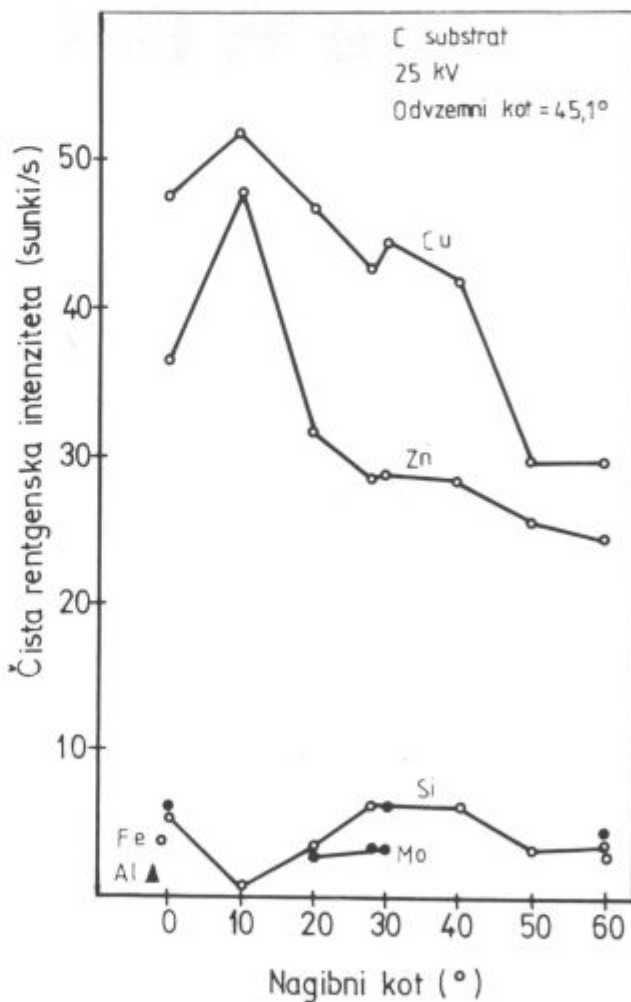
Fig. 3

Influence of the time of contamination on the relative error of single elements in the Nimonic 80 A alloy

vne napake so izračunane glede na kemično sestavo vzorca. Vpliv kontaminacije na rezultate meritev je zelo težko prikazati in najboljši ukrepi za zmanjševanje kontaminacije so delo s čistimi vzorci, vzorčnimi nosilci, redno čiščenje REM in uporaba antikontaminacijskih naprav (cold fingers and liquid nitrogen trap).

NAPAKA ZARADI VZBUJANJA NOTRANJIH DELOV VZORČNE KOMORE REM

Vrhove v spektru, ki izvirajo iz vzbujanja notranjih delov vzorčne komore REM, določimo na vzorcu iz spektroskopsko čistega grafitu. Meritve smo izvedli pri delovni dolžini 15 mm. Od vsakega zbranega spektra smo po identifikaciji odšteli ozadje in izmerili čiste rentgenske intenzitete. Slika 4 kaže rezultate meritve. Vidimo, da dobimo v spektru lažne vrhove od Mo, Si, Cu in Zn. Najboljši način za eliminiranje teh lažnih vrhov v spektru je zaščita notranjih delov vzorčne komore (npr. s premazom iz prevodnega cementa Leit — C).



Slika 4:

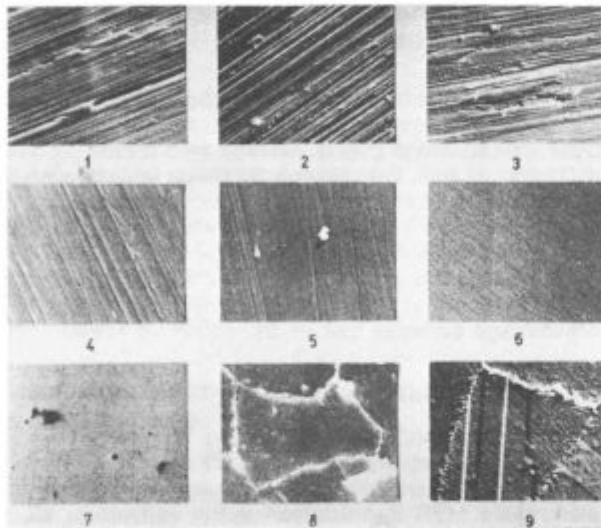
Lažni vrhovi v spektru zaradi vzbujanja notranjih delov vzorčne komore REM pri delovni dolžini 15 mm.

Fig. 4

False peaks in spectrum due to induction of internal parts of the SEM sample chamber in the working distance of 15 mm

NAPAKA ZARADI PRIPRAVE VZORCEV

Površinski relief vzorca povzroča napako v kvantitativni mikroanalizi³. Te napake so zanemarljive, če je vzorec dobro poliran in če za analizo vzamemo dovolj veliko površino vzorca. Da bi ugotovili vpliv priprave vzorčne površine na točnost EDS mikroanalize, smo kvantitativno analizirali vzorce, brušene na SiC brusilnih papirjih,

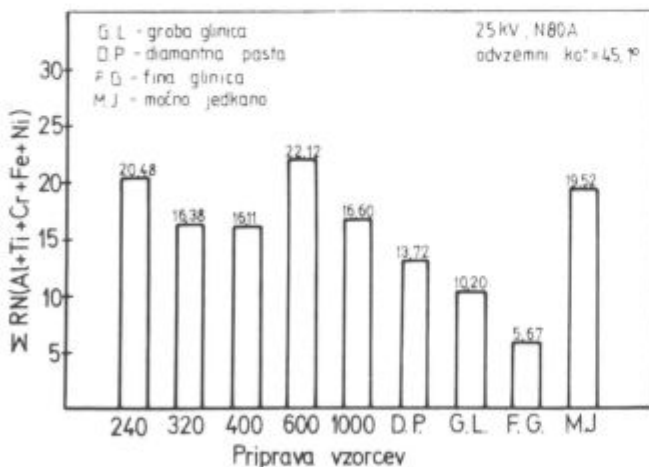


Slika 5:

Različno pripravljene vzorčne površine zlitine Nimonic 80 A. Pov. 200x, posneto z odbitimi elektroni (topografija) (1 — papir 240, 2 — papir 320, 3 — papir 400, 4 — papir 600, 5 — papir 1000, 6 — 4 — 7 μm diamantna pasta, 7 — 3 — 6 μm groba glinica, 8 — 1 — 3 μm fina glinica, 9 — 5 minut jedkano v Fry-jevem jedkalu).

Fig. 5

Surfaces of samples prepared in various ways. Alloy Nimonic 80 A. Magn. 200x, recorded with reflected electrons (topography) (1 — paper 240, 2 — paper 320, 3 — paper 400, 4 — paper 600, 5 — paper 1000, 6 — 4...7 μm diamond paste, 7 — 3...6 μm coarse alumina, 8 — 1...3 μm fine alumina, 9 — 5 minutes etched in Fry reagent)



Slika 6:

Vpliv različne priprave vzorčne površine na Σ RN (Al+Ti+Cr+Fe+Ni).

Fig. 6

Influence of various surface preparation of samples on the Σ RN (Al+Ti+Cr+Fe+Ni)

gradacije 240 (~50μm), 320 (~35μm), 400 (~26μm), 600 (~17μm), 1000 (~10μm), polirali z diamantno pasto (4—7 μm), grobo glinico (3—6 μm), fino glinico (1—3 μm) in močno jedkali (5 minut). Na vsakem vzorcu smo opravili 10 analiz na naključno izbranih mestih. **Slika 5** prikazuje topografijo preiskovanih vzorčnih površin, posneto z odbitimi elektroni (topografski način).

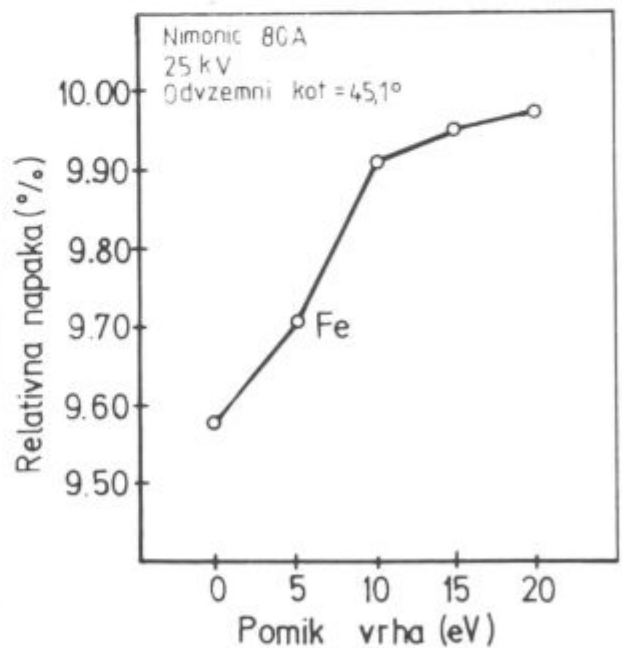
Slika 6 prikazuje rezultate meritev; iz tega se vidi, da se najboljše rezultati glede točnosti kvantitativne EDS mikroanalize dobijo pri minimalnem površinskem reliefu vzorca in z uporabo sredstva za poliranje s čim finejšo gradacijo zrn.

NAPAKA ZARADI GEOMETRIJE

Netočna meritev nagibnih kotov in odvzemnih kotov povzroča napako v EDS mikroanalizi. Za ugotovitev velikostnega reda teh napak smo analizirali vzorce na 10 naključno izbranih mestih pri različno nagibnih kotih. **Tabela 3** kaže rezultate analize z 1° napako (razliko) v nagibnem kotu; posamezne relativne napake so bile izračunane glede na kemično sestavo vzorca.

Tabela 3: Napaka zaradi geometrije

Elem.	RN brez napake v nagibnem kotu vzorca (%)	RN z napako v nagibnem kotu vzorca (%)	Razlika
Al	45,51	41,71	0,20
Ti	1,75	1,79	0,04
Cr	0,40	0,41	0,10
Fe	6,94	7,02	0,08
Ni	1,03	1,04	0,01



Slika 7:

Vpliv netočne kalibracije EDS na relativno napako določitve vsebnosti Fe v zlitini Nimonic 80 A.

Fig. 7

Influence of the inaccurate calibration of EDS on the relative error in determining the content of Fe in the Nimonic 80 A alloy

NAPAKA ZARADI NETOČNE KALIBRACIJE

Za ugotovitev vpliva netočne kalibracije EDS na točnost kvantitativne EDS mikroanalize smo analizirali Fe v zlitini Nimonic 80 A, tako da smo kalibrirali spektrometer z napako v kalibraciji 5, 10, 15 in 20 eV. Rezultati tega vpliva so prikazani na **sliki 7** in kaže, da napaka v kalibraciji 20 eV poveča absolutno vrednost relativne napake za Fe za 0,38 %.

NAPAKA ZARADI REVNE STATISTIKE

Za ugotovitev tega vpliva smo analizirali vzorce na 10 naključno izbranih mestih. Od vsakega zbranega spektra smo po identifikaciji najprej izračunali čiste rentgenske intenzitete za karakteristične vrhove z ocenjeno standardno deviacijo 2σ nad ozadjem, nato pa z ozadjem, povišanim za 20%. Rezultati meritve so podani v **tabeli 4** in kažejo, da se je točnost analize zmanjšala za faktor 1,2.

Tabela 4: Napake zaradi slabe statistike

Elem.	Normalno ocenjeno ozadje		20 % višje ocenjeno ozadje	
	\bar{C} (ut. %)	RN (%)	\bar{C} (ut. %)	RN (%)
Al	0,98	22,22	0,46	63,49
Ti	2,13	6,58	2,02	11,40
Cr	19,15	1,28	18,64	3,92
Fe	1,09	9,92	1,01	16,52
Ni	76,11	0,77	77,25	2,27

NAPAKE V IZRAČUNU RELATIVNIH ČISTIH ELEMENTNIH INTENZITET

Te napake izvirajo iz netočnosti enačb, ki opisujejo izkoristek spektrometra, samo-absorpcijske koeficiente, efektivni tokovni faktor in fluorescenčne pridelke; njihov vpliv je zelo težko prikazati.

NAPAKE V ZAF MODELU

Izvirajo iz netočnosti uporabljenih enačb in uporabljenih fizikalnih podatkov. Njihov vpliv na točnost kvantitativne EDS mikroanalize bi bilo potrebno podrobneje obravnavati.

5. SKLEPI

Analiza napak v kvantitativni EDS mikroanalizi vzorcev v REM je pokazala, da le-te izvirajo iz nestabilnosti sistema, zaradi netočne nastavitve pospeševalne napetosti, kontaminacije v elektronsko optičnem stebru REM, zaradi vzbujanja notranjih delov vzorčne komore REM, priprave vzorcev, zaradi geometrije, zaradi netočne kalibracije EDS, zaradi revne statistike, iz napak v obdelavi spektra, iz napak v izračunu relativnih čistih elementnih intenzitet in samem ZAF modelu. Pri analizi z uporabo standardov pa se še uvedejo napake zaradi priprave vzorcev, homogenosti in kemične čistosti uporabljenih standardov.

ZAHVALA

Avtor se zahvaljuje prof. dr. Veliboru Marinkoviču iz Inštituta Jožef Stefan za koristne predloge in diskusijo.

Literatura

1. A. O. Sandborg: EDAX EDITor, 12 (1982), 2, 4—5.
2. The FRAME ZAF Program: EDAX EDITor, 5 (1975), 2, 1—2.
3. I. C. Russ: EDAX EDITor, 9 (1979), 2, 22—24.
4. F. J. Wicks, A. G. Plant: X-Ray Spectrometry, 12 (1983), 2, 59—66.
5. A. C. Dunham, F. C. F. Wilkinson: X-Ray Spectrometry, 9 (1980), 1, 8—12.
6. T. O. Ziebold: Analytical Chemistry, 39 (1967), 8, 858—861.
7. A. Hendricks: EDAX EDITor, 5 (1975), 3, 33—39.
8. Beam Current Factor: EDAX EDITor, 12 (1982), 3, 7—9.
9. H. Kaker, Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, VTOZD Montanistika, Ljubljana 1986, 40—64.
10. H. Kaker, Zbornik radova, 5. jugoslovanski simpozij iz elektronske mikroskopije, Plitvice 27.—30. 5. 1986, 61—62.

ZUSAMMENFASSUNG

Methode der energiedispersiven Analyse der Proben ohne Anwendung der Standardproben ist heutzutage schon eine gut durchgesetzte mikroanalytische Methode. Es wird aber oft die Frage gestellt, wie ist die praktische Genauigkeit der nichtstandardisierten Methode, der Mikroanalyse und wie die einzelnen Fehler die Genauigkeit der erhaltenen quantitativen Ergebnisse beeinflussen. Im Artikel werden die Einflüsse der einzelnen Fehler auf die Genauigkeit der quantitativen nichtstandardisierten Methode der Mikroanalyse im Rasterelektronenmikro-

skop gegeben. Fehler, welche die Genauigkeit der EDS Mikroanalyse beeinflussen sind folgende: nichtstabiler System, nichtgenaue Anstellung der Beschleunigungsspannung, die Kontaminierung in der elektronenoptischen Säule REM, die Probenvorbereitung, die Geometrie, nichtgenaue Kalibrierung von EDS, armselige Zahlenstatistik, Fehler in der Spekterbearbeitung, Fehler in der Berechnung der relativen reinen Intensitäten der Elemente und Fehler allein im ZAF Modell.

