

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA	stran
Kaker Henrik — Železarna Ravne UPORABA ENERGIJSKO DISPERSIJSKEGA SPEKTROMETRA PRI PREISKAVI JEKEL	105
Kaker Henrik, A. Rodič, S. Petovar — Železarna Ravne PRIMERJAVA VKLJUČKOV V KLASIČNO IN VAKUUMSKO IZDELANEM JEKLU ZF 6	111
Brudar Božidar — Železarna Jesenice RAČUNANJE SIPANEGA MAGNETNEGA PO- LJA S POMOČJO METODE KONČNIH DIFE- RENC	117
Tehnične novice Kovačič Stanislav — Železarna Ravne LEGIRANI JEKLENI ODPADEK — VELIKO VREDNA SEKUNDARNA SUROVINA	123
Kos Ivan — Železarna Ravne VENTILSKA JEKLA	127

LETO 19 ŠT. 4 — 1985

ŽEZB BQ 19 (4) 105—132 (1985)



ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 19

LJUBLJANA

DECEMBER 1985

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
stran	Seite	Page	страница
H. Kaker Uporaba energijsko disperzijskega spektrometra pri preiskavi jekel UDK: 621.385.83.2 ASM/SLA: M 21 e, S 11 p	H. Kaker Anwendung des Energiedispersionsspektrometer bei der Untersuchung von Stahl UDK: 621.385.83.2 ASM/SLA M 21 e, S 11 p	H. Kaker Application of the Energy-Dispersion Spectrometer in Investigations of Steel UDK: 621.385.83.2 ASM/SLA: M 21 e, S 11 p	H. Kaker Применение энергетического дисперсионного спектрометра при исследовании сталей. UDK: 621.385.83.2 ASM/SLA: M 21 e, S 11 p
H. Kaker, A. Rodič, S. Petrovar Primerjava vključkov v klasično in vakuumsko izdelanem jeklu ZF 6 UDK: 610.186.14 ASM/SLA: M, 9-69	H. Kaker, A. Rodič, S. Petrovar Vergleich nichtmetallischer Einschlüsse in einem konventionell und unter Vakuum erzeugten Stahles ZF6 UDK: 610.186.14 ASM/SLA M, 9-69	H. Kaker, A. Rodič, S. Petrovar Comparison of Inclusions in Standard and in Vacuum-made ZF 6 Steel UDK: 610.186.14 ASM/SLA: M, 9-69	H. Kaker, A. Rodič, S. Petrovar Сравнение включений в стали марки CF 6 изготовленной классическим способом и в вакууме. UDK: 610.186.14 ASM/SLA: M, 9-69
B. Brudar — Železarna Jesenice Računanje sipanega magnetnega polja s pomočjo metode končnih diferenc UDK: 669.14.29:620.1 ASM/SLA: S 13 e	B. Brudar Magnetische Streuflüsse gerechnet nach der Methode der endlichen Differenzen UDK: 669.14.29:620.1 ASM/SLA: S 13 e	B. Brudar Magnetic Leakage Fields Calculated by the Method of Finite Differences UDK: 669.14.29:620.1 ASM/SLA: S 13 e	B. Brudar Вычисление рассеяния магнитного поля методом конечных разностей. UDK: 669.14.29:620.1 ASM/SLA: S 13 e
Tehnične novice	Technische Nachrichten	Technical News	Технические новости
123	123	123	123

Uporaba energijsko disperzijskega spektrometra pri preiskavah jekel

UDK: 621.385.83.2

ASM/SLA: M21e, S11p

Henrik Kaker

Članek obravnava osnovni princip delovanja in primere praktične uporabe energijsko disperzijskega spektrometra pri preiskavah jekel v raster elektronskem mikroskopu.

1. UVOD

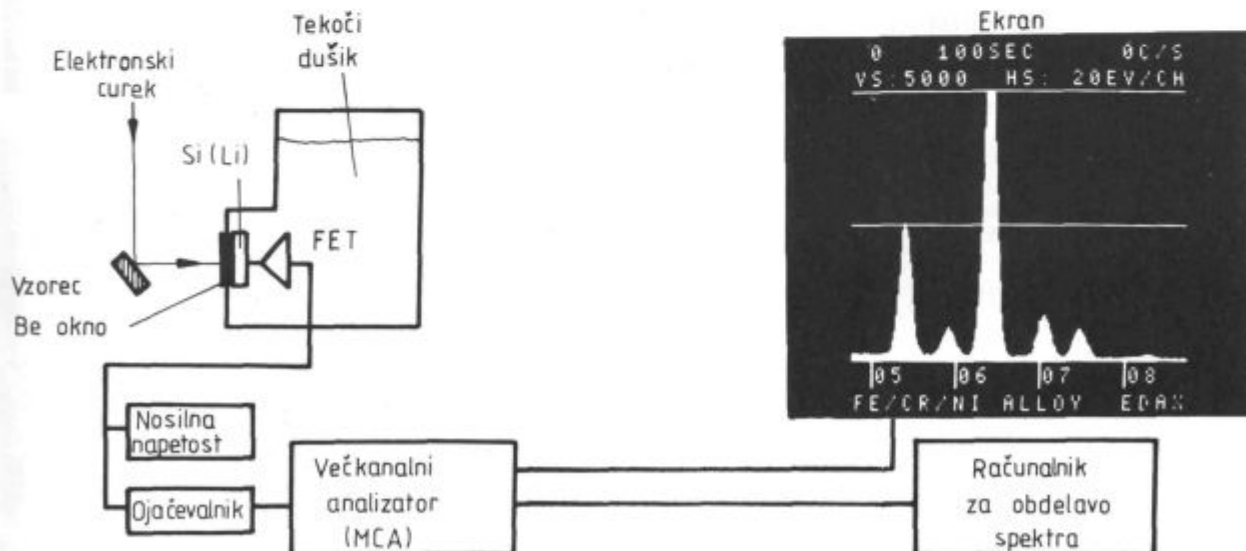
Mikrokemična analiza v raster elektronskem mikroskopu (REM) je lahko izvršena na dva načina, to je z valovno dolžinskim spektrometrom (WDS) in energijsko disperzijskim spektrometrom (EDS). Pri EDS je analiza izvršena z meritvijo energije in intenzitete rgt. žarkov, proizvedenih s fokusiranim elektronskim curkom pri interakciji elektronski curek — vzorec v REM-u. Začetki praktične EDS analize segajo v leto 1968, ko so Fitzgerald, Keil in Heinrich objavili članek, ki opisuje uporabo polprevodniškega silicijevega detektorja za detekcijo rgt. žarkov, proizvedenih v REM-u.

Zaradi svoje enostavnosti in sorazmerno hitre kvantitativne analize vseh prisotnih elementov v vzorcu (v nekaj minutah) se EDS danes mnogo uporablja za mikroanalizo kovinskih in nekovinskih faz v jeklih, analizo prelomnih površin, študij difuzijskih procesov, analizo različnih prevlek ter mikrokemično preiskavo kovinskih in nekovinskih vzorcev.