SUMMARY

The method of energy dispersion analysis of samples without applying standards is today a well established microanalytical method. Often the question appears what an accuracy can be achieved with this method and how single errors influence the accuracy of the obtained quantitative results. The paper presents the influences of single errors on the accuracy of the quantitative non-standard method of microanalysis in the scanning electron microscope. The errors influencing the accuracy

of the EDS microanalysis are the following: instability of the system, inaccurate setting of the accelerating voltage, contamination in the electron optical column of SEM, preparation of samples, geometry, inaccurate calibration of EDS, poor registration statistics, errors in treating the spectrum, errors in calculating relative pure intensities of elements, and errors in the ZAF model itself.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод энергетического дисперсионного анализа образцов без употребления стандартов представляет в настоящее время метод микроанализа. Мы часто спрашиваем о практической точности нестандартизированного метода микроанализа и каким образом отдельные погрешности влияют на точность количественного нестандартизированного метода микроанализа в растровом электронном микроскопе. Погрешности, которые влияют на точность ЭДС микроанализа

следующие: нестабильность системы, неточная настройка ускоряющего напряжения, загрязнение в электронно-оптическом столбце РЭМ, приготовление образцов, форма образцов, неточная калибровка ЭДС, недостаточно усовершенствованная статистика, погрешности при обработке спектра, погрешности при вычислении относительных элементарных интенсивностей и, наконец, также в самой ЗАФ модели.

Indukcijsko segrevanje cilindričnih teles

Janez Bratina*

UDK: 621.365.5
ASM/SLA: J2g, P11

Resúme: Podane so fizikalne osnove indukcijskega segrevanja cilindričnih teles iz feromagnetnih snovi. Izvedene so relacije, ki povezujejo geometrijske in snovne parametre indukcijskega sklopa induktor-ogrevalnik z elektrotehničnimi parametri, potrebnimi za dimenzioniranje elektroenergetskih naprav. Raziskava je bila osredotočena predvsem na nizkofrekvenčno segrevanje površine velikih cilindričnih teles (0,4 m do 0,9 m), eksperimentalna naprava pa je bila zgrajena za frekvenco 50 Hz. Na cilindrih premerov 0,4 m, 0,5 m, 0,6 m so bile izvršene elektrotehnične in toplotnotehnične meritve, kakor tudi meritve doseženih trdot po globini cilindričnega telesa, ki je bilo po segrevanju na potrebno temperaturo zakaljeno.

Indukcijsko segrevanje kovin je v industrijski rabi dobrih 50 let; v tem času se je razvilo v področja za indukcijsko taljenje, indukcijsko pregrevanje in indukcijsko segrevanje kovinskih teles. V uporabi so frekvence od 50 Hz do nekaj MHz ter moči teh naprav do nekaj 10 MW. Kakor je indukcijski način segrevanja za gradnjo naprav tehnično zahtevna tehnologija, tako daje v obratovanju izredne efekte v produktivnosti, kvaliteti, v čistem delovnem okolju, glede varnosti dela, v enostavnem posluževanju itd. Segrevanje površine cilindričnih teles iz feromagnetnih materialov velikih premerov je redka aplikacija, veliki premeri ogrevalca (nad 0,4 m) zahtevajo glede na potrebno globino segrevanja cilindra nizke frekvence. V članku so obdelane teoretske zakonitosti indukcijskega segrevanja; prikazani so osnovni toplotnotehnični in elektrotehnični parametri za frekvence od 50 Hz do 1000 Hz; posebej pa so poudarjeni rezultati indukcijskega segrevanja z mrežno frekvenco na eksperimentalni napravi, kjer je bila na cilindru 0,6 m dosežena moč segrevanja 600 kW in temperatura 1000°C.

Indukcijsko segrevanje temelji na zakonitostih sproščanja Joulove toplote, ki nastane, ko teče električni tok preko upornosti. Po obodu cilindričnih teles povzroči tok inducirana napetost na podoben način, kot povzroči pri transformatorju inducirana napetost tok v kratkostičnem ovojju sekundarja. Kljub analogiji z enostavno fizikalno sliko transformatorja pa so razmere pri indukcijskem segrevanju bistveno bolj komplicirane. Če se omejimo na cilindrična telesa po sl. 1, lahko ugotovimo:

- da imamo v ovojju tuljave tok J_1 , ki povzroči inducirano magnetno poljsko jakost $H = J_1 / r$ (A/m);
- magnetna poljska jakost tvori v prikazanem sistemu troje samostojnih magnetnih pretokov:
 - stresano polje tuljave \emptyset_1 ,
 - stresano polje zračne reže \emptyset_2 ,
 - magnetno polje, ki seže v delovno telo \emptyset_3 .

Šele magnetno polje v delovnem telesu je odločilno za indukcijo napetosti in za tok J_2 (A), ki naj telo segreva.

Zaradi prikazanih geometrijskih dispozicij in snovi telesa, v katerih teče električni tok (tuljava je bakrena, cilindrično telo je železno), je obračun električnih in energijskih parametrov kompliciran, saj niso niti gostote nastopajočih tokov enakomerne po preseku, niti ni fazni zamik med magnetno poljsko jakostjo in indukcijskim tokom konstanten.

Zaradi kožnega efekta teče več kot 63 % toka v globini vdiranja, ki je definirana:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu_0 \mu_r \omega}} \text{ [m]},$$

pri čemer je:

- ρ (Ωm) — specifična upornost snovi
- μ_0 (VS/Am) — absolutna permeabilnost snovi ($4\pi \cdot 10^{-7}$)
- μ_r — relativna permeabilnost snovi
- ω (S^{-1}) — krožna frekvenca ($\omega = 2\pi f$).

Porazdelitev magnetnega polja znotraj cilindričnega telesa je prikazana z diferencialno enačbo v cilindričnih koordinatah:

$$\frac{d^2H}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dH}{dr} - k^2H = 0,$$

kjer je:

$$k^2 = \frac{j\mu\omega}{\rho} = 2j\alpha^2$$

Rešitev diferencialne enačbe je dana v obliki:

$$H = A_1 I_0(kr) + A_2 K_0(kr),$$

kjer so I_0 in K_0 Besselove funkcije kompleksne oblike. Končna enačba polja v cilindričnem telesu je:

$$H_r = H_0 \frac{\text{ber}' \sqrt{2}\alpha r + j \text{bei}' \sqrt{2}\alpha r}{\text{ber}' \sqrt{2}\alpha R + j \text{bei}' \sqrt{2}\alpha R}$$

$$\text{Ker je } J = -\frac{dH}{dr},$$

dobimo za porazdelitev toka v cilindričnem telesu izraz:

$$J_r = J_0 \frac{\text{ber}' \sqrt{2}\alpha r + j \text{bei}' \sqrt{2}\alpha r}{\text{ber}' \sqrt{2}\alpha R + j \text{bei}' \sqrt{2}\alpha R}$$

Besselove funkcije ber in bei se najlažje dobijo s pomočjo izračunavanja vrednosti vrst, saj so vrste močno konvergentne. Za prej uporabljene izraze so:

* Janez Bratina, dipl. inž. el. teh., Železarna Ravne

$$\text{ber}(x) = 1 - \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^4}{4} + \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^8}{576} - \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^{12}}{518400} + \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^{16}}{1,626 \cdot 10^9}$$

$$\text{bei}(x) = \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^2}{1} - \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^6}{36} + \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^{10}}{14400} - \frac{\left(\frac{x}{2}\right)^{14}}{25,402 \cdot 10^6}$$

Z večanjem premera R prehajajo Besselove funkcije v trigonometrične oziroma hiperbolične funkcije. Tako dobimo za primer ravninskega telesa razdelitev magnetnega polja:

$$H_y = H_0 e^{-\frac{y}{\delta}} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{y}{\delta}\right)$$

in toka

$$J_y = J_0 e^{-\frac{y}{\delta}} \cdot \cos\left(\omega t - \frac{y}{\delta}\right)$$

Ker je Joulova toplota sorazmerna kvadratu toka in upornosti, dobimo porazdelitev sproščene moči v notranjosti ploskve kot:

$$P_y = P_0 \left(1 - e^{-2\frac{y}{\delta}}\right),$$

kar pomeni, da dobimo v globini vdiranja δ sprostitvev 86,5% v telo dovedene moči.

Za cilindrično telo velja, da je v njem sproščena toplotna moč:

$$P = \mu \pi f H_{\text{om}}^2 (l_d S_d) p \text{ [W]},$$

pri čemer je:

H_0 (A/m) — temenska vrednost magnetne poljske jakosti na površini ogrevanca,

p — korekcijski faktor delovne komponente,

q — korekcijski faktor jalove komponente.

Oba navedena faktorja določata posebne razmere, v katerih se nahaja magnetno polje znotraj cilindra. V idealnih razmerah velikih teles sta oba faktorja enaka, kar pomeni fazni kot med napetostjo in tokom 45° oziroma $\cos \phi = 0,707$ v telesu, ki ga ogrevamo. V realnih razmerah cilindra pa je q vedno večji od p , zato imamo v cilindru fazni faktor vedno manjši od 0,707. Če upoštevamo še stresana magnetna polja, lahko zaključimo, da poteka induksijsko segrevanje valjastih teles pri zelo slabih faznih pogojih. Ta izvajanja nam tudi povedo, da je poleg frekvence magnetna poljska jakost na površini telesa glavni parameter za določitev moči segrevanja. Če v približku velja, da je tudi za cilindrična telesa:

$$H = \frac{JN}{l},$$

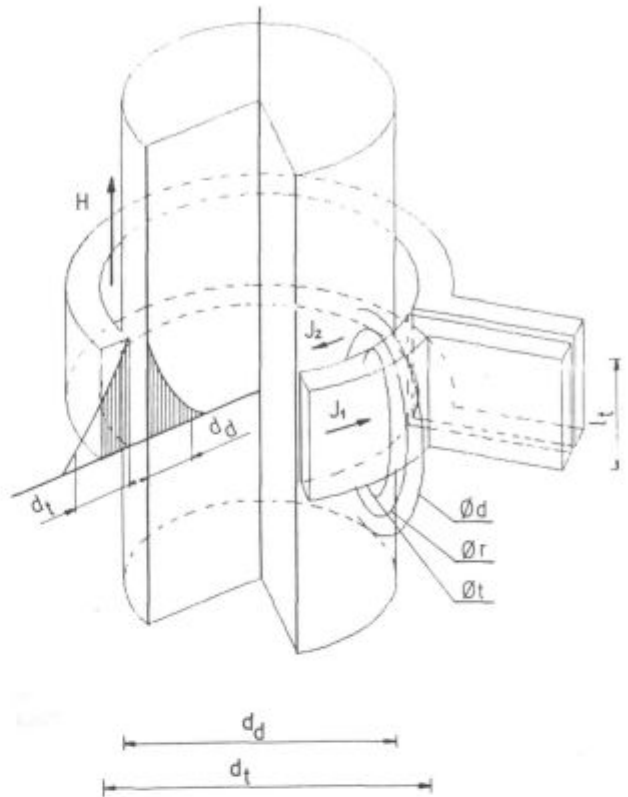
imamo v rokah že vse veličine za določitev moči segrevanja. Faktorja p in q sta definirana s pomočjo Besselovih funkcij, kot sledi:

$$p = \frac{2}{x} \cdot \frac{\text{ber}(x) \text{ber}'(x) + \text{bei}(x) \text{bei}'(x)}{\text{ber}^2(x) + \text{bei}^2(x)}$$

$$q = \frac{2}{x} \cdot \frac{\text{ber}(x) \text{bei}'(x) - \text{bei}(x) \text{ber}'(x)}{\text{ber}^2(x) + \text{bei}^2(x)}$$

pri čemer je:

$$x = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{d}{\delta}$$



Slika 1:

Sklop za induksijsko segrevanje

Fig. 1:

Assembly for induction heating

Običajna pot elektrotehničnega izračuna ogrevanja vodi preko določitve nadomestnih upornosti magnetnih in tokovnih poti po sl. 1. Vse upornosti so določene za en ovoj tuljave: upornosti sicer rastejo s kvadratom števila ovojev tuljave.

Omska upornost ogrevanca:

$$R_d = \mu_0 \mu_r \pi^2 f \frac{d_d^2}{2l_d} p \text{ [\Omega]}$$

Omska upornost tuljave:

$$R_t = \mu_0 \pi^2 f \frac{d_t}{l_t} \delta_1 k_1 \text{ [\Omega]}$$

Induktivna upornost ogrevanca:

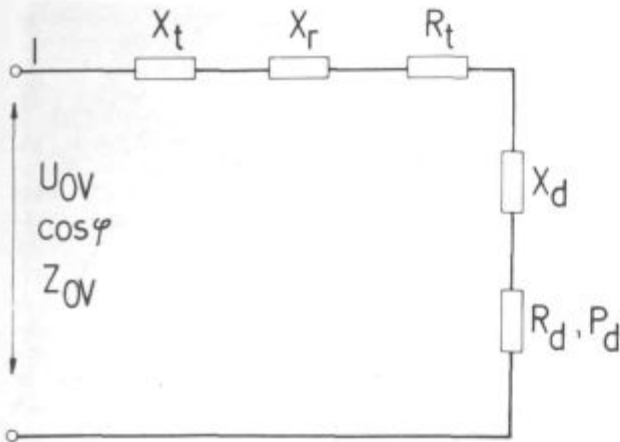
$$X_d = \mu_0 \mu_r \pi^2 f \frac{d_d^2}{2l_d} q \text{ [\Omega]}$$

Induktivna upornost zračne reže:

$$X_r = \mu_0 \pi^2 f \frac{d_t^2 - d_d^2}{2l_d} \text{ [\Omega]}$$

Induktivna upornost tuljave:

$$X_t = \mu_0 \pi^2 f \frac{d_t}{l_t} \delta_1 k_2 \text{ [\Omega]}$$



Slika 2:

Nadomestna shema upornosti indukcijskega ogrevanja

Fig. 2:

Substituting scheme of the induction heating

Pri čemer so:

- μ_0 (VS/Am) — absolutna magnetna permeabilnost,
- μ_r — relativna magnetna permeabilnost,
- f (s^{-1}) — frekvenca,
- d_d (m) — premer ogrevanca,
- d_t (m) — premer tuljave,
- l_t (m) — dolžina tuljave,
- p, q — parametri magnetnega polja,
- k_1 — korekcijski faktor tuljave,
- k_2 — korekcijski faktor tuljave,
- δ_t (m) — globina vdiranja toka v tuljavi.