2. ENERGIJSKO DISPERZIJSKI SPEKTROMETER

Slika 1 prikazuje osnovni princip delovanja EDS

Proizvedeni rgt. žarki vstopajo skozi tanko Be okno in v detektor. Be okno (običajno debeline 6,0–15 μm) služi za zaščito detektorja pred kontaminacijo iz notranjo-



Slika 1
Energy-dispersive spectrometer
Fig. 1
Energy-dispersion spectrometer

sti REM-a. Detektor je Si kristal z difundiranimi Li atomi, ki so potrebni zato, da zapolnijo nepopolnosti v Si kristalni mreži. Vsak vstopajoči rtg. žarek se absorbira nedaleč pod površino Si kristala in ionizira silicijeve atome.

Nastane plaz fotoelektronov, ki ionizirajo ostale silicijeve atome in dvignejo elektrone iz valenčnega v prevodni pas. Vsak tak slučajnosti akt zahteva ~3,7 eV, tako da je celotno število zbranih elektronov linearno proporcionalno energiji vstopajočega rtg. žarka. Naboj se zbere z dovedeno nosilno napetostjo (običajno -500 ali -750 V), preden naslednji rtg. žarek vstopi v detektor. Detektor obratuje stalno pri temperaturi tekočega dušika (-195°C), to pa zaradi tega, da se zmanjša šum, omogoči točna meritev izredno nizkih tokov in prepreči difuzija litijevih atomov iz silicijevega kristala. Ker je zbrani naboj na detektorju izredno majhen - z vsakim rtg. žarkom se proizvede samo nekaj sto ali tisoč elektronov (npr.: Na rtg. žarek daje samo nekaj sto elektronov, Ni rtg. žarek pa približno 2000 elektronov) - se mora nadalje ojačati s FET predojačevalnikom (FET - field effect transistor), katerega izhod je stopničasta napetost; višina vsake stopnice je proporcionalna energiji rtg. žarkov. Izhod iz FET se nadalje obdela v ojačevalniku, katerega izhod je serija pulzov. Vsak pulz je dolg nekaj mikrosekund in njegova višina je proporcionalna energiji rtg. žarka. Signal iz ojačevalnika je nato voden v večkanalni analizator (MCA), kjer se signali sortirajo po višini, in s tem po energiji ter shranijo v spekter, ki je nato predstavljen na ekranu in se nadalje obdeluje s pomočjo računalnika.

Spektralna ločljivost EDS je definirana kot FWHM, to je polna širina vrha v spektru v točki, v kateri je polovica maksimalne višine vrha nad ozadjem. Običajno se FWHM EDS določuje na MnK α vrhu (5.894 keV) in FWHM vrha v spektru je definiran kot:

$$FWHM = \sqrt{R^2 + 2.735 (E - 5894)} \quad (1)$$

FWHM - spektralna ločljivost vrha v eV
R - FWHM na MnK α vrhu v eV
E - energija vrha v eV

Običajne vrednosti FWHM pri EDS ležijo v območju 145-170 eV.

Velika prednost EDS je v tem, da nima gibajočih se delov in so potrebni minimalni pogoji fokusiranja. Praktični izkoristek EDS je okrog 100% v območju 3-20 keV. Območje detekcije je od Na (Z=11) do U (Z=92). Seveda pa je možna tudi detekcija lahkih elementov (C, N, O) s specialno konstruiranimi EDS detektorji (t. i. ECON detektorji). Kompletna identifikacija karakterističnih vrhov v spektru, odštevanje ozadja in prekrivajočih vrhov, dobivanje čistih intenzitet, K - razmerij in kvantitativnih rezultatov od vseh prisotnih elementov v vzorcu je izvršena v nekaj minutah. Slaba stran EDS pa je, da mora biti stalno podhlajen s tekočim dušikom (tudi takrat, kadar ne obratuje) in nizka spektralna ločljivost (~150 eV) v primerjavi z WDS (10-15 eV). Praktična limita analize je okrog 500-1000 ppm.

Vsi moderni EDS imajo vgrajeno korekturo za mrtvi čas in kopičenje pulzov (»pulse-pile up«). Kopičenje pulzov se pojavi, kadar je čas sprejema med dvema pulzoma enak obratovalnemu času ojačevalca. Rezultat je odštevanje pulzov od njihovih ustreznih kanalov in dodajanje v kanale z višjo energijo. Mrtvi čas sistema je čas, v katerem sistem dejansko obdeluje pulze in takrat ne sprejema novih pulzov.

Običajni načini analize z EDS so površinska analiza, linijska analiza, točkasta analiza in rtg. porazdelitvene slike posameznih elementov v vzorcu.

Kvantitativna EDS analiza se lahko izvrši na tri načine, in sicer:

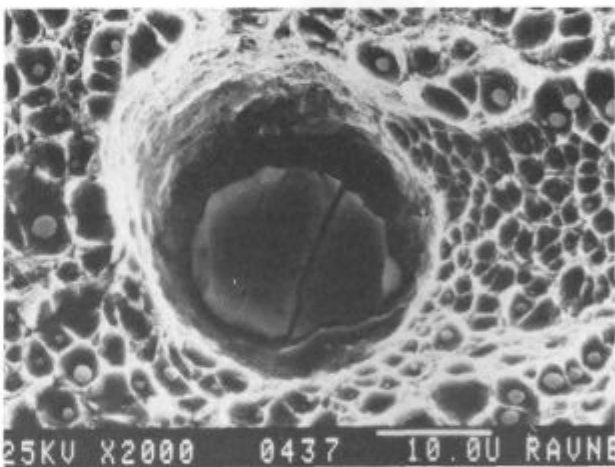
- a) z uporabo čistih elementnih standardov,
- b) z uporabo datoteke spektrov od čistih elementnih standardov,
- c) z nestandardno metodo (to je z matematičnim izračunom čistih elementnih intenzitet).

Dandanašnji razvoj tehnologije silicijevih polprevodniških detektorjev kaže, da je bilo pri razvoju EDS dosežen plato. Nadaljnje izboljšanje v njihovi uporabi bo v glavnem v zmanjševanju šuma na nizko energijski strani spektra in v znatnem razvoju programske opreme (software) za obdelavo spektra, pa tudi v zamenjavi tekočega dušika z ostalimi snovmi, kot je npr. živosrebrni jodid.

3. PRAKTIČNI PRIMERI UPORABE

a) Analiza izločkov na prelomnih površinah

Preiskovali smo prelomno površino jekla z 0,34% C, 0,010% S, 0,29% Si, 1,29% Cr, 3,08% Ni, 0,17% V, 0,09% Co, 0,006% Al, 0,17% Cu, 0,31% Mn, 0,40% Mo, 0,06% F in 0,012% Sn. Vzorci so bili lomljeni v laboratoriju s stiskalnico pri sobni temperaturi.