Shema nadomestnih upornosti je prikazana na sl. 2.

Ugotovimo lahko, da je:

izkoristek ogrevanja:

$$\eta = \frac{R_d}{R_d + I} + \frac{\mu_r p}{\mu_r p + 2 \frac{d_t}{d_d} \cdot \frac{\delta_t}{\delta_d} k_1}$$

fazni faktor ogrevanja:

$$\cos \varphi = \frac{R_d + R_t}{Z}$$

impedanca ogrevalnega sklopa:

$$Z = \sqrt{(R_d + R_t)^2 + (X_d + X_t + X_y)^2}$$

$$Z = \frac{\mu_0 \pi^2 f d_d^2}{2l_d} \cdot g$$

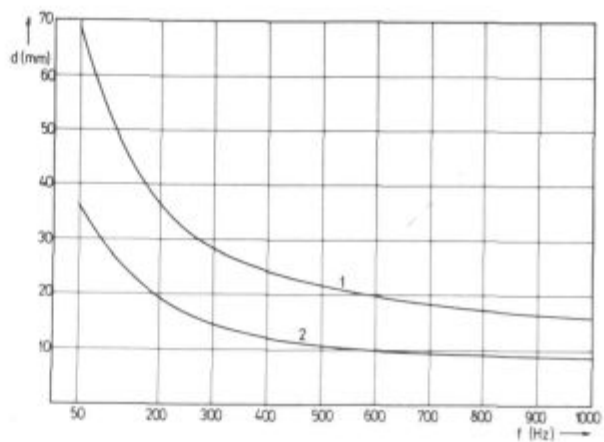
$$g = \sqrt{\left(\mu_r p + 2 \frac{d_t}{d_d} \cdot \frac{\delta_t}{\delta_d} k_1\right)^2 + \left(\mu_r q - 1 + \frac{d_t^2}{d_d^2} + \frac{d_t}{d_d} \cdot \frac{\delta_t}{\delta_d} k_2\right)^2}$$

Na podlagi zahtevane moči v ogrevancu P_p je potrebna navidezna moč:

$$P_m = \frac{P_p}{\eta \cdot \cos \varphi} \text{ [VA]}$$

Potrebna napetost ovoja:

$$U_{ov} = \sqrt{P_m Z} \text{ [V/ov]}$$



Slika 3:

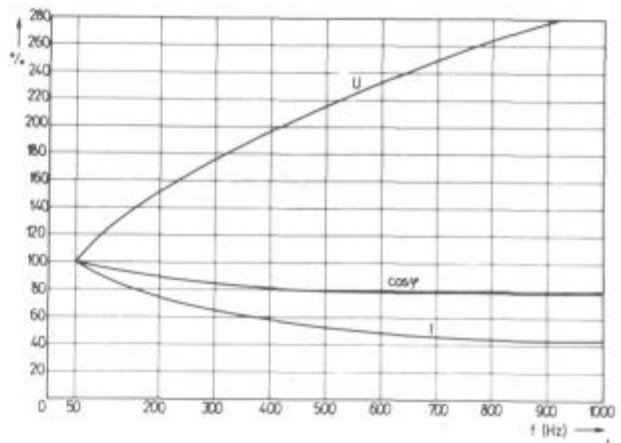
Vpliv frekvence na globino vdiranja toka

1: $\rho = 100 \cdot 10^{-8} \Omega m$ $\mu_r = 1$

2: $\rho = 50 \cdot 10^{-8} \Omega m$ $\mu_r = 2$

Fig. 3:

Penetration depth



Slika 4:

Vpliv frekvence indukcijskega ogrevanja na $U, I, \cos \varphi$ pri $P_p = \text{konst.}$ $d_d = 0,5 \text{ m.}$

Fig. 4:

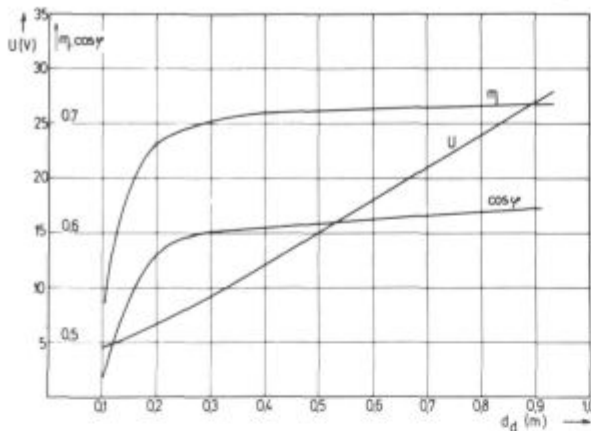
Influence of the frequency of induction heating on $U, I, \cos \varphi$ at $P_p = \text{const.}$ $d_d = 0,5 \text{ m}$

Pripadajoči amperski ovoji:

$$J = \sqrt{\frac{P_p}{Z}} \text{ [A \cdot ov]}$$

Na podlagi zgornjih izvajanj so bili opravljeni računalniški programi izračunov elektrotehničnih parametrov, ki naj bi omogočili kvantifikacijo različnih vplivnih faktorjev in iskanje optimalnih rešitev. Najbolj je seveda izražen vpliv uporabljene frekvence indukcijskega segrevanja: na sl. 3 je prikazan njen vpliv na globino prodiranja toka v cilindrično telo.

Na sl. 4 je prikazan vpliv frekvence ogrevanja na elektrotehnične parametre pri konstantnih dimenzijah ogrevanca in induktorja. Vidimo, da pri konstantni specifični moči napetost na induktorju raste s frekvenco, fazni faktor pa se pri tem slabša.

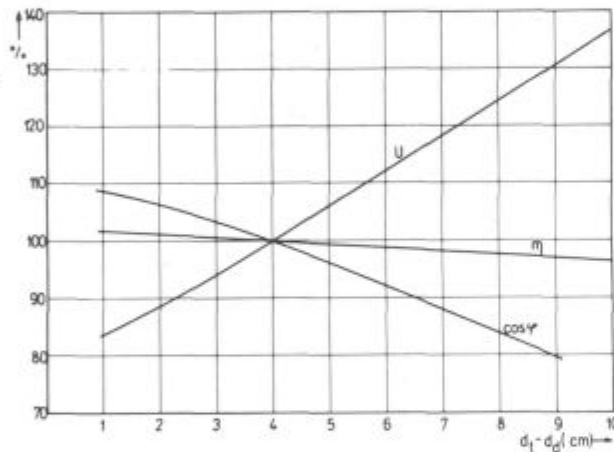


Slika 5:

Vpliv premera ogrevanca na U , η in $\cos \phi$ pri $P_p = \text{konst.}$, $\mu_r = 2$, $\rho = 50 \cdot 10^{-8} \Omega m$

Fig. 5:

Influence of the diameter of the heated body on U , η , $\cos \phi$ at the frequency 50 Hz and at $P_d = \text{const.}$, $\rho = 50 \cdot 10^{-8} \Omega m$, $\mu_r = 2$



Slika 6:

Vpliv zračne reže na U , η , $\cos \phi$ pri 50 Hz in $P_p = \text{konst.}$, $d_d = 0,5 m$, $\rho = 50 \cdot 10^{-8} \Omega m$, $\mu_r = 2$

Fig. 6:

Influence of air gap on U , η , $\cos \phi$ at $f = 50 \text{ Hz}$ and $P_d = \text{const.}$, $d = 0,5 m$, $\rho = 50 \cdot 10^{-8} \Omega m$, $\mu_r = 2$

Na sl. 5 je prikazan vpliv takega ogrevanja na elektrotehnične parametre za različne premere cilindričnega telesa pri konstantni dolžini induktorja in frekvenci 50 Hz. Vidimo, da potrebna napetost na induktorju raste skoraj premosorazmerno s premerom ogrevanca. Potek funkcij za izkoristek ogrevanja in za fazni faktor ogrevalnega sklopa kažeta, da postaja segrevanje cilindričnih teles s frekvenco 50 Hz pri premeru 0,25 m kritično, kar se tudi ujema s pravilom, da mora biti premer ogrevanca vsaj trikrat tolikšen, kot je globina vdiranja, če želimo doseči zadovoljive toplotne efekte.

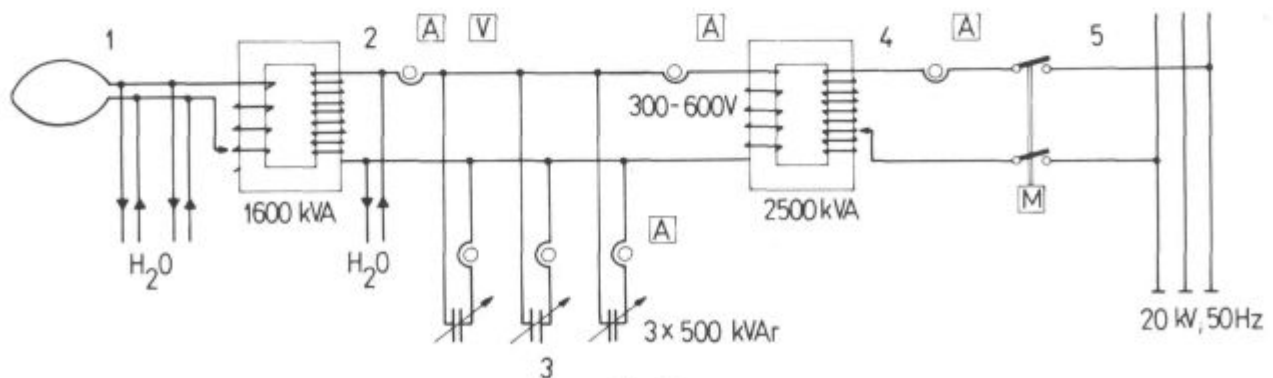
Kako odločilni vpliv na določitev elektrotehniških parametrov ima geometrijsko oblikovanje sklopa tuljavnega ogrevanec, kaže sl. 6, kjer so prikazani ti parametri v odvisnosti od velikosti zračne reže: napetost na tuljavi je sorazmerna z velikostjo reže, fazni faktor pa je po pričakovanju obratno sorazmeren z njeno vrednostjo.

Ob tako širše zastavljenem pristopu raziskave naprave za indukcijsko segrevanje cilindričnih teles in glede na možnosti izdelave naprave, se je iskanje rešitev omejilo le na ogrevanje s frekvenco 50 Hz, zaradi potreb pa predvsem za premere teles nad 0,4 m.

Ker naj bi se cilindrična telesa predvidoma segrevala na temperaturo cca 1000°C, je bilo potrebno predpostaviti izhodiščne fizikalne parametre snovi za:

- temperatura izpod Curie-jeve točke: $\rho = 50 \times 10^{-8} \Omega m$, $\mu = 2$
- temperatura iznad Curie-jeve točke: $\rho = 100 \times 10^{-8} \Omega m$, $\mu = 1$

Nizke vrednosti relativne magnetne permeabilnosti so bile izbrane zaradi predvidene velike magnetne poljske jakosti (nad 300 kA/m), kar pomeni, da se bo sicer feromagnetni material ogrevanca nahajal v področju magnetnega nasičenja. Predvidena magnetna poljska jakost že narekuje površinsko obremenitev dela ogrevanca, ki se nahaja pod tuljavo. Ta je v našem primeru mnogo nižja, kot je to običaj pri takem načinu ogrevanja, ker je bilo treba upoštevati dokaj veliko globino segrevanja in možnost nastajanja prevelikih napetosti ob prehitrem segrevanju. Kot delovna teza je bila izbrana specifična moč segrevanja 1,5 MW/m². Ob predpostavljenih fizikalnih lastnostih snovi bi bila globina vdiranja toka v hladnem 35,6 mm, v vročem stanju pa 71,1 mm. Izračunani toplotni izkoristek ogrevanja bi se pri tem gibal med 0,68—0,72, fazni faktor pa med 0,55—0,62. Če predvidimo še delovno dolžino tuljave 100 mm, bi bila potrebna navidezna moč glede na premer ogrevanja:

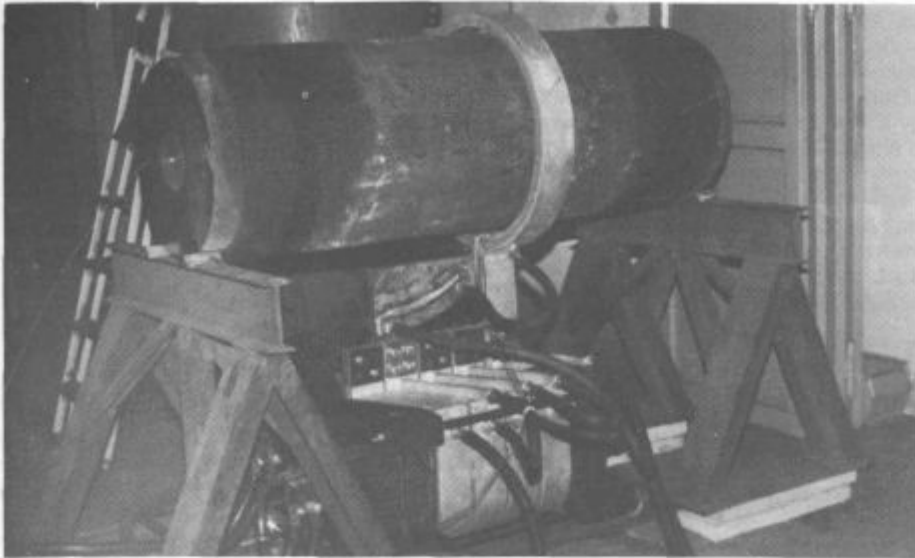


Slika 7:

Elektroenergetske naprave indukcijskega segrevanja

Fig. 7:

Electroenergetic equipment for induction heating



Slika 8:
Eksperimentalni sklop
Fig. 8:
Experimental assembly

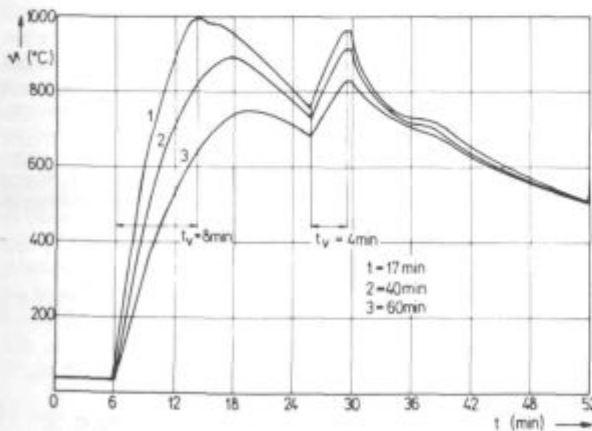
$$P_m = \frac{P_p}{\eta \cos \varphi} = \frac{1,5 \cdot \pi \cdot d_a \cdot 0,1}{0,7 \cdot 0,6} = 1,12 d_a \text{ [MVA]}$$

Za cilindrična telesa, premera 0,4 m do 0,9 m, bi potrebovali navidezno moč med 500 kVA in 1000 kVA.