Slika 2
Duktilni prelom, 2000 x
Fig. 2
Ductile fracture, magn. 2000 x

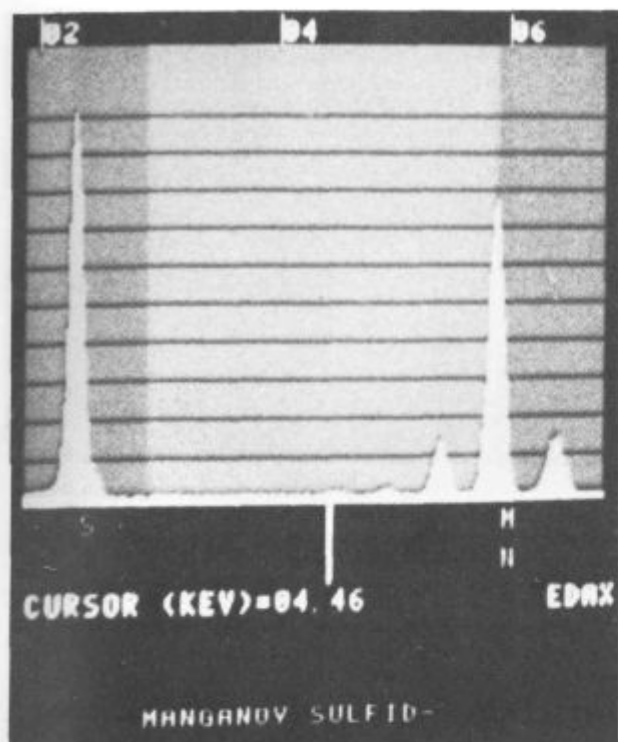
Slika 2 prikazuje tipičen videz prelomne površine; to je duktilen prelom z izločki v sferičnih duktilnih jamicah. Izločke v duktilnih jamicah smo identificirali z EDS z načinom točkaste analize kot evtektične mangrove sulfide.

Slika 3 prikazuje EDS spekter vključka manganovega sulfida.

b) Analiza žlinder

Z REM in EDS smo preiskovali vzorce jeklarske žlindre iz elektroobločne peči pri izdelavi jekla Č4563 (Ravnin 4). Sestava jekla ob jemanju žlindre je bila: 0,14% C, 0,02% S, 19,2% Cr, 78,1% Ni, 0,01% P in 2,53% Fe. Vzorce žlindre smo pripravili na klasičen metalografski način, na koncu smo na njihovo površino neparili tanek sloj ogljika zaradi prevodnosti.

Slike 4, 5 in 6 prikazujejo mikrostrukturo žlindre in so bile posnete z uporabo sekundarnih elektronov.

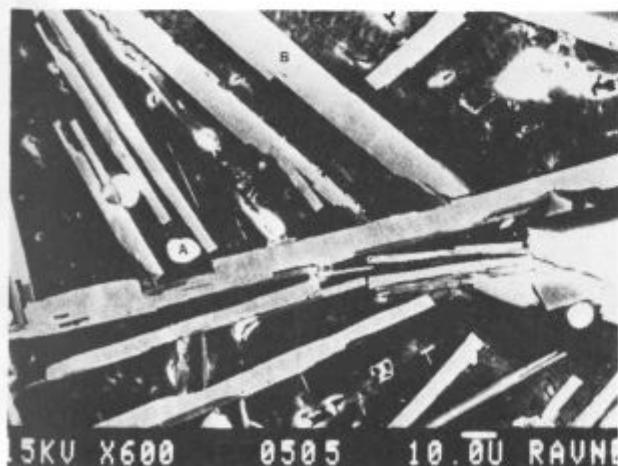


Slika 3
EDS spekter MnS (faza A)
Fig. 3
EDS spectrum of MnS (phase A)

Posamezne faze na slikah 4, 5 in 6 smo analizirali s točkasto EDS analizo in povprečni rezultati petih analiz so prikazani v tabeli 1.

Tabela 1: EDS analiza faz v žilindri

Faza	utežni %							
	Al	Si	P	S	Ca	Cr	Ni	Fe
A	—	—	—	—	—	42,50	56,97	1,54
B	5,29	0,58	1,45	0,34	21,99	65,90	1,04	—
C	57,90	2,56	—	0,91	35,59	1,09	1,12	—
D	25,39	6,66	0,45	—	66,31	0,90	—	0,58



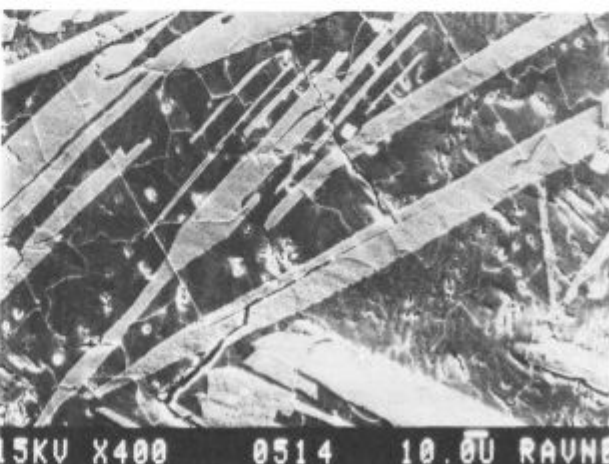
Slika 4
Mikrostruktura žilindre, 600 ×
Fig. 4
Microstructure of slag, magn. 600 ×.



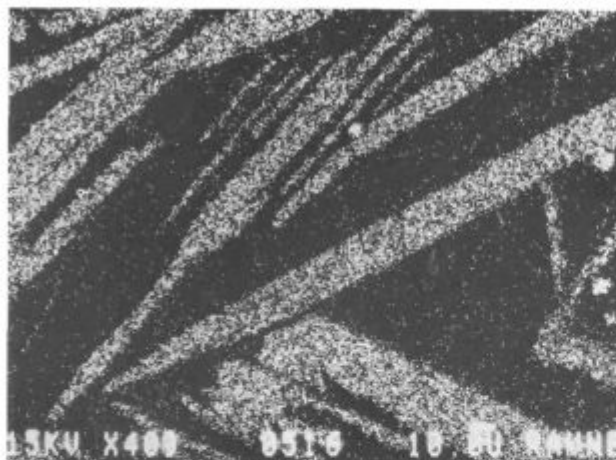
Slika 5
Mikrostruktura žilindre, 200 ×
Fig. 5
Microstructure of slag, magn. 200 ×.



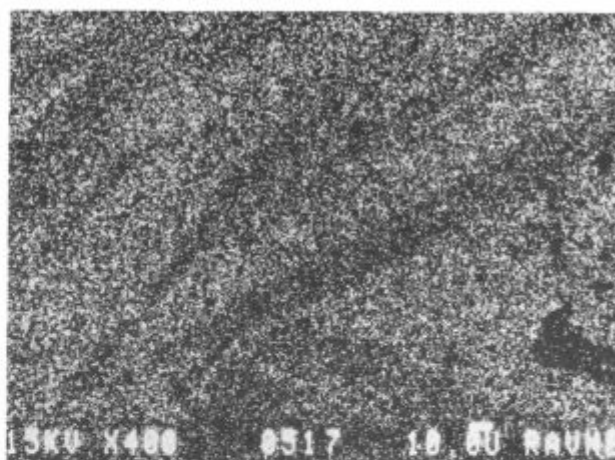
Slika 6
Mikrostruktura žilindre, 600 ×
Fig. 6
Microstructure of slag, magn. 600 ×.



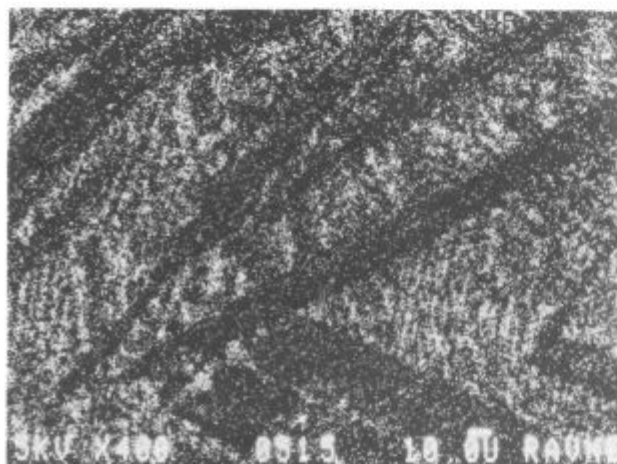
Slika 7
Mikrostruktura žilindre, 400 ×
Fig. 7
Microstructure of slag, magn. 400 ×.