Označbe na **sliki 7** pomenijo:

- 1: indukcijska tuljava
- 2: koncentrador moči 1600 kVA
- 3: kompenzacijska naprava 3 × 500 kVAR
- 4: energetski transformator 20/0,3—0,6 kV
- 5: visokonapetostno manipulacijsko stikalo.

Vse naprave so seveda enofazne, posebnost je vsekako koncentrador, katerega primarno in sekundarno navitje sta vodno hlajena, prav tako vodno hlajen pa je tudi induktor ter dovodno kabli na induktor. Eksperimentalni sklop je prikazan na **sl. 8**. Služil je za preverjanje izračunanih elektrotehniških parametrov ter ugotavljanja hitrosti in globine segrevanja.

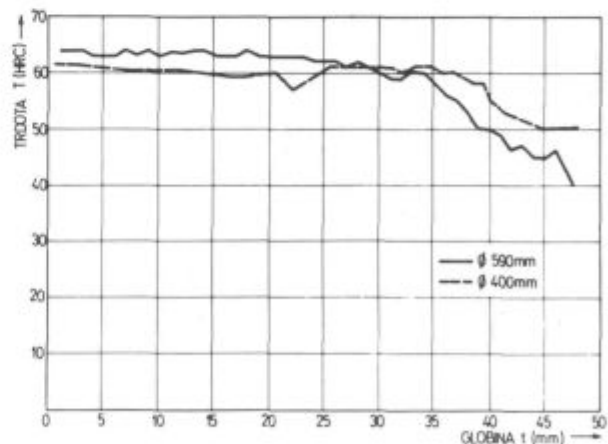


Slika 9:
Temperaturni profil pri indukcijskem segrevanju s 50 Hz (t_v — čas segrevanja)

Fig. 9:
Temperature profile in induction heating with 50 Hz (t_v — heating time)

V cilinder so bile s čelne strani izvrtane luknje, in sicer v različni oddaljenosti od površine; vanje so bili nameščeni termoelementi. Potek temperaturnih karakteristik kaže **sl. 9**. Ob obravnavanju temperaturnih razmer znotraj ogrevanca je potrebno predvsem ugotoviti, da znane analitične metode računanja temperaturnega polja pri indukcijskem segrevanju feromagnetnih snovi zahtevajo take poenostavitve, da je vprašljiva njihova zanesljivost. Bistveno vlogo pri določanju temperature porazdelitve znotraj ogrevanca imata od temperature odvisna električna upornost ter skokovita sprememba magnetnih lastnosti materiala ob prestopu Curie-jeve temperaturne točke, kakor tudi ostale spremenljive snovne karakteristike, kot sta toplotna prevodnost in sevalne lastnosti. **Sl. 9** zato le ilustrira možnosti, kako s predlagano napravo za indukcijsko segrevanjem doseči potrebne temperaturne razmere znotraj ogrevanca.

Ker se tako velikih teles ne da brez škodljivih posledic segreti s skaniranjem, t. j. z enkratnim prehodom predmeta skozi induktor, ampak je potrebno predhodno



Slika 10:
Trdotni profil po globini kaljenega cilindra

Fig. 10:
Hardness profile across the cross section of the quenched cylinder

izvršiti indukcijsko predgrevanje, so bile nadaljne raziskave ogrevanja opravljene na indukcijskem stroju, ki poleg rotacije omogoča translacijo cilindričnih teles, kakor tudi kaljenje z vodno prho. Opravljena so bila ogrevanja cilindričnih teles, premerov 0,4 m do 0,6 m z različnimi predgrevanji, z variranjem hitrosti premikanja telesa skozi induktor in s spreminjanjem ogrevalne površinske moči. Iskali smo optimalne toplotnotehniške razmere, tako za segrevanje kot za ohlajanje z namenom da se po kaljenju ohrani potrebna martenzitna struktura jekla v zahtevani globini in porazdelitvi po preseku ogrevanca. Karakterističen rezultat tako zaključene raziskave kaže sl. 10.

Opravljene raziskave na področju indukcijskega segrevanja nizkih frekvenc kažejo, da je mogoče take naprave graditi z domačimi materiali in da so lahko uspešna za kontrolirano vodeno segrevanje cilindričnih teles na visoke temperature ob dobrih energetskih izkoristkih.

Literatura

1. Karel Schretzmann: Induktive Wärmezeugung und Wärmeleitung in kreiszylindrischen Stäben und Rohren, Elektrowärme, 1966, 12
2. John Davies, Peter Simpson: Induction Heating Handbook, Mc Graw Hill, 1979

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden physikalische Grundlagen für die induktive Erwärmung zylindrischer Körper aus ferromagnetischen Stoffen angegeben. Beziehungen, welche die geometrischen und Stoffparameter einer induktiven Zusammenfügung, Induktor-zu erwärmende Körper mit den elektrotechnischen Parametern verbinden, und die für die Dimensionierung elektrotechnischer Anlagen nötig sind werden ausgeführt. Die Untersuchung war vor

allem auf die Niedertfrequenzerwärmung der Oberfläche grosser zylindrischer Körper (0,4 m bis 0,9 m im Durchmesser), konzentriert. Die Versuchsanlage ist für die Frequenz von 50 Hz gebaut worden. An Zylindern, der Durchmesser 0,4 m, 0,5 m und 0,6 m sind elektrotechnische und wärmetechnische Messungen durchgeführt worden, so wie auch der Härteverlauf im Querschnitt des zylindrischen Körpers, nach der Induktionshärtung.

SUMMARY

Physical fundamentals of induction heating of ferromagnetic cylindrical bodies are presented. Relations between geometrical and physical parameters of induction pairs inductor/heat-ed body, and the electrotechnical parameters needed in dimensioning electroenergetic set-ups were deduced. The emphasis in the investigation was given mainly to the low-frequency heating of the surface of big cylindrical bodies (0.4 to 0.9 m). The

experimental set-up was constructed for the frequency 50 Hz. On the cylinders with diameters 0.4, 0.5, and 0.6 m were performed electrotechnical and thermal measurements, as well as the measurements of hardnesses across the cross section of the cylindrical body which was quenched after heating to the desired temperature.

СОДЕРЖАНИЕ

Рассмотрены физические основы индукционного нагрева цилиндрических тел из ферромагнитного вещества. Выполнены соотношения, которые связывают геометрические вещественные параметры индукционного узла индуктор — нагревательное тело с электротехническими параметрами, необходимые для определения размер электроэнергетических устройств.

Исследование было сосредоточено главным образом на

низкочастотный нагрев поверхностей больших цилиндрических тел (0,4 м до 0,9 м), экспериментальное же устройство было настроено на частоту 50 гц. На цилиндрах с диаметром 0,4 м, 0,5 м и 0,6 м были выполнены электротехнические и термотехнические измерения, а также измерения полученных твердостей в глубину цилиндрического тела, которое после нагрева было закалено при необходимой температуре.

Tehnične novice

Superferitna nerjavna jekla

Nijaz Smajić,*

1. UVOD

Medtem ko proizvodnja jekla v razvitih državah že vrsto let nazaduje (1), ker razvite države zmanjšujejo proizvodnjo masovnih jekel, ki se prenaša v svet nerazvitih, proizvodnja nerjavnih jekel izredno hitro narašča (2, 3, 4). Od 1962 do 1974 je povprečna letna rast proizvodnje nerjavnih jekel znašala 9%. Danes proizvodnja jekla v najbolj razvitih državah pada povprečno za 1,5–2% letno, medtem ko proizvodnja nerjavnih jekel narašča za 3–5% letno. V tem prestrukturiranju na področju črne metalurgije so najbolj uspešni Japonci. Tako so leta 1950 na Japonskem proizvedli le 4000 ton nerjavnih jekel, (3) medtem ko danes proizvajajo 2.600.000 ton na leto. ZDA, ki so leta 1959 proizvajale več kot 75%, danes proizvajajo manj kot 30% celotne proizvodnje (brez ZSSR in Vzhodne Evrope) nerjavnega jekla (3). Japonska ima vodilno vlogo v svetovni proizvodnji nerjavnih jekel od leta 1970, ko so ZDA bile potisnjene na drugo mesto. Nagel razvoj jeklarske tehnologije v zadnjih dvajsetih letih je omogočil izdelavo superferitnih tj. izredno čistih nerjavnih feritnih, imenovanih ELI (Extra Low Interstitials) jekel, ki so bistveno cenejša kot avstenitna jekla in vendar jih lahko uspešno nadomeščajo, saj imajo celo boljše uporabne lastnosti na številnih področjih uporabe. Superferitna nerjavna jekla z omejeno skupno vsebnostjo ogljika in dušika izdeluje le nekaj proizvajalcev v najbolj razvitih državah. Zahteve po teh jeklih v najbolj propulzivnih vejah industrije (procesna oprema v kemični, petro-kemični in živilski industriji, v elektroniki, nuklearni in termotehniki oz. energetiki, avtomobilski industriji, solarni tehnologiji, itn.) naglo naraščajo. Splošni dvig življenjskega standarda in pad cen nerjavnega jekla zaradi znižanja proizvodnih stroškov, do katerega je prišlo z uveljavitvijo novih tehnologij (AOD, VOD), sta močno razširila področje uporabnosti nerjavnih jekel. Nerjavno jeklo je vstopilo v naša stanovanja in avtomobile (kuhinjska oprema, kopalnice, gospodinjski aparati, solarni kolektorji, avtomobilski okrasni deli, izpušni sistemi, odbijači, itn.). Tako je letna poraba nerjavnega jekla na prebivalca začela močno naraščati in je leta 1974 dosegla 27,94 kg na Švedskem in 9,47 kg v ZDA (2). Danes presega letna poraba nerjavnega jekla 10 kg na prebivalca v celi vrsti razvitih držav, medtem ko v Jugoslaviji znaša le 2 kg. Ekspanzija svetovnega tržišča nerjavnega jekla je stalna in očitno dolgoročnega značaja ter pojasnjuje stalno rast proizvodnje nerjavnih jekel.

2. RAZVOJ NERJAVNIH JEKEL

2.1 Nove jeklarske tehnologije

Vse bistvene inovacije v jeklarski tehnologiji so bile praviloma najprej uporabljene pri izdelavi nerjavnih jekel.

* Nijaz Smajić, dr. mag., dipl. inž. met., Metalurški inštitut Ljubljana

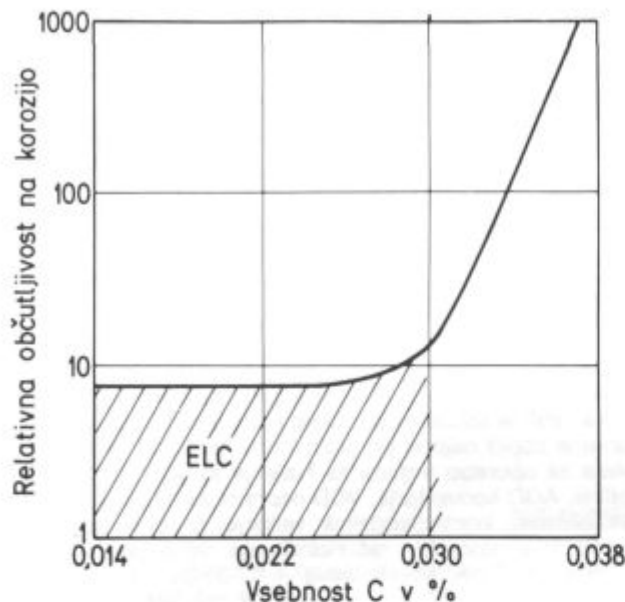
Tako je npr. prva elektroobložna peč (1911. leta) imela v svojem proizvodnem programu predvsem nerjavna jekla. Leta 1952 je plinasti kisik začel nadomeščati rudo za žilavenje zopet najprej pri proizvodnji nerjavnih jekel. Isto velja za uporabo argona za hlajenje in homogenizacijo taline, AOD konverterje, VOD naprave za oksidacijo pod vakuumom, konti Sendzimir valjanje, Steckel valjarne, konti litje, uporabo računalniškega vodenja procesa (Computer Aided Steelmaking — CAS) itn. Samo za primer hitre aplikacije najnovejših tehnoloških dosežkov F. Tsukamoto (2) navaja, da se danes praktično 100% nerjavnega jekla, namejenega za pločevino in trakove, vliwa s stroji za konti litje. Tehnološki postopki sekundarne oz. ponovne metalurgije (AOD, VOD, VAD, LF, ipd.) so omogočili izdelavo zelo čistih nerjavnih jekel z minimalno vsebnostjo takoimenovanih intersticijskih elementov, kot so ogljik, dušik in žveplo, kar je privedlo do pojave ELC (Extra Low Carbon) jekel z izredno nizko vsebnostjo ogljika (pod 0,03%) in končno do ELI austenitnih in feritnih jekel s skupno vsebnostjo ogljika in dušika pod 0,0250% ali celo pod 0,0150% (C+N), ki imajo veliko boljšo varilnost, tj. odlično obstojnost na interkristalno korozijo po varilnih šivih in veliko boljšo duktilnost. ELI feritna tj. superferitna jekla pa imajo dodatno poboljšano korozijsko obstojnost in žilavost v primerjavi s klasičnim feritnim nerjavnim jeklom.

2.2 ELC nerjavna jekla

Vse do nedavnega smo lahko vsa nerjavna jekla razdelili v tri skupine, in sicer:

- a) martenzitna jekla s 13% Cr (AISI 400–420)
- b) feritna jekla z 16–18% Cr (AISI 430) in
- c) avstenitna jekla 18/8 in 18/10 (AISI serija 300)

Stalni napor za razširitev uporabnosti in tržišča so privedli do novih vrst nerjavnega jekla. Danes imamo martenzitna jekla, ki vsebujejo 16–18% Cr, seveda ob povečani vsebnosti ogljika, ki se giblje med 0,20 in 1,20% C (AISI 440). Imamo feritna jekla s 23–27% Cr legirana z dušikom (AISI 446) ter avstenitna jekla s povečano vsebnostjo kroma (22%–26%) in niklja (12%–22%). Pojavila so se nerjavna jekla vseh treh vrst z dodatki molibdena. V avstenitnih jeklih del niklja danes nadomešča mangan in dušik (AISI serija 200). Dobili smo nerjavna jekla s precipitacijskim utrjevanjem (PH) in dvofazna (DP) feritno-avstenitna nerjavna jekla. Najbolj so se uveljavila avstenitna jekla tipa 18/8 oz. 18/10, ki so danes nepogrešljiva predvsem v kemični, procesni in nuklearni tehniki zaradi svojih odličnih lastnosti. Odlična korozijska obstojnost, posebno dobra odpornost na oksidacijo, zelo dobra trdnost in žilavost in dobra varilnost so osnovne karakteristike teh jekel. Vendar so ta jekla zelo občutljiva na lokalno korozijo, posebno na intergranularno korozijo po varilnih šivih. Ta problem je bil uspešno rešen z znižanjem vsebnosti ogljika



Slika 1:

Vpliv ogljika na korozijsko občutljivost avstenitnega nerjavnega jekla

Fig. 1:

Influence of carbon on corrosion resistance of austenitic stainless steel

pod 0,03 % C. Tako smo dobili ELC jekla. Na **sliki 1** vidimo področje ELC nerjavnih jekel oz. vpliv vsebnosti ogljika na korozijsko občutljivost avstenitnih nerjavnih jekel. Kot s slike vidimo, na videz nepomembno zvišanje vsebnosti ogljika z 0,030 % na 0,038 % C poveča občutljivost na korozijo teh jekel za dva reda velikosti, tj. za več kot 100 krat!