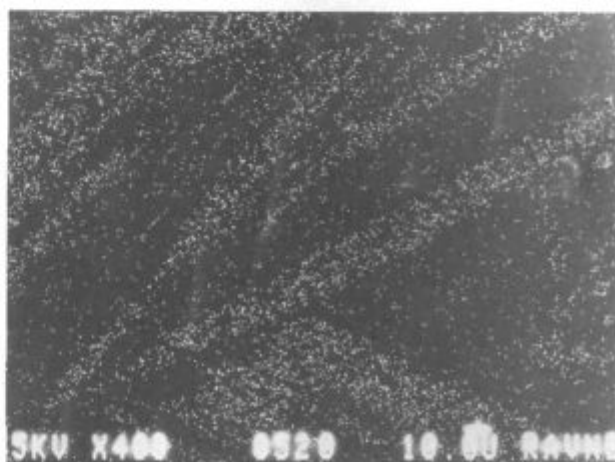
Slika 8
Porazdelitev CrK α , 400 \times
Fig. 8
Distribution of Cr K α , magn. 400 \times



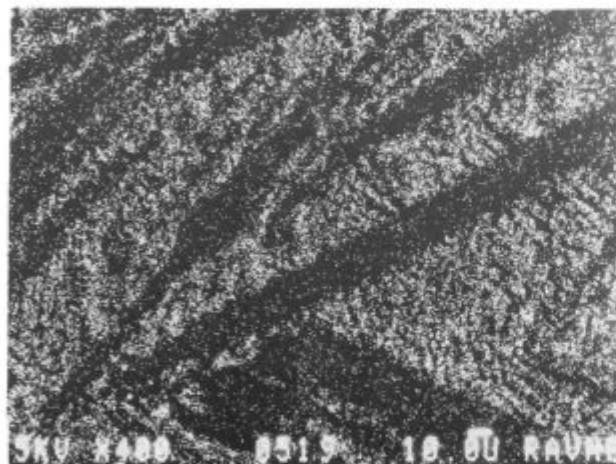
Slika 11
Porazdelitev CaK α , 400 \times
Fig. 11
Distribution of Ca K α , magn. 400 \times



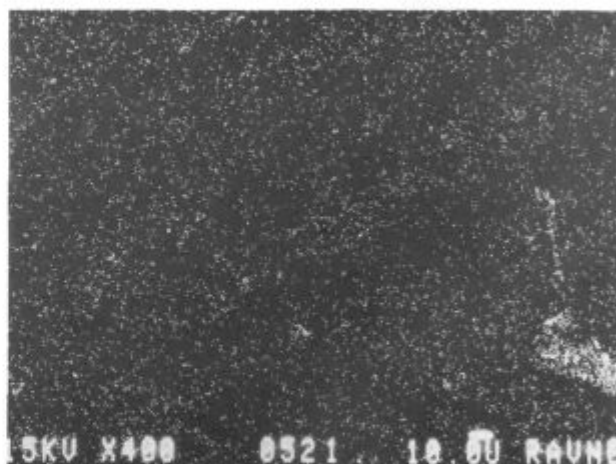
Slika 9
Porazdelitev SiK α , 400 \times
Fig. 9
Distribution of Si K α , magn. 400 \times



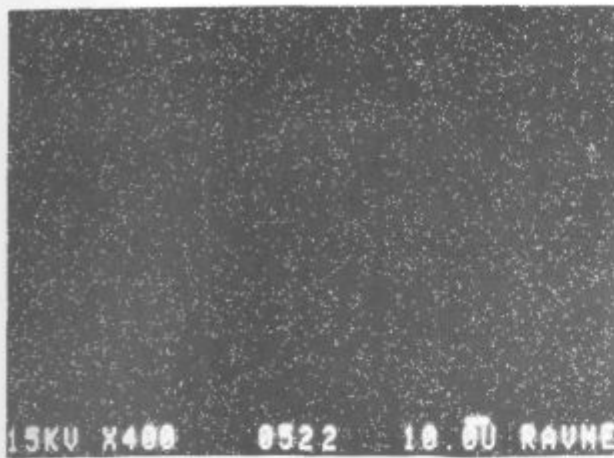
Slika 12
Porazdelitev MnK α , 400 \times
Fig. 12
Distribution of Mn K α , magn. 400 \times



Slika 10
Porazdelitev AlK α , 400 \times
Fig. 10
Distribution of Al K α , magn. 400 \times

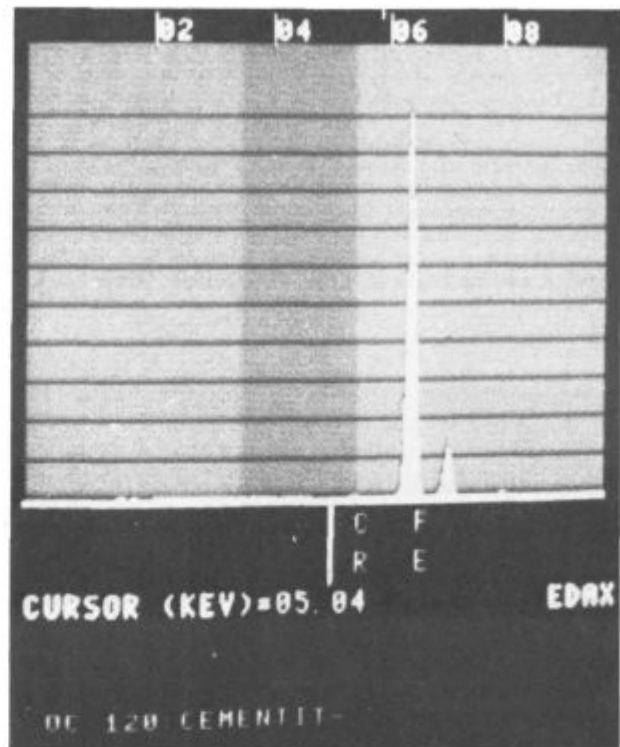


Slika 13
Porazdelitev MgK α , 400 \times
Fig. 13
Distribution of Mg K α , magn. 400 \times



Slika 14
Porazdelitev FeK α , 400 \times
Fig. 14
Distribution of Fe K α , magn. 400 \times

Nadalje smo na vzorcu posneli še rentgenske porazdelitvene slike za krom, silicij, aluminij, kalcij, mangan, magnezij in železo, ki prikazujejo porazdelitev posameznih elementov v vzorcu.



Slika 16
EDS spekter Fe $_3$ C
Fig. 16
EDS spectrum of Fe $_3$ C

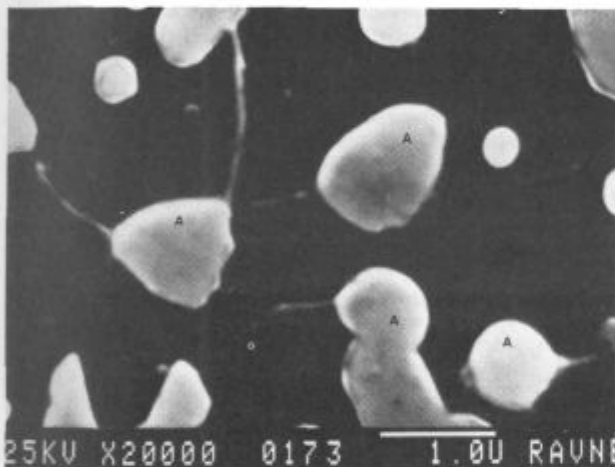
4. SKLEPI

Namen tega članka je bil informacija o osnovnem principu delovanja energijsko disperzijskega spektrometra pri preiskavah v raster elektronskem mikroskopu.

Obravnavani so praktični primeri uporabe EDS pri preiskavi prelomne površine jekla, jeklarske žindre in mikrostrukture jekla.

5. Literatura

1. Modern X-ray analysis III. EDAX International Inc., 1975, stran 3—13.
2. Kevex, Digital Imaging Software, 1984.
3. Kevex Analyst, No. 7, 1984, stran 3—8.
4. Kurt F. J. Heinrich: »Solid state detectors for X-ray spectrometry in electron microscopes«. 8. evropski kongres o elektronski mikroskopiji, 1984, Budimpešta, Vol. I, stran 364—367.
5. D. R. Beaman, J. A. Isasi: Electron beam microanalysis, ASTM STP 506, 1972, stran 14—16.
6. J. I. Goldstein, H. Yakowitz: Practical scanning electron microscopy, Plenum Press, New York—London, 1977, stran 274—277.



Slika 15
Mikrostruktura Č1943, 20 000 \times
Fig. 15
Microstructure of Č 1943 steel, magn. 20,000 \times .

c) Identifikacija faz v jeklih

Slika 15 prikazuje mikrostrukturo jekla Č1943 (OC 120) s krogličastim perlitom. Faza A je bila identificirana kot Fe $_3$ C in slika 16 prikazuje njen EDS spekter.

ZUSAMMENFASSUNG

Mikrochemische Analyse im Rasterelektronenmikroskop (REM) kann auf zwei verschiedene Weisen durchgeführt werden und zwar mit der Energiedispersiven Röntgenanalyse (EDS) und der Wellenlängedispersiven Röntgenanalyse (WDS). Bei EDS wird die Analyse durch die Messung der Intensität und Energie der Röntgenstrahlen, erzeugt im REM mit dem Elektronenstrahl durchgeführt. Für die Detektion der Röntgenstrahlen wird Si (Li) Halbleiter Detektor angewendet. Die gesammelte Ladung am Detektor wird mit dem Rechner bearbeitet und am Ekran als Spekter dargestellt. Wegen seiner

Einfachheit und der schnellen quantitativen Analyse wird EDS heute viel bei der Mikroanalyse der metallischen und nichtmetallischen Proben im REM angewendet. Auch praktische Beispiele der Anwendung von EDS bei der Analyse eines duktilen Bruches von Stahl mit 0,34 % C, 0,010 % S, 0,29 % Si, 1,23 % Cr, 3,08 % Ni, 0,1 % V, 0,09 % Co, 0,006 % Al, 0,17 % Cu, 0,31 % Mn, 0,40 % Mo, 0,06 % P und 0,012 % Sn, der Stahlschlacke bei der Erzeugung von Stahl Č 4563 und des Mikrogefüges von Stahl Č 1043 werden angegeben.

SUMMARY

The microchemical analysis in the scanning microscope can be made in two ways, i. e. by a wave-dispersion spectrometer, or energydispersion spectrometer. With the EDS the analysis is made by measuring the intensity and the energy of X-rays produced in the scanning microscope by the electron beam. The X-rays are detected by the Si (Li) semiconducting detector. The collected charge on the detector is treated by the computer and it is presented on the display in form of spectrum. Due to its simplicity and fast quantitative analysis the

EDS is today much used in microanalysis of metallic and nonmetallic samples by the scanning microscope. Given are practical examples of application of the EDS in the analysis of ductile fracture of steel with 0,34 % C, 0,010 % S, 0,29 % Si, 1,23 % Cr, 3,08 % Ni, 0,17 % V, 0,09 % Co, 0,006 % Al, 0,17 % Cu, 0,31 % Mn, 0,40 % Mo, 0,06 % P and 0,012 % Sn, of a steel-making slag in manufacturing Č 4563 steel, and of the microstructure of Č 1943 steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микрохимический анализ в растерном электронном микроскопе (REM) можно выполнить двойным способом, а именно: с спектрометром измерения длины волны (WDS) и энергетическим дисперсионным спектрометром (EDS). При EDS анализ выполняется измерением интенсивности и энергии рентгеновых лучей, которые образовались в растерном электронном микроскопе (REM) с струей электронов. Для индикации рентгеновых лучей употребляется полупроводниковый детектор (Si(Li)). На детекторе собранный заряд обрабатывается с счётчиком, который на экране появляется в виде спектра. Вследствии

своей простоты и быстрого количественного анализа EDS употребляется теперь часто при выполнении микроанализа металлических и неметаллических включений образцов в растерном электронном микроскопе (REM). Приведены также практические примеры употребления EDS при анализе ковкого излома стали с 0,34 % C, 0,010 % S, 0,29 % Si, 1,23 % Cr, 3,08 % Ni, 0,17 % V, 0,09 % Co, 0,006 % Al, 0,17 % Cu, 0,31 % Mn, 0,40 % Mo, 0,06 % P и 0,012 % Sn, также анализа шлака при изготовлении стали марки Č-4563 и микроструктуры стали марки Č-1943.

Primerjava vključkov v klasično in vakuumsko izdelanem jeklu ZF 6

UDK: 610.186.14
ASM/SLA: M, 9-69

H. Kaker, A. Rodič, S. Petovar

Članek obravnava primerjavo nekovinskih vključkov med klasično in vakuumsko izdelanem jeklu za cementacijo z 0,15–0,19 % C, 1,01–1,16 % Mn, 0,85–1,15 % Cr in 0,001–0,004 % B. Preiskava nekovinskih vključkov je bila izvršena z OM, REM, EDS in analizatorjem za kvantitativno analizo slike na zlomljenih »ušesih« preizkušancev za ZF metodo preizkušanja žilavosti cementiranih materialov.

1. UVOD

Obdelava tekočega jekla s sredstvi za odžveplanje in dezoksidacijo zapusti v jeklu formirane nekovinske vključke, ki znatno vplivajo na lastnosti izdelanega jekla. Namen te preiskave je bil ugotoviti, ali obstaja kakšna razlika med velikostjo in vrsto nekovinskih vključkov v jeklu, izdelanem po klasični in vakuumski tehnologiji. Identifikacijo in kvantitativno meritev nekovinskih vključkov smo izvršili z optično mikroskopijo (OM), rastersko elektronsko mikroskopijo (REM), energijsko disperzijskim rentgenskim spektrometrom (EDS) in analizatorjem za kvantitativno analizo slike.

2. ZNAČILNOSTI IZDELAVE JEKLA ZF 6

2.1 Izdelava jekla po klasični EOP tehnologiji:

Po raztopitvi in oksidaciji taline s plinastim kisikom ter izkuhavanju odstranimo oksidacijsko žlindro. Na golo kopel dodamo Al, SiMn in sintetično žlindro. Končno legiranje izvršimo tik pred prebodom. V ponovco dodamo še FeSi in Al, v curek pa CaSi in FeB.