Do leta 1965 jeklarska tehnologija ni omogočala masovne izdelave nerjavnih jekel s tako nizkim ogljikom. Rešitev tega problema do pojava novih (VOD, CLU, AOD itn.) tehnologij je bila v dodatku t. im. stabilizatorjev, kot so Ti in Nb, s katerimi del raztopljenega ogljika vežemo v ustrezne karbide. Danes je izdelava ELC nerjavnih jekel povsem rutinska zadeva. Tudi pri nas v Slovenskih železarnah jih redno izdelujemo po sodobnem EP-VOD dupleks postopku.

2.3 ELI nerjavna jekla

Da bi izboljšali korozijsko obstojnost feritnih nerjavnih jekel v posebno agresivnih korozijskih okoljih (morska voda, kloridi, itn.), so bila uvedena nerjavna jekla z 21,26 in celo 29 % Cr. Z naraščanjem vsebnosti kroma pa močno pade varilnost, žilavost in duktilnost teh jekel. Že od šestdesetih let je bilo znano, da je omenjene lastnosti možno izboljšati z občutnim znižanjem vsebnosti intersticijskih elementov, tj. ogljika in dušika. Nizka vsebnost ogljika in dušika močno izboljša varilnost tudi pri avstenitnih jeklih. Takratna tehnologija pa ni omogočala izdelave nerjavnih jekel, ki bi vsebovala manj kot 500 ppm skupne vsebnosti ogljika in dušika. Razvoj VOD in AOD tehnologije pa je omogočil ekonomično in masovno izdelavo zelo čistih nerjavnih jekel. Danes je z VOD postopkom možno izdelati npr. feritno jeklo z 18–28 % Cr in manj kot 200 ppm skupne vsebnosti ogljika in dušika.

3. SUPERFERITNA NERJAVNA JEKLA

3.1 Razvoj superferitnih jekel

Feritna jekla imajo slabšo duktilnost oz. sposobnost deformacije v primerjavi z avstenitnimi jekli. Plastičnost in žilavost feritnih jekel praviloma pada z rastočo vsebnostjo kroma, vendar je to odvisno od vsebnosti intersticijsko raztopljenih elementov, kot sta ogljik in dušik. Čeprav imajo nekoliko slabše mehanske lastnosti (manjša porušna trdnost in žilavost) kot ustrezna avstenitna jekla, imajo ta jekla nekatere druge prednosti.

Predvsem je pomembno, da imajo približno 50 % večjo toplotno prevodnost, približno 30 % manjši koeficient toplotnega raztezanja in 10 % večji modul elastičnosti. Imajo tudi dobro korozijsko odpornost pri sobnih in povišanih temperaturah. Glede na časovni potek razvoja imamo tri generacije feritnih jekel.

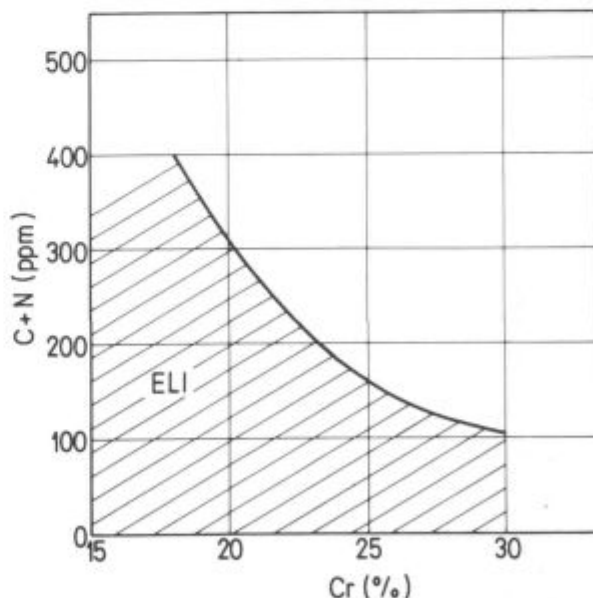
a) Feritna jekla prve generacije vsebujejo 17–27 % Cr in 0,10–0,20 % C. Večje vsebnosti kroma ustrezajo višjem ogljiku, saj je krom edini alfa-gen element v tem jeklu. Osnovni predstavnik je najbolj razširjeno feritno jeklo AISI 430 (16–18 % Cr in 0,12 oz. 0,10 % C).

b) Feritna jekla druge generacije imajo 11–14 % Cr in 0,08 % C ter dodatek alfa-genih elementov, kot so Ti in Al.

Tipična predstavnika sta AISI 405, ki vsebuje 0,1–0,3 % Al, in AISI 409 z dodatkom do 0,75 % Ti.

c) Feritna jekla tretje generacije so t. im. superferitna jekla. Vsebujejo 16 %–36 % Cr, manj kot 0,025 % C, 1–4 % Mo, v nekaterih primerih 0,5 %–4 % Ni ter podkritično vsebnost (C+N). Kritična vsebnost (C+N) pa naglo pada z rastočo vsebnostjo Cr, kot kaže **sl. 2** (6).

Bistvena karakteristika teh jekel je izredna čistota oz. močno omejena skupna vsebnost ogljika in dušika in s tem v zvezi izjemna korozijska obstojnost, dobra varil-

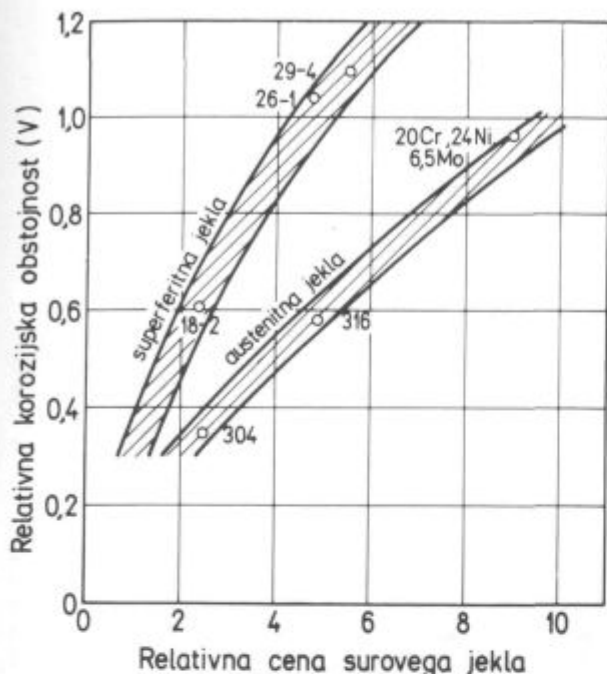


Slika 2:

Zgornja dopustna skupna vsebnost ogljika in dušika v superferitnih jeklih

Fig. 2:

Upper limit of C and N content of superferritic steel



Slika 3:

Odnos med korozijsko obstojnostjo in proizvodno ceno surovega jekla za avstenitna in superferitna jekla

Fig. 3:

Corrosion resistance Vs. production costs for austenitic and superferitic ingot steel

nost in veliko boljše žilavost v primerjavi z navadnimi feritnimi jekli.

Superferitna jekla lahko delimo (2, 6—8) v 4 skupine:

A) jekla za splošne namene (16—18 % Cr in 2 % Mo)
B) jekla s poboljšano korozijsko obstojnostjo (26 % Cr in 1 % Mo)

C) jekla odporna v morski vodi (26 Cr-3 Mo-2,5 Ni) in

D) jekla, (29 Cr-4 Mo), ki se po svoji izredni korozijski obstojnosti lahko merijo z bistveno dražjim titanom in superzlitinami. Superferitna jekla so bistveno cenejša od ustreznih avstenitnih jekel, pri tem jih celo prekašajo po svoji korozijski obstojnosti, kot kaže sl. 3 (9). S slike jasno vidimo, da je uporaba superferitnih jekel veliko bolj smotrna povsod tam, kjer je primarni kriterij za izbiro jekla njegova korozijska obstojnost. Tako ima npr. superferitno jeklo 18-2 nekoliko boljše korozijsko obstojnost kot avstenitno jeklo AISI 316, pri tem pa je lastna cena superferitnega jekla dvakrat nižja.

3.2 Tehnologija izdelave superferitnih jekel

Nove jeklarske tehnologije indukcijskega taljenja pod vakuumom (Vacuum Induction Melting — VIM), vakuumskega pretaljevanja pod žilindro tim. VAR (Vacuum Arc Remelting) in vakuumskega taljenja z elektronskim curkom (Electron Beam — EB) danes omogočajo izdelavo superferitnih ELI jekel z vsebnostjo kroma do 36%! Za nas je predvsem zanimivo, da dupleks postopek elektro

peč — vakuumska oksidacija (EP-VOD) omogoča izdelavo superferitnih nerjavnih jekel. O tehnologiji izdelave superferitnih jekel po EP-VOD postopku v strokovni literaturi praviloma ni podatkov. Literatura o tehnologiji izdelave superferitnih jekel ni le zelo redka in pomanjkljiva (10—16), temveč gre praviloma bodisi za poročila s slabo prikritim komercialnim namenom, tj. za preprosto obveščanje morebitnih naročnikov, da določena jeklarna izdeluje superferitna jekla, ali za poročila znanstvenega pomena, v katerih ni nobenih bistvenih podatkov o tehnologiji. Tako npr. iz literature (10) vidimo, da z dupleks postopkom EP-VOD, kot ga imamo tudi v Slovenskih železarnah, v Zah. Nemčiji izdelujejo superferitno jeklo 26 Cr—1 Mo in X1CrNiMoNb 28 4 2 (Remanit 4575) pri vsebnosti (C+N) ≤ 450 ppm. Zadnja kvaliteta je stabilizirana z dodatkom Nb. V Slovenskih železarnah (Ž. Jesenice) smo osvojili tehnologijo izdelave superferitnega jekla 18—2 (16—18 % Cr, 2 % Mo in manj kot 0,016 % skupne vsebnosti ogljika in dušika).

3.3 Uporabnost superferitnih nerjavnih jekel

Superferitna jekla uporabljamo:

a) namesto navadnega feritnega jekla zaradi veliko boljše duktilnosti in varilnosti, tj. za dekorativne namene, v industriji eksploziva, za posode za dušično kislino, za opremo kopalnic, kuhinj, restavracij, za različne toplotne izmenjevalce, zgorevalne komore, bojlerje, pralne in pomivalne stroje, avtomobilске izpušne sisteme, itn.

b) namesto veliko dražjih avstenitnih jekel 304 in 316 za procesno opremo in različne cisterne in kontejnerje v kemični, petrokemični in predvsem živilski industriji, (npr. za cestni, železniški in pomorski prevoz mesa, vina, piva, sadnih sokov, različnih sirupov, itn.).

c) za komunalne sisteme za oskrbo z vodo velikih mest, tovarne za odsoljevanje morske vode, kondenzatorje termoelektrarn ob morju, za povsem nove izdelke kot so solarni kolektorji, elektronski deli v avtomobilski industriji, elektromagnetne ventile v posebno agresivnih okoljih, itn.

Literatura

1. H. Kutscher, Ironmaking and Steelmaking, 1987, 2, 76/78.
2. Fujio Tsukamoto, Transactions ISIJ, (26) 1986, 273/81.
3. N. N., Metall Bull., 1977, 6233.
4. N.N., Ibid., 1980, 6351.
5. W. Crafts in H. P. Rossbach, Journal of Metals, 1952, 1.
6. Itikava Kadzuo et al., Kasaku Keidzai, (24) 1977, 29/37
7. Ralph M. Davidson in R. F. Steigerwald, Metal Progress, Junij 1979.
8. P. M. Strocchi et al., La Metallurgia Italiana, 1976, 12.
9. R. A. Lula, Metal Progress, Oktober 1979.
10. Meyer, H. et al., Stahl und Eisen, 1979, 23, 1315/18.
11. Hiroyuki Katayama et al., Transactions of ISIJ, (18) 1978, 761/67.
12. Kaoru Shimne et al., Proceedings of 100th ISIJ Meetins, October 1980, str. 834.
13. Kaoru Shimne et al., Proceedings of 100th ISIJ Meeting, October 1980, str. 835.
14. Osuchi Yukio et al., Kawasaki Steel, (12) 1980, 561/70.
15. S. Iwaoka et al., Proceedings of Stainless Steel, London 1977, str. 139—156.
16. Pinnow, K. E., Proceedings of Stainless Steel, London 1977, str. 231/45.

Diplomska dela v letu 1987

Pregled diplomskih del na odseku za metalurgijo, VTOZD Montanistika — FNT, Univerza E. Kardelja v Ljubljani kaže zelo dobro bero v preteklem letu, saj smo dobili kar 23 novih diplomiranih inženirjev metalurgije.

— **Branko Banko: Vpliv stopnje hladne predelave in pogojev termične obdelave na elektromagnetne lastnosti višje siliciranih dinamo pločevin**

Izbrani sta bili dve vrsti industrijsko izdelanega jekla z različnim deležem silicija. Avtor je upošteval vpliv hladne deformacije, temperaturo v rekristalizacijskem delu industrijske žarilne peči in hitrost pomikanja traku skozi peč, zasledoval pa je izgube magnetenja in indukcije v smeri valjanja in pravokotno nanjo, anizotropijo izgub magnetenja, koercitivnosti v smeri valjanja ter metalografsko opazoval strukturo. Rezultate je obdelal računalniško. Jeklo z višjim silicijem je smotrno uporabiti, ko želimo doseči izjemno nizke izgube magnetenja, pri čemer je potrebna visoka temperatura in daljši čas rekristalizacije.

84 strani

12 literaturnih citatov

— **Jurij Bavdaž: Študij plastičnega toka materiala s pomočjo vizioplastične metode**

Naloga obravnava stanje gibanja vplivnih veličin v plastični coni preoblikovanja materiala, in sicer proces ravninske plastične deformacije v toplem stanju. Avtor je uporabil vizioplastično numerično metodo, ki omogoča vpogled v lokalna stanja termomehanskih parametrov in napetostnih stanj med procesom. Izdelal je osnovno računalniško programsko opremo, ki jo je možno zelo hitro prilagoditi za študij tovrstnih procesov (valjanje ploščatih profilov) plastične predelave. Pripomniti velja, da je bil eksperimentalni del naloge narejen na TU Clausthal (ZRN) v okviru sodelovanja med Montanistiko in to šolo.

74 strani

20 literaturnih citatov

— **Milivoje Bigović: Preiskave tokov mešanja taline v livnih lončih**

Za pospeševanje poteka metalurških procesov pri izdelavi jekla vpihujejo skozi talino, v njo ali na njo inertni plin. Z modelnimi preiskavami je avtor ugotavljal tokove in premešavanje. Izbral je vodni model za simulacijo taline. Lesene kocke, plastični valjčki, lesno oglje, lesne kroglice ter kavna zrna in mleta kava so ponazarjali žlindro. Ugotovil je, da mešanje žlindre s talino nastopi, ko pretok plina povzroči gibanje vsaj 1/3 celotne prostornine taline. Manjše delce »žlindre« tok potegne v globino. Odločilna je višina kopeli in pretok plina ter prazen prostor nad talino.

41 strani

13 literaturnih citatov

— **Ana Dragoš: Vpliv temperature in sestave modifikatorja na strukturo nodularne litine**

Siva litina s kroglastim grafitom se po svojih lastnostih razvrsti med sivo in jekleno litino. Avtorica je upora-

bila nodulatorje z različnimi deleži magnezija in kalcija ter zasledovala uspešnost nodulacije, vpliv kalcija na število grafitnih vozlov ter vpliv temperature pri obdelavi taline. V talilnih lončkih je z molibdensko žico pritrdila nodulatorje v obliki kroglic in vanje vlivala različne taline. Ohlajene vzorce je opazovala pod mikroskopom. Uspešnost nodulacije zavisi predvsem od količine in časa zadrževanja nodulatorja v talini. Tudi kalcij je uspešen nodulator. Izbrana temperatura 1450°C je ustrezna. Delež nodulatorja mora biti vsaj 0,4 % mase taline.

95 strani

19 literaturnih citatov

— **Marija Gabor: Ionsko nitriranje orodnih jekel in jekel zaboljšanje**

Ionsko nitriranje je termokemična obdelava površine materiala z nitriranjem na osnovi tlilnega razelektrenja. Uporablja se pri obdelavi strojnih in gradbenih delov ter orodij. Raziskave so pokazale, da ima ionsko nitriranje jekel Č. 4739, Č. 4531, Č. 4321, Č. 4732, Č. 4850 in Č. 4757 prednosti pred ostalimi načini nitriranja in je tudi ekonomsko upravičeno, medtem ko ionsko nitriranje jekla Č. 1060 ni ekonomično. Pri brzoreznem jeklu Č. 9880 je treba paziti na čas obdelave, pri jeklih Č. 4770, Č. 4970 in Č. 4574 pa je treba pred nitriranjem odstraniti nastalo oksidno plast na površini.

115 strani

25 literaturnih citatov

— **Janez Gnamuš: Toplotna obdelava platiranih nožev s simetrično rezino**

Uvajanje platenih jekel pomeni prihranke pri izdelavnih stroških, omogoča večjo žilavost materiala in lažjo obdelovalnost. Avtor je za izdelavo platenih lamel izbral tri različna orodna jekla, Č. 6445, Č. 6444 (kaljivi v olju in legirani z volframom) ter Č. 7440 (kaljivo na zraku ter legirano z molibdenom). Izdelal je tri različne vložke za valjanje. Z oblikami in dimenzijami platenih lamel se je približal osnovni geometriji profila noža. Vzorci 5 različnih oblik so bili nato mehansko in toplotno obdelani. Na osnovi ugotavljanja pokanja vzorcev je avtor prišel do ustreznih pogojev toplotne obdelave.

64 strani

18 literaturnih citatov

— **Boštjan Godec: Valji za kontinuirno litje širokih trakov aluminija**

Na valjih za kontinuirno litje širokih trakov aluminija prihaja do pojava vročinskih razpok, ki so posledica notranjih napetosti. Avtor je z raziskavami ugotovil temperaturni režim na površini valjev in izračunal temperaturne in mehanske napetosti. Preiskal je uporabljano francosko jeklo AFNOR 30 CD 12 ter izvedel preskus temperaturne utrujenosti. Ugotovil je najprimernejše pogoje izdelave ter obratovanja valjev.

91 strani

18 literaturnih citatov

— **Matjaž Godec: Difuzijska zapora TiN v mikroelektroniki**

Namen naloge je bil narediti večslojno strukturo Si/TiN/Al, pripraviti stehiometrijski TiN, izmeriti lastnosti kontaktnega spoja ter ugotoviti kakovost difuzijske zapore na uporabnih verigah kovina-silicij in kovina-polisilicij, s kontakti velikosti 5 X 5 µm. Pravilna izbira parcialnega tlaka dušika ter napetosti in toka na tarčo so pogoji potrebni za nastanek plasti z majhno plastno upornostjo (0,625 µΩ), majhnimi notranjimi napetostmi in relativno veliko hitrostjo naprševanja. Plast stehiometrijskega TiN, debela 80 nm prepreči difuzijo aluminija in silicija in ne pride do porušitve pri toplotni obdelavi pri 823 K in času 30 minut. TiN je omogočil 25 kratno zmanjšanje kontaktne upornosti.

93 strani

28 literaturnih citatov

— **Borislav Košec: Toplotna obdelava profilov iz konstrukcijskih jekel**

Namen naloge je izboljšava tehnologije toplotne obdelave v kontinuirnih žarilnih pečeh tipa Ebner Železarne Štore. Na osnovi programa toplotnih obdelav, temperaturnega režima pri valjanju in toplotne obdelave v velikih kontinuirnih pečeh ter z merjenjem lastnosti toplotno obdelanih profilov iz jekel Č.1731, Č.4732 in Č.4830 je avtor predložil tehnologije toplotne obdelave za posamezna jekla.

101 stran

8 literaturnih citatov

— **Vlado Krebs: Določevanje viskoznosti žlinder za postopek VAD**

Čas rafinacije, razžvepljanje, količina in oblika vključkov v veliki meri zavise od sestave in lastnosti sintetičnih žlinder pri postopkih obdelave jeklenih talin v loncih, kamor spada tudi postopek VAD. Avtor je za meritve viskoznosti uporabil elektromagnetni vibracijski viskozimeter, ki je bil razvit na katedri za ekstraktivno metalurgijo. Preiskal je 8 različnih žlinder ter ugotavljal temperaturno odvisnost viskoznosti. Napihovanje žlinder ter pomanjkanja podatkov o gostoti je vplivalo na natančnost meritev.

45 strani

27 literaturnih citatov

— **Silvin Lesnik: Procesna tehnika razogljčenja pri kontinuirnem žilavenju**

Naloga je skušala prikazati na dosedanjih metalurških in kemično kinetičnih spoznanjih, kje ležijo mejne vrednosti snovnega pretoka s posebnim poudarkom na linearni naklon krivulje razogljčenja ter se s pomočjo procesne tehnike približati optimalnemu reaktorju s kontinuirnim načinom dela. Avtor je delal z vodnimi modeli kaskad in žlebov, pri čemer je uporabil 5 tipov modelov. Ugotavljal je Bodensteinovo število, ki predstavlja razmerje prenosa snovi po toku proti prenosu snovi pri aksialnem povratnem mešanju, kar omogoča oceno povratnega mešanja v reaktorjih z vpihovanjem. Primerjava rezultatov s poskusi na modelih WORCRA kaže, da ima kaskadni reaktor večje možnosti maksimalnega razogljčenja. Poudariti je treba, da je bila naloga izdelana na osnovi sodelovanja med Montanistiko in TU Clausthal v Clausthalu (ZRN):

79 strani

30 literaturnih citatov

— **Sretko Marič: Vpliv modifikatorjev FeSiZr, FeSiMnZr in FeSiSr na strukturo in lastnosti sive litine**

Avtor je zasledoval vplive modifikatorjev na število evtektičnih celic, obliko in velikost grafita, na trdoto in natezno trdnost, na globino bele strjene plasti ter na podhladitev taline. Sivo litino je talil v mrežnofrekvenčni peči, iz taline pa je izdelal obratovne kline, preskusne palice ter vzorce za ugotavljanje ohlajevalnih krivulj. Analiziral je tudi vpliv časa puščanja taline na temperaturi.

75 strani

15 literaturnih citatov

— **Marjan Mencinger: Vpliv dodatka bismuta in kalcija v jeklu na obdelovalnost z odrezavanjem**

Naloga je iz sklopa raziskav za razvoj novih avtomatnih jekel v Železarni Jesenice. Raziskava je pokazala uspešnost dodatkov bismuta malo ogljičnemu jeklu Č.3990, pač pa je bil izkoristek dodajanja bismuta oz. BiMn slab. Obdelava avtomatnih jekel s kalcijevimi zlitinami za modifikacijo vključkov in izboljšavo obdelovalnosti je možna le pri pomirjenem jeklu. Kalcij se uspešno dodaja z vpihovanjem kalcijevih zlitin v talino ali z dodajanjem s polnjeno žico.

59 strani

18 literaturnih citatov

— **Darko Mikec: Toplotnotehnična ocena prihranka energije pri predgrevanju zraka za zgorevanje**

Avtor je izdelal matematični model ter postavil algoritem za izračun ter obdelal različne primere rekuperacijskega predgrevanja zraka pri metalurških ogrevnih pečeh. V ekonomskem izračunu je upošteval stroške vzdrževanja in čiščenja rekuperatorja, ceno električne energije za pogon ventilatorjev ter investicijske stroške v odvisnosti od željene temperature predgretga zraka. Čas vračanja vloženi stroškov zavisi od storilnosti peči ter izkoriščenosti rekuperatorja.

97 strani

9 literaturnih citatov

— **Nataša Mlakar: Mikrolegiran baker za izdelavo komutatorjev**

Majhne količine raztopljenega kisika v bakru poslabšajo njegovo preoblikovanost. Kontraktacija in število pregibov pri pregibnem preskusu padata z naraščajočim deležem kisika v bakru, kar bi bila lahko enostavna obratovna tehnološka metoda za ugotavljanje preoblikovalnosti bakra. Velike vključke bakrovega oksida, ki pri preoblikovanju povzročajo luščenje površine in lomljenje kaveljčkov pri izdelavi komutatorjev, pa lahko odkrivamo s preiskavami z vrtilnimi tokovi.

79 strani

11 literaturnih citatov

— **Andreja Novak: Lastnosti veziv na osnovi vodnega stekla s posebnim ozirom na razpad po litju**

Zadnje čase se spet pojavlja tendenca uporabe vodnega stekla v livarstvu predvsem zaradi ekonomike in ekologije. Razpad po litju je podoben tistemu pri postopku formanja s CO₂. Avtorica je preskušala vezivi Sigel in Solosil. Zasledovala je trdnosti mešanic po žarjenju, lastnosti mešanic po sušenju, higroskopskost mešanic ter opazovala vezi in prelome vzorcev z rastrokim elektronskim mikroskopom. Standardne preskusne valjčke je žarila v oksidacijski in redukcijski atmosferi. Vezivo Solosil je primernejše za uporabo pri postopku s CO₂, vezivo Sigel pa pri primernejši za takojšnjo uporabo form, drugi pa po optimalnem času samoutrjevanja.

120 strani

14 literaturnih citatov

— **Franci Perko: Osvajanje tehnologije proizvodnje dvoslojnega jekla po postopku valjanja ali kovanja v vročem**

Dvoslojni plateni material vse pogosteje zamenjuje homogena materiale. Avtor je ugotavljal najugodnejše pogoje spajanja dveh jekel z različno kemično sestavo (na osnovi kroma oz. niklja) s postopkom vročega valjanja oz. kovanja. Za dober spoj je bistvenega pomena zelo čista spojna površina. Za trdnost spoja z valjanjem je bila optimalna temperatura 1200 do 1250 °C ter na 60%-na deformacija (tlak 230 MPa). Čas avstenitizacijskega žarjenja tudi povečuje trdnost spoja. Brušenje spojne površine ni dosti boljše od skobljanja, pač pa nikljanje ne daje dovoljno trdnost spoja. Najboljši rezultat trdnosti spoja je dal vrednosti 70 % od trdnosti šibkejšega jekla, kar je bistveno več od literarnih zahtev za tovrstne spoje.

87 strani 22 literarnih citatov

— **Matjaž Pristavec: Raziskave spinodalne premene v zlitini železa z 10,5 % Co in 28 % Cr**

Z dilatometrijskimi meritvami, meritvami trdote in preoblikovalnosti ter z elektronsko mikroskopijo in meritvami uklona je avtor zasledoval vpliv dodatnih elementov, temperature homogenizacije ter hitrosti ohlajanja na spinodalni razpad ter mikrostrukture zlitin FeCrCo. Že majhne množine dodanih elementov spremenijo kinetiko in temperaturo spinodalnega razpada. Zadostna preoblikovalnost zlitine se doseže s 30 minutno homogenizacijo pri 1200 °C. Dodatki silicija in vanadija poslabšajo preoblikovalnost zaradi izločanja vanadijevih karbidov po kristalnih mejah.

59 strani 21 literarnih citatov

— **Samo Semenič: Vpliv hitrosti ohlajevanja na strukturo nodularne litine**

Cilj raziskave je bil dobiti ulitek, ki bo imel dober učinek nodulacije ter metalografsko strukturo enako predpisani po standardih za NL-50. Avtor je zasledoval hitrost ohlajevanja in vpliv magnezija na metalografsko zgradbo debelostenskih ulitkov pri modificiranju z Fe-SiMg10 in FeSiMg5. Ugotovil je različnost metalografskih struktur v odvisnosti od sestave litine in hitrosti ohlajanja.

96 strani 9 literarnih citatov

— **Ivica Urlep: Anodni procesi pri talinski elektrolizi aluminija**

Površinske lastnosti elektrolita močno vplivajo na elektrolizne procese. Medfazna napetost na meji elektrolit-ogljik vpliva na selektivno absorpcijo sestavin elektrolita v ogljikove elektrode, pri čemer ima pomembno vlogo poroznost elektrod. Omakanje ogljikovih materialov z elektrolitom kot funkcija medfazne napetosti je pomembno pri nastajanju anodnega pojava. Avtorica je zasledovala vpliv različnih sestav elektrolita na omočenju treh tipov anod, odvisnost kota omočenja od temperature in časa ter vpijanje elektrolita v anodo.

51 strani 25 literarnih citatov

— **Jovo Vranjković: Lotanje aluminija v vakuumu**

Raziskava naj bi pokazala, če lahko dobimo zadovoljive rezultate zalotanih spojev z našimi loti. Avtor je za

lotanje uporabil 4 aluminijevo silicijeve taline, dve z dodatkom magnezija, dve pa brez njega. Vsem talinam je dodal bismut ali svinec ali pa oba za zmanjšanje površinske napetosti lota. Lote je vliil v plošče, ki jih je izvaljal v trakove ter eksplozijsko platil na ploščo iz AlMn1 ter to znoval zvaljal. Poskuse lotanja s tako izdelanimi loti je delal na različne načine. Ugotovil je, kateri loti dajo najboljše rezultate, ter pogoje lotanja v vakuumu.