2.2 Izdelava jekla po EOP-VAD tehnologiji:

Talino v EOP oksidiramo, razfosforimo ter jo vlijemo v transportno ponovco. Na dno ponovce dodamo Al. Talino nato prelijemo v rafinacijsko ponovco, žlindro pa zadržimo. Med prelivanjem izvršimo še legiranje s Cr, Mn, Si in B. Nato talino obdelujemo v vakuumu z Ar na VAD (Vacuum Argon Degazing) napravi ter na koncu izvršimo še potrebno dolegiranje.

3. EKSPERIMENTALNI POSTOPEK

Za primerjavo vrste in velikosti nekovinskih vključkov v jeklu, izdelanem po klasični in vakuumski tehnologiji, smo uporabili vzorce jekla ZF 6 iz redne proizvodnje ŽR (osem vzorcev za vsako tehnologijo). Kemična sestava preiskovanih vzorcev se je gibala v območju 0,15–0,19 % C, 0,018–0,030 % S, 0,23–0,29 % Si, 0,08–0,28 % Ni, 0,85–1,15 % Cr, 0,10–0,27 % Cu,

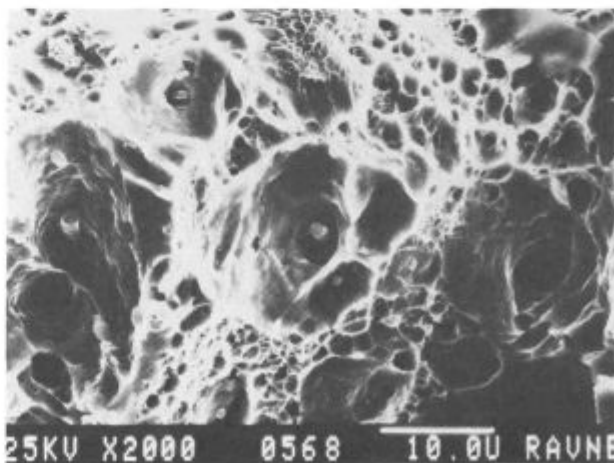
1,01–1,16 % Mn, 0,01–0,08 % Mo, 0,011–0,022 % P, 0,011–0,035 % Sn, 0,015–0,043 % Al in 0,001–0,004 % B. V preiskavi smo uporabili zlomljena »ušesa« preizkušancev za določevanje žilavosti po ZF metodi. S to metodo se preiskujejo cementirani materiali – določuje se potrebna sila za zlom preizkušanca v odvisnosti od časa. Eksperimentalni postopek smo razdelili na dva dela:

1. Preiskava nekovinskih vključkov na prelomnih površinah zlomljenih »ušes« ZF preizkušancev. Identifikacijo nekovinskih vključkov smo izvršili z REM in EDS.

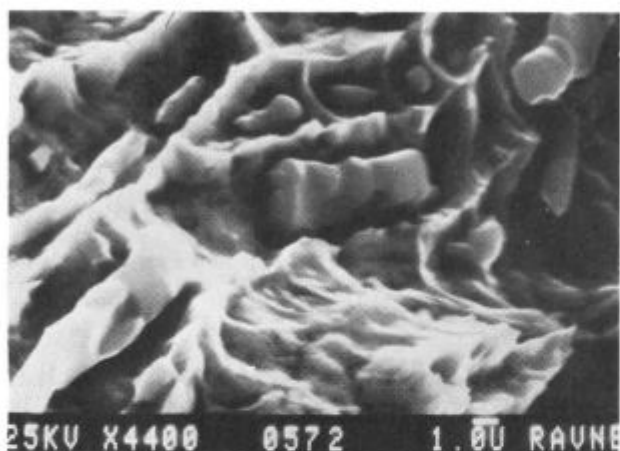
2. Preiskava nekovinskih vključkov na poliranih vzdolžnih obrusih, izdelanih iz »ušes« zlomljenih ZF preizkušancev. Preiskavo smo izvršili z OM, REM, EDS in analizatorjem za kvantitativno analizo slike JEOL – MPA (Micro Particle Analyser).

4. PREISKAVA PRELOMNIH POVRŠIN

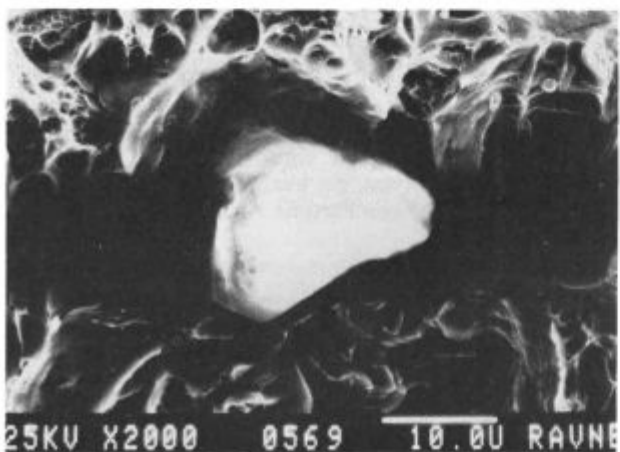
Vključke na prelomnih površinah smo preiskovali z REM in jih mikrokemično analizirali z EDS. Glavni tip nekovinskih vključkov na vseh prelomnih površinah so bili manganovi sulfidi, kalcijevi aluminati in vključki, bogati s titanom (tj. pri dveh vakuumskih šaržah, pri katerih je bil dodan FeTi). Preiskava je tudi pokazala, da na prelomnih površinah ni nobene razlike glede vrste nekovinskih vključkov med obema tehnologijama. Slike 1 do 4 prikazujejo tipične nekovinske vključke na prelomnih površinah preiskovanih vzorcev.



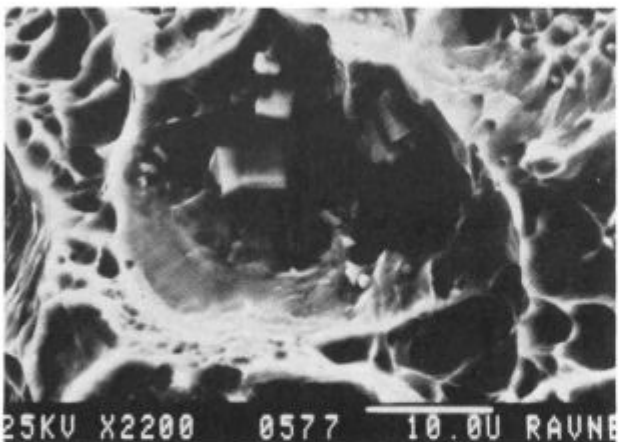
Slika 1
MnS vključki, posneto s sekundarnimi elektroni, pov. 2000 ×
Fig. 1
MnS inclusions, taken with secondary electrons, magn. 2000 ×.



Slika 2
MnS vključki, posneto s sekundarnimi elektroni, pov. 4400 ×
Fig. 2
MnS inclusions, taken with secondary electrons, magn. 4400 ×.



Slika 3
Vključek, bogat z Al, posneto s sekundarnimi elektroni, pov. 2000 ×
Fig. 3
Inclusion rich in Al, taken with secondary electrons, magn. 2000 ×.