59 strani 4 literarni citati

— **Irena Zakrajšek: Reakcije med formo in talino pri jekleni litini**

Pri ulivanju je forma izpostavljena močnemu termišoku. Avtorica je preiskovala vpliv deformabilnosti form na termišok pri litju. Izdelala je preskušance, jih žarila pri različnih temperaturah različno dolgo. Uporabila je 5 načinov utrjevanja. Preiskave na termišok je delala z ogrevanjem vzorcev z acetilenskim plamenom ter merila čas do nastanka razpoke. Pri meritvah deformabilnosti so bili vzorci konzolno vpeti in merila je čas do porušitve ali uklona. Ugotovila je, da je odpornost proti termišoku odvisna predvsem od vrste veziva, pri postopku Croning pa tudi od pogojev utrjevanja. Površinske napake na ulitkih niso posledica le dogajanj v najbolj ogreti površinski plasti forme, ampak tudi od mehanizma prevzemanja teh deformacij v globlje ležečih plasteh forme.

64 strani 13 literarnih citatov

— **Breda Žgeč: Termomehanska obdelava ledeburitnega orodnega jekla**

Ledeburitna orodna jekla so ena najstarejših klasičnih vrst orodnih jekel za delo v hladnem. Pri preoblikovanju so velika karbidna zrna mehansko nestabilna mikrostrukturna sestavina, njihova velikost pa zavisi od temperature in stopnje deformacije. Pri plastičnih deformacijah duktilna matica prevzame sproščeno energijo pri porušitvi karbidnih zrn ter prepreči širjenje razpok. Z večstopenjskimi deformacijami je moč zmanjšati velikost zrn in doseči enakomernost porazdelitve. Pri nižjih temperaturah kovanja je število porušenih karbidnih zrn večje.

56 strani 6 literarnih citatov

Osebne vesti

NOVI INDIVIDUALNI POSLOVODNI ORGANI NA VTOZD MONTANISTIKA IN FAKULTETI ZA NARAVOSLOVJE IN TEHNOLOGIJO

V začetku šolskega leta 1987/88 so se zamenjali individualni poslovodni organi. Od začetka septembra 1987 je:

Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo
dekan: red. prof. dr. Franc Kozjek, dipl. farm.

VTOZD Montanistika

predstojnik: red. prof. dr. Franc Videgar, dipl. inž. rud.

Odsek za metalurgijo

predstojnik: izred. prof. dr. Milan Trbižan, dipl. inž. met.

IN MEMORIAM

dr. HERMAN KLINAR

dr. Herman Klinar, 30. 10. 1896—31. 10. 1987

30. oktobra 1987 je doma v Gutau pri Linzu praznoval svoj 91. rojstni dan in v veselem razpoloženju telefoniral tudi svojim v Ljubljano, prepeval po telefonu in sprejemal čestitke, kot da ni vstopil v deseto desetletje. Za naslednji dan, 31. oktobra ob 8.30 se je dogovoril s šoferjem, da pride ponj, da bosta šla po opravkih v Linz. Ko je šofer naslednji dan ob dogovorjeni uri pripeljal, ga je Herman Klinar oblečen in pripravljen čakal na pragu svoje hiše, vendar je že odšel.

Spoznal sem ga v nenavadnih okoliščinah, tudi po stroki nisva imela nič skupnega. Po neizprosni logiki povojnih časov in revolucije je bil obsojen in obsodbo je odseval v raznih zavodih. Navadno je bilo to povezano z delom v zavodskih delavnicah in kot podjeten inženir je bil tam vedno na kak način koristen. Tudi za nasvete v zvezi z železarnami so ga spraševali. Takrat, bilo je kmalu po informiraju, in posebno glede na takratno gospodarsko izolacijo, si je Kidrič na vse načine prizadeval razvijati in uporabiti domače možgane. Ne le, da je osnoval institute, tudi posameznike, če so količkaj obetali, je vključeval. Tako je imel nekoga, ki si je zamislil novo metodo za pridobivanje železa brez koksa z direktno redukcijo s premogovim prahom. Že nekaj časa je ta eksperimentiral, pa ni bilo čisto jasno, kaj lahko pride iz tega. Takrat so se spomnili Klinarja, naj oceni in preizkusi, koliko je zamisel realna. Za to je potreboval laboratorij in nekaj sodelavcev in jaz sem bil tisti, ki naj bi za to poskrbel.

On je seveda to problematiko poznal, že dolgo so bili znani te vrste poskusi, npr. Krupp-Rennverfahren. Z zanimanjem se je lotil dela, večkrat je rekel, da dela svoj drugi doktorat, in končno izdelal obširen elaborat z meritvami in vsem potrebnim za strokovno oceno zamisli. Vmes sva včasih potovala na kaka posvetovanja po jugoslovanskih železarnah. Kot izkušen železar in podjeten gospodarstvenik je povedal marsikaj tehtnega, ne vedno tisto, kar bi od njega radi slišali. Čeprav nisem metalurg, so bila tudi za mene ta posvetovanja zanimiva.

V tem času so se začeli za njega zanimati Indijci. Pred vojno jim je postavil v Jamshedpuru železarno Ta-Ta, — od tam je prišel na Jesenice in po koncu vojne so se spet spomnili nanj. Zvedeli so nekako kje je in povprašali, ali bi bilo možno, da pride spet k njim. Kidrič in Kraigher sta hitro sprevidela, da bi bilo nesmiselno to možnost preprečevati. Klinar pa je rekel, da gre iz države le z jugoslovanskim potnim listom. Tako je leta 1951 odšel spet v Indijo. V Indiji je spet zgradil železarno in sicer v Rourkeli, za kar je dobil visoka indijska priznanja in odlikovanja. Kot je pripovedoval, je imel opraviti z dobavitelji železarske opreme s celega sveta, in on, star maček, jih je po svoje vrtel. Rad se je pohvalil, koliko denarja in razočaranj je prihranil Indijcem, ki jim je ljudi s strokovnim znanjem in podjetniškim vpogledom in svetovnimi zvezami manjkalo. Uspelo mu je, da je Indijce prepričal v novo tehnologijo proizvodnje surovega jekla z vpihovanjem kisika v LD konverterje. Indijci so tako odklonili ponudbo za uvedbo takrat običajne tehnologije z martinovkami, ki so jo predlagali angleški in ruski metalurgi. Prav s to prodajo LD konverterja je mala Avstrija sprožila svetovni proces prestrukturiranja proizvodnje surovega jekla. Ko je v Indiji končal, je postal strokovnjak UNIDO pri Združenih narodih. Prekolovratil je ves svet, posebno vrsto dežel v razvoju, ki so od ZN pričakovale pomoč v taki ali drugačni obliki. Končno je leta 1962 odšel k železarni VOEST v Linzu. Njegova strokovnost in mednarodna razgledanost sta v Linzu pustila trajne sledi. Sodeloval je pri zasnovah nove organizacije in pomagal pri premagovanju začetnih težav. Prevzemal je številne projekte in jih tudi uspešno izpeljal. Sodeloval je tudi pri izdelavi projekta za reorganiziranje vseavstrijskega železarstva. Mnoge njegove vizionarske ideje takrat še niso mogle prodrati. Pozneje pa so se radi spominjali njegovih predlogov in jih nekaj tudi mnogo pozneje uveljavili. Rad je pripovedoval, kako je prišel navzkriž s Kreiskym, ki je menda iz trenutnih političnih razlogov zavrnil Klinarjeve perspektivne predloge za preusmeritev avstrijskega železarstva. Vendar Klinar ni odnehal in še leta 1986, ko se je spet začela debata o preusmeritvi avstrijskega železarstva, je že skoraj devetdesetleten v javnih glasilih podal svoj pogled na nadaljnji razvoj železarstva v Avstriji. V mednarodnih železarskih krogih je bil splošno priznan strokovnjak.

V VOESTU je deloval kot svetovalec še do pred 4 leti, ko se je dal upokojiti. Od takrat je živel večinoma v Gutau in vaška gasilska godba mu je vsako leto zaigrala Triglavski marš, vsaj enkrat letno pa je prihajal v Ljubljano obiskovat sorodnike in prijatelje, večinoma železarje in Gorenjce.

Med ljudmi, ki so preživeli obe vojni, bi lahko našli marsikoga, ki je šel skozi vse mogoče pretrse in dogajanja. Tako tudi on. Posebno druga svetovna vojna je bila zanj zapletena, saj se je kot človek z že do takrat zelo kozmopolitsko preteklostjo znašel v položaju tipičnega predstavnika kapitala, razredno nesporno na drugi strani. Vendar je bilo možno iz njegovih pripovedovanj razbrati, da se je vedno štel za Slovenca in se rad družil s svojimi delavci, planinci in športniki. Bil je družaben in neposreden, cenil je človeka po njegovi sposobnosti in delu. Samosvoj kot je nesporno bil, se je tako tudi obnašal. Čeprav vendarle na način, ki ga je terjal njegov izpostavljen položaj.

Najbrž ne bo nikdar do kraja raziskano, in vprašanje je tudi, koliko je to pomembno, kakšno vlogo je odigral v času vojne v jesiški železarni. Leta 1938, ko je bil imenovan za tehničnega direktorja Železarne Jesenice, je bila železarna po večjih investicijah v tridesetih letih za povečanje proizvodne zmogljivosti v težkem finančnem položaju. V razmerah tik pred vojno, ko je za povečano proizvodnjo manjkalo vložka, je zgradil drugi plavž, vendar je kot tehnični direktor hitro spoznal, da mora železarna spremeniti program in se usmeriti predvsem v kvalitetna in plemenita jekla. Uvedel je tudi postopke za čiščenje jekla, kontrolno kakovosti in termične obdelave jekel. Z njemu lastno zagnanostjo je pripravil tudi projekte za rekonstrukcijo valjarne, vendar vojni čas ni omogočil uresničitve teh načrtov. Šele mnogo let pozneje, že po vojni, je železarna obnovila valjarne.

Za to, kakšno vlogo je odigral med vojno kot človek na vidnem mestu, pa je zanimivo njegovo pripovedovanje, kako si je prizadeval, da mu ne bo jemali in odseljevali delavcev in da ob koncu vojne železarna ne bi bila uničena; pa tudi da so Nemci dvakrat ali trikrat streljali na njega; da mu je po vojni aretacija močno preusmerila življenje, da pa se je kljub številnim peripetijam vse dobro končalo.

Sicer pa je, šaljivec, kakršen je bil, velikokrat pripovedoval, da ga za življenje ni bilo nikdar strah, saj mu je še v Jamshedpuru indijski jasnovidec napovedal vsaj 83 let, in šele ko jih je preživel, je, sistematič kot je bil, vse uredil za vsak slučaj.

Strokovno podkovan in razgledan, nadvse podjeten in trezen, širokopotezen in strogo gospodaren, tak je bil mnogim znan in takega se ga bodo marsikje spominjali, pri nas pa tudi kot slovenskega železarskega podjetnika izjemne sposobnosti, trdoživosti in vitalnosti.



prof. dr. MILAN OSREDKAR



**Inženiring
slovenske
železarne**



Zamisel o organiziranju in ustanovitvi skupne inženiring organizacije v okviru SOZD Slovenske železarne je nastala zaradi lastnih potreb že pred letom 1976. Načrtovanje razvoja je narekovalo tudi težnjo po združevanju znanja in izkušenj številnih strokovnjakov inženiring enot v delovnih organizacijah, članicah SOZD Slovenske železarne. Osnovna dejavnost Inženiringa Slovenske železarne (ISŽ) temelji na tehnologiji proizvodnje in predelave železa in jekla v okviru celovite dejavnosti delovnih organizacij. Poleg tega je dejavnost inženiringa usmerjena tudi v proizvodnjo metalurške opreme, strojev in naprav. To dejavnost razvijamo sami in v sodelovanju z drugimi specializiranimi delovnimi organizacijami.

ISŽ združuje torej celotni znanstveno raziskovalni, tehnološki in tehnični potencial SOZD Slovenske železarne. Z znanjem in dolgoletnimi izkušnjami pri načrtovanju, pripravi in realizaciji investicij ter pri uvajanju in vodenju proizvodnje ter predelave železa in jekla nudimo inženiring storitve.

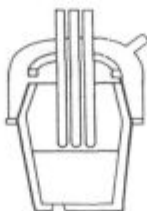
Naše osnovno vodilo je: To, kar lahko naredimo v naših združenih delovnih organizacijah za lastne potrebe, lahko nudimo tudi drugim. Pri tem je naša pomembna prednost v tem, da je vse, kar nudimo, razvito in preizkušeno v praksi, to pa je garancija visoke kakovosti.

Naše inženiring storitve nudimo za naslednja področja:

- Priprava surovin in proizvodnja surovega železa
- Livarstvo sive, nodularne, centrifugalne in konti litine ter jeklene litine
- Proizvodnja kvalitetnih in specialnih jekel vključno s postopki sekundarne metalurgije
- Električno pretaljevanje pod žilindro (EPŽ) — tehnologija in proizvodne naprave

- Kovanje na stiskalnicah, kladivih in avtomatski kovaški liniji. Vroče valjanje pločevine, palic in žice ter hladno valjanje pločevine in trakov
- Toplotna obdelava v vseh fazah proizvodnje in uvajanje tehnoloških postopkov
- Hladna predelava žice in palic, luščenje, vlečenje, brušenje

- Arbitražne analize kemijskega in tehnološkega značaja
- Raziskave raznih metalurško-tehnoloških problemov in kovinskih gradiv, razvoj ter tehnično svetovanje, ekološke meritve in ugotavljanje vzrokov onesnaževanja



NUDIMO

NAPRAVE

IN ZNANJE

Projektivni in izvedbeni inženiring ter uvajanje tehnologije za:

- Električne talilne peči, stroje in proizvodne naprave (mehanske stiskalnice in namenske stroje, pnevmatske in hidravlične stroje, brusilne stroje za gredice in slabe, vlečne stroje za žico in paličasto jeklo, opremo robotiziranih delovnih mest . . .)
- Izdelke iz žice (verige, vezne elemente, materiale v varilni tehniki, pletiva . . .)
- Orodja, strojne dele in opremo (industrijske nože, krožne žage in druga orodja, normalije, valje, nerjavne armature, plinske gorilnike, namenske ogrevne peči, industrijsko pnevmatiko in hidravliko . . .)

Vse navedene dejavnosti so razvite in vpeljane v redni proizvodnji delovnih organizacij SOZD Slovenske železarne, zato nudimo tudi šolanje kadrov kupca in zagon objektov z vpeljavo proizvodnje ter uvajanje tehnološkega znanja.

IMATE TEŽAVE? NAŠI STROKOVNJAKI VAM LAHKO POMAGAJO

Naša ponudba obsega:

- *Investicijske predštudije*
- *Tehnično-tehnološke rešitve nove ali obstoječe proizvodnje*
- *Tehnično-ekonomske analize*
- *Investicijske programe*
- *Projektno in izvedbeno dokumentacijo*
- *Pripravo tenderjev in svetovanje*
- *Organizacijo in nadzor izvajanja projektov*
- *Uvajanje proizvodnje*
- *Tehnično pomoč pri vzdrževanju naprav*
- *Šolanje kadrov*

Naša ponudba torej obsega celovit inženiring, naprave in stroje.

**TO, KAR ZNAMO ZASE,
NUDIMO TUDI VAM!**

Če so navedena področja naše inženiring dejavnosti vzbudila vaše zanimanje, nas obiščite ali nam pišite na naslov:

**Slovenske železarne
inženiring**

61000 Ljubljana
Moše Pijadejeva 5
Telefon: 061/311 633
Telex: 31 372 yu sazel

V našo skupno inženiring ponudbo so vključeni strokovnjaki, raziskovalci in razvojniki vseh delovnih organizacij SOZD-a Slovenske železarne.

V raziskovalno-razvojno dejavnost in v organizacijski razvoj ter povezovanje skupnega inženiringa sta vključena:

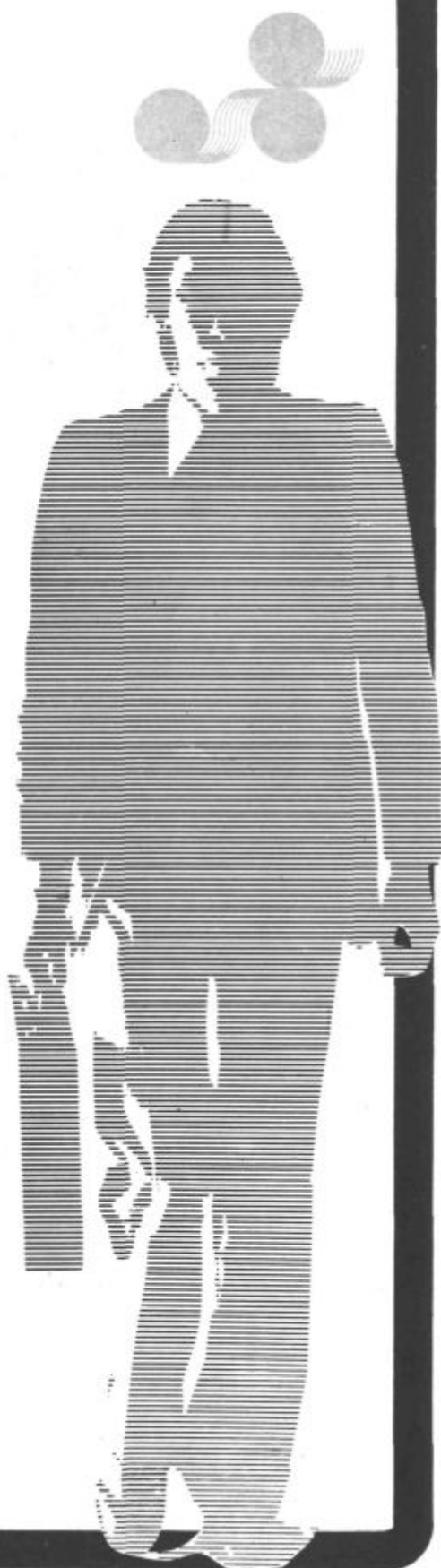
METALURŠKI INŠTITUT LJUBLJANA kot osrednja raziskovalna institucija slovenske črne in barvne metalurgije in INŽENIRING BLEDE na osnovi samoupravnega sporazuma o dolgoročnem poslovnem sodelovanju.

Nosilec razvoja finančnega inženiringa Slovenskih železarn je INTERNA BANKA.

Temelj naše proizvodnje je znanje in sodobna tehnologija, ki je vse bolj oplemenitena z rezultati lastnega raziskovalnega in razvojnega dela ter pilotne proizvodnje.

Naše znanje in izkušnje smo uspeli prenesti v proizvodne in tehnološke procese OZD širom po Jugoslaviji in tudi preko naših meja.

**NAŠE ZNANJE IN DOLGOLETNE
IZKUŠNJE LAHKO KORISTIJO
TUDI VAM**



VSEBINA

UDK: 669.14.018.853.4:620.17.620.179.13

ASM/SLA: SS, T21b, Q27, 1-66, 3-70

Metalurgija — ventilska jekla — mehanske lastnosti

I. Kos

Vpliv izhodnega strukturnega in trdnostnega stanja ventilskih jekel na mehanske lastnosti pri povišanih temperaturah

Železarski zbornik 22 (1988) 1 s 1—6

V članku podajamo primerjavo mehanskih lastnosti martenzitnega ventilskega jekla Č4581 in austenitnega Č4870 pri povišanih temperaturah. Jekli sta bili preizkušani v treh različnih izhodnih stanjih. Temperaturni interval preizkušanja je bil za jeklo Č4581 med 500 in 800°C, za jeklo Č4870 pa med 400 in 850°C.

Avtorski izvleček

UDK: 621.365.5

ASM/SLA: J2g, P11

Metalurgija — indukcijsko segrevanje

J. Bratina

Indukcijsko segrevanje cilindričnih teles

Železarski zbornik 22 (1988) 1 s 13—18

Podane so fizikalne osnove indukcijskega segrevanja cilindričnih teles iz feromagnetnih snovi. Izvedene so relacije, ki povezujejo geometrijske in snovne parametre indukcijskega sklopa induktor-ogrevanec z elektrotehničnimi parametri, potrebnimi za dimenzioniranje elektroenergetskih naprav. Raziskava je bila osredotočena predvsem na nizkofrekvenčno segrevanje površine velikih cilindričnih teles, (0,4 m do 0,9 m), eksperimentalna naprava pa je bila zgrajena za frekvenco 50 Hz. Na cilindrih premerov 0,4 m, 0,5 m, 0,6 m so bile izvršene elektrotehniške in toplotnotehniške meritve, kakor tudi meritve doseženih trdot po globini cilindričnega telesa, ki je bilo po segrevanju na potrebno temperaturo zakaljeno.

Avtorski izvleček

UDK: 620.187.543.063

ASM/SLA: M21e, S11e

Raster elektronska mikroskopija — mikroanaliza

H. Kaker

Analiza napak, ki vplivajo na točnost nestandardne metode energijsko disperzijske mikroanalize vzorcev v REM 1

Železarski zbornik 22 (1988) 1 s 7—12

V članku je podana analiza napak, ki vplivajo na točnost nestandardne metode energijsko disperzijske mikroanalize vzorcev v raster elektronskem mikroskopu. Te napake izvirajo iz nestabilnosti sistema, zaradi netočne nastavitve pospeševalne napetosti, kontaminacije v elektronsko optičnem stebru REM, zaradi vzbujanja notranjih delov vzorčne komore REM, priprave vzorcev, zaradi geometrije, zaradi netočne kalibracije EDS, zaradi revne statistike, iz napak v obdelavi spektra, iz napak v izračunu relativnih čistih elementnih intenzitet in samem ZAF modelu.

Avtorski izvleček

INHALT

UDK: 621.365.5

ASM/SLA: J2g, P11

I. Bratina

Metallurgie — induktive Erwärmung

Induktive Erwärmung zylindrischer Körper

Železarski zbornik 22 (1988) 1 C 13—18

Es werden physikalische Grundlagen für die induktive Erwärmung zylindrischer Körper aus ferromagnetischen Stoffen angegeben. Beziehungen, welche die geometrischen und Stoffparameter einer induktiven Zusammenfügung, Induktor- zu erwärmende Körper mit den elektrotechnischen Parametern verbinden, und die für die Dimensionierung elektrotechnischer Anlagen nötig sind werden ausgeführt. Die Untersuchung war vorallem auf die Niederfrequenz-erwärmung der Oberfläche grosser zylindrischer Körper (0,4 m bis 0,9 m im Durchmesser) konzentriert. Die Versuchsanlage ist für die Frequenz von 50 Hz gebaut worden. An zylindern der Durchmesser 0,4 m, 0,5 m und 0,6 m, sind elektrotechnische und wärmetechnische Messungen durchgeführt worden, so wie auch der Härteverlauf im Querschnitt des zylindrischen Körpers nach der Induktionshärtung.

Auszug des Autors

UDK: 669.14.018.853.4:620.17:620.179.13

ASM/SLA: SS, T21b, Q 27, 1-66, 3-70

Metallurgie — Ventilstähle — mechanische Eigenschaften

I. Kos

Einfluss von Gefüge und Festigkeitsausgangszuständen der Ventilstähle auf die mechanischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen

Železarski zbornik 22 (1988) 1 S 1—6

Im Artikel wird ein Vergleich der mechanischen Eigenschaften eines martensitischen Ventilstahles Č 4581 und eines austenitischen Ventilstahles Č 4870 bei höheren Temperaturen gegeben. Die beiden Stahlsorten sind bei drei verschiedenen Ausgangszuständen untersucht worden. Der martensitische Stahl Č 4581 ist im Temperaturintervall zwischen 500 und 800°C und der austenitische Č 4870 zwischen 400 und 850°C untersucht worden.

Auszug des Autors

UDK: 620.187-543.063

ASM/SLA: M21e, S11e

Rasterelektronenmikroskopie — Mikroanalyse

H. Kaker

Analyse der Fehler, welche die Genauigkeit der nichtstandardisierten Methode der Energiedispersiven Mikroanalyse der Proben im REM beeinflussen

Železarski zbornik 22 (1988) 1 P 7—12

Im Artikel wird die Analyse der Fehler gegeben, welche die Genauigkeit der nichtstandardisierten Methode der Energiedispersiven Mikroanalyse der Proben im Rasterelektronenmikroskop beeinflussen. Der Ursprung dieser Fehler ist im nichtstabilen System, wegen der nichtgenauen Anstellung der Beschleunigungsspannung, der Kontaminierung in der elektronenoptischen Säule REM, wegen der Erregung der inneren Teile der Probenkammer von REM, der Probenvorbereitung, der Geometrie wegen, wegen der nichtgenauen Kalibrierung von EDS, wegen der armseligen Statistik, aus den Fehlern der Spekterbearbeitung, aus den Fehlern, bei der Berechnung der relativen reinen Intensitäten der Elemente und allein im ZAF Modell.

Auszug des Autors

CONTENTS

UDK: 669.14.018.853.4:620.17:620.179.13

ASM/SLA: SS, T21b, Q27, 1-66, 3-70

Metallurgy — Valve Steel — Mechanical Properties

I. Kos

Influence of Initial Structural and Strength State of Valve Steel on the Mechanical Properties at Elevated Temperatures

Železarski zbornik 22 (1988) 1 P 1—5

Paper presents the comparison of mechanical properties of martensitic Č 4581 valve steel and austenitic Č 4870 steel at elevated temperatures. Steel was tested for three different initial states. The temperature interval of testing was between 500 and 800°C for the Č 4581 steel, and between 400 and 850°C for the Č 4870 steel.

Author's Abstract

UDK: 621.365.5

ASM/SLA: J2g, P11

Metallurgy — Induction Heating

J. Bratina

Induction Heating of Cylindrical Bodies

Železarski zbornik 22 (1988) 1 P 13—18

Physical fundamentals of the induction heating of ferromagnetic cylindrical bodies are presented. The relations between geometrical and physical parameters of the induction pairs inductor/heat-treated body, and the electrotechnical parameters needed in dimensioning the electroenergetic set-ups were deduced. The emphasis in the investigation was given mainly to the low-frequency heating of the surface of big cylindrical bodies (0.4 to 0.9 m). The experimental set-up was constructed for the frequency 50 Hz. On the cylinders with diameters 0.4, 0.5 and 0.6 m were performed electrotechnical and thermal measurements, as well as the measurements of hardnesses across the cross section of the cylindrical body which was quenched after heating to the desired temperature.

Author's Abstract

UDK: 620.187.543.063

ASM/SLA: M21e, S11e

Scanning electron microscopy — Microanalysis

H. Kaker

Analysis of Errors Influencing the Accuracy of Non-Standard Method of the Energy Dispersion Microanalysis of Samples in SEM

Železarski zbornik 22 (1988) 1 S 7—12

The paper presents the analysis of errors influencing the accuracy of non-standard method of the energy dispersion microanalysis of samples in the scanning electron microscope. These errors originate in the instability of the system, in inaccurate setting of the accelerating voltage, in contamination in the electron optical column of SEM, in induction of internal parts of SEM sample chamber, in preparation of samples, in geometry, in inaccurate calibration of SEM, in poor statistics, in errors in treating the spectrum, in errors in calculating relative pure intensities of elements, and in the ZAF model itself.

Author's Abstract

СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 621.365.5

ASM/SLA: J2g, P11

Металлургия — индукционный нагрев

J. Bratina

Индукционный нагрев цилиндрических тел.

Železarski zbornik 22 (1988) 1 S 13—18

Рассмотрены физические основы индукционного нагрева цилиндрических тел из ферромагнитного вещества. Выполнены соотношения, которые связывают геометрические и вещественные параметры индукционного узла индуктор — нагревательное тело с электротехническими параметрами, необходимые для определения размер электротехнических устройств. Исследование было сосредоточено главным образом на низкочастотный нагрев поверхности больших цилиндрических тел (0,4 м до 0,9 м), экспериментальное же устройство было построено на частоту 50 гц. На цилиндрах с диаметрами \varnothing 0,4 м, \varnothing 0,5 м и \varnothing 0,6 м были выполнены электротехнические и термотехнические измерения, а также измерения полученных твердостей в глубину цилиндрического тела, которое после нагрева и при необходимой температуре закалено.

Авторыф.

UDK: 669.14.018.853.4.620.17.620.179.13

ASM/SLA: SS, T21b, Q27, 1-66, 3-70

Металлургия — стали для клапанов — механические свойства

I. Kos

Влияние исходного структурного и прочностного состояния сталей для клапанов на механические свойства при повышенных температурах.

Železarski zbornik 22 (1988) 1 C 1—6

В статье приведено сравнение механических свойств стали мартензитного класса для клапанов Č 4581 с аустенитной стали при повышенных температурах. Стали были испытаны в трёх различных исходных состояний. Температурный диапазон испытания для стали Č 4581 был между 500 и 800° С, а для стали Č 4870 между 400 и 850° С.

Авторыф.

UDK: 620.187.543.063

ASM/SLA: M21e, S11e

Растровая электронная микроскопия — микроанализ

H. Kaker

Анализ погрешностей, которые влияют на точность нестандартизованого метода дисперсионного микроанализа энергии образцов в растровой электронной микроскопии.

Železarski zbornik 22 (1988) 1 C 7—12

В статье приведён анализ погрешностей, которые оказывают влияние на точность нестандартизованого метода микроанализа образцов в растровом электронном микроскопе. Эти погрешности образуются вследствие неустойчивости системы как следствия неточной настройки ускоряющего напряжения, загрязнения в электронно-оптическом столбце РЭМ (Растр. Эл. Микр.), вследствие возбуждения внутренних частей камеры образцов РЭМ, приготовления образцов, вследствие их формы, вследствие неточной калибровки ЭДС, вследствие недостаточно усовершенствованной статистики, а также из-за погрешностей при обработке спектра, из-за погрешностей при вычислении относительных чистых элементарных интенсивностей и в самом ЗАФ модели.

Авторыф.