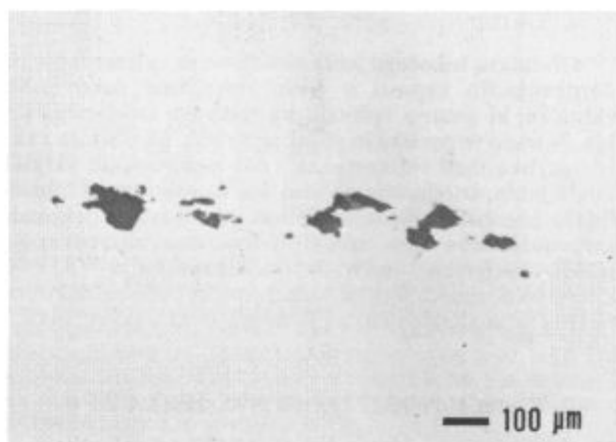
Slika 4
Vključek bogat s Ti, posneto s sekundarnimi elektroni, pov. 2200 ×
Fig. 4
Inclusion rich in Ti, taken with secondary electrons, magn. 2200 ×.

5. PREISKAVA METALOGRAFSKIH OBRUSOV

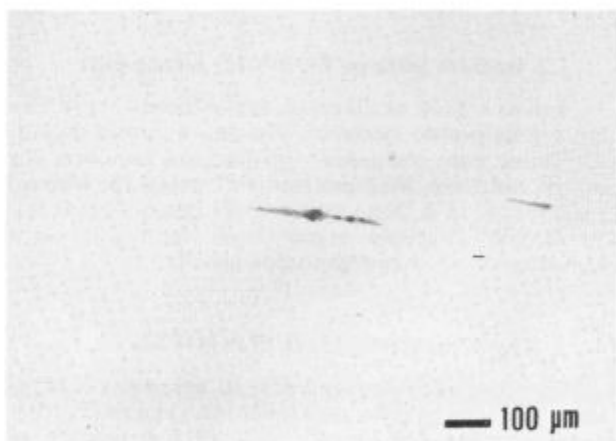
5.1 Z optično mikroskopijo

Vključke smo z OM ocenjevali po primerjalni tabeli JK (Jeren Kontoret) na 30 vidnih poljih. Vsebnost vključkov v jeklu je razmeroma visoka in analiza je pokazala, da ni bistvenih razlik med obema tehnologijama. Rečemo lahko, da so vakuumske šarže glede nekovinskih vključkov nekoliko boljše, ker so vključki oksidnega tipa; to so aluminati in globularni oksidi finejši in smo jih ocenjevali v 80 % po JK skali za finejše vključke, medtem ko so imele šarže, izdelane na klasičen način, 60 % oceno po JK skali za grobe vključke. Sulfidni vključki so imeli podobno razporeditev, to je dolžino in debelino, ne glede na tehnologijo izdelave. Opazili smo tudi sulfidne vključke ob prekinjenih aluminatnih trakovih, kot je prikazano na sliki 5. V mnogih primerih pa so bili aluminatni vključki v sulfidnem traku, kot je prikazano na sliki 6.

Tabela 1 kaže povprečne rezultate ocene nekovinskih vključkov po primerjalni metodi JK.



Slika 5
Sulfidni vključki ob aluminatnih trakovih, pov. 100 ×
Fig. 5
Sulphide inclusions along aluminate bands, magn. 100 ×.



Slika 6
Aluminatni vključki v sulfidnem traku, pov. 100 ×
Fig. 6
Aluminate inclusions in sulphide band, magn. 100 ×.

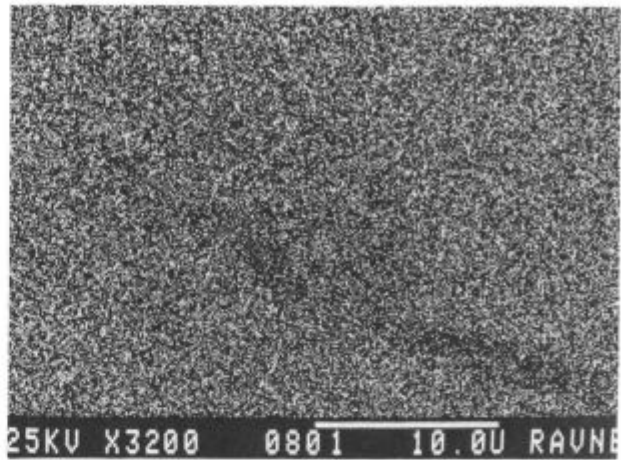
Tabela 1

	Sulfidni vključki A	Alumi- natni vključki B	Silikatni vključki C	Globularni oksidni vključki D	A+B+ C+D	B+C+D
Klasične šarže	1,70	0,41	—	0,99	3,11	1,38
Vakuu- ske šarže	1,47	0,36	—	0,96	2,97	1,20

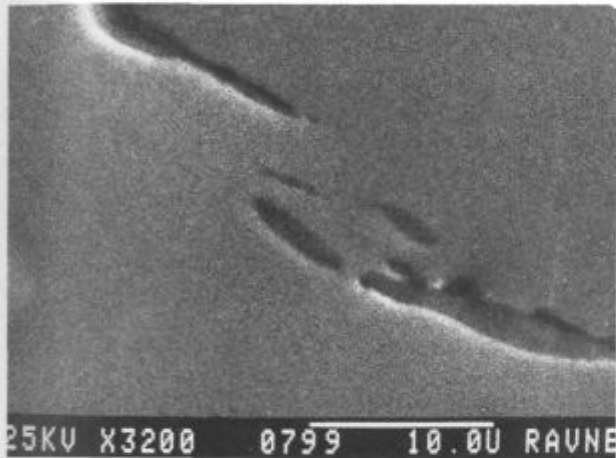
5.2 Preiskava z REM, EDS in analizatorjem slike

Slike 7—16 prikazujejo tipične vključke v preiskovanih vzorcih. Slika 7 prikazuje vključke manganovega sulfida, slike 8, 9 in 10 pa porazdelitev S, Fe in Mn. Slika 11 prikazuje Ca-Al vključek, slike 12, 13, 14 in 15 pa porazdelitev S, Ca, Al in Fe v vključku. Slika 16 prikazuje vključka, bogata s Ti.

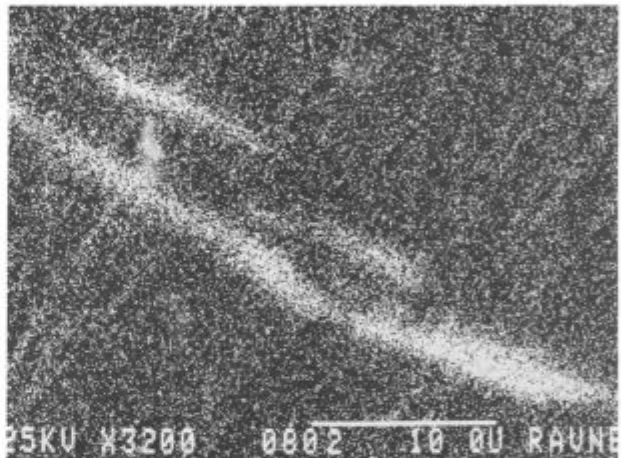
Na preiskovanih vzorcih smo izvršili tudi kvantitativno meritev površine individualnih vključkov s kombinacijo REM — MPA. Na vsakem vzorcu smo analizirali



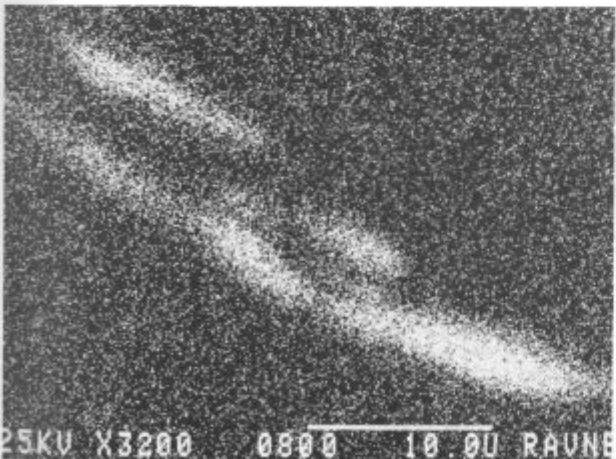
Slika 9
Porazdelitev Fe K α , pov. 3200 \times
Fig. 9
Distribution of Fe K α , magn. 3200 \times .



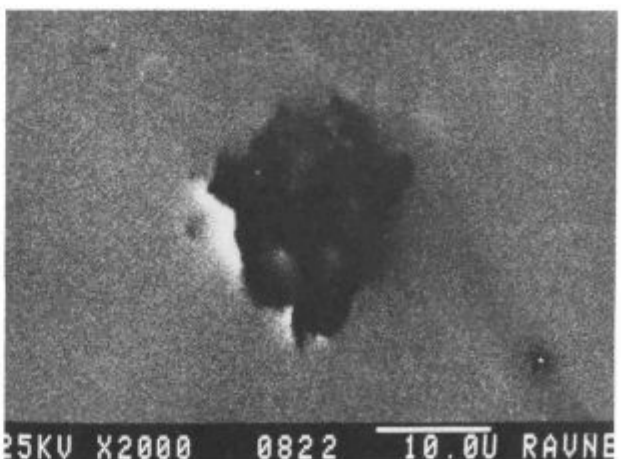
Slika 7
MnS vključek, posneto z odbitimi elektroni, pov. 3200 \times
Fig. 7
MnS inclusion, taken with reflected electrons, magn. 3200 \times .



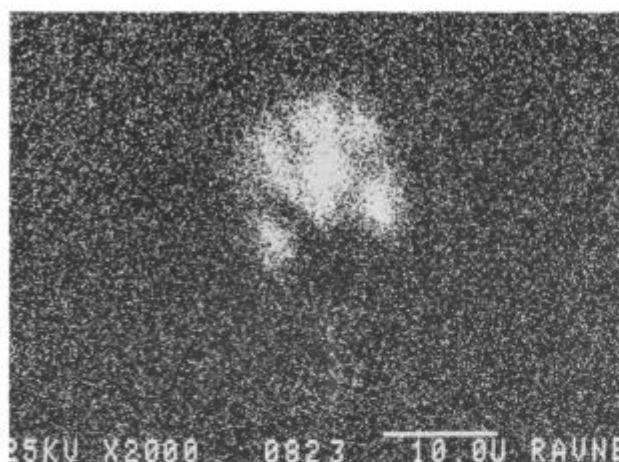
Slika 10
Porazdelitev Mn K α , pov. 3200 \times
Fig. 10
Distribution of Mn K α , magn. 3200 \times .



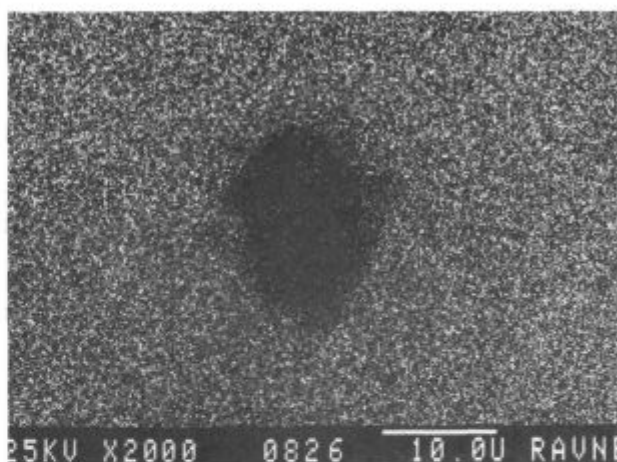
Slika 8
Porazdelitev S K α , pov. 3200 \times
Fig. 8
Distribution of S K α , magn. 3200 \times .



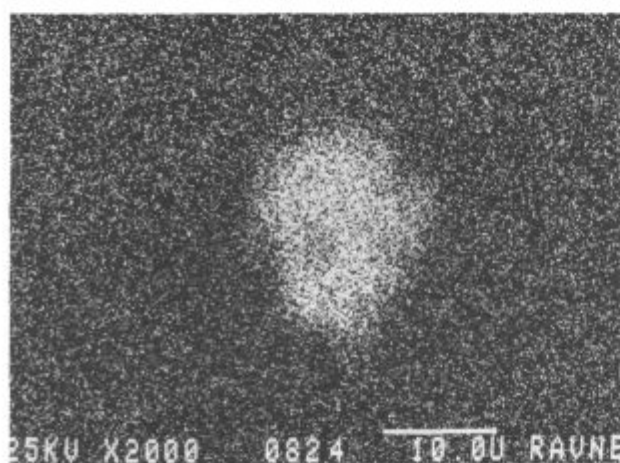
Slika 11
Ca-Al vključek, posneto z odbitimi elektroni, pov. 2000 \times
Fig. 11
Ca-Al inclusion, taken with reflected electrons, magn. 2000 \times .



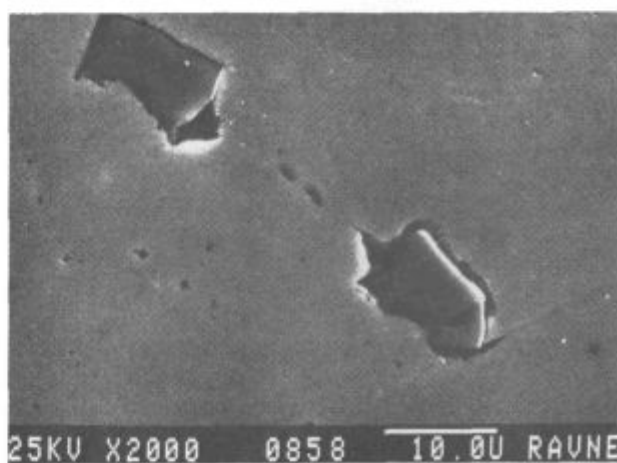
Slika 12
Porazdelitev S K α , pov. 2000 \times
Fig. 12
Distribution of S K α , magn. 2000 \times .



Slika 15
Porazdelitev Fe K α , pov. 2000 \times
Fig. 15
Distribution of Fe K α , magn. 2000 \times .



Slika 13
Porazdelitev Ca K α , pov. 2000 \times
Fig. 13
Distribution of Ca K α , magn. 2000 \times .



Slika 16
Vključka, bogata s Ti, posneta s sekundarnimi elektroni,
pov. 2000 \times
Fig. 16
Inclusions rich in Ti, taken with secondary electrons,
magn. 2000 \times .



Slika 14
Porazdelitev Al K α , pov. 2000 \times
Fig. 14
Distribution of Al K α , magn. 2000 \times .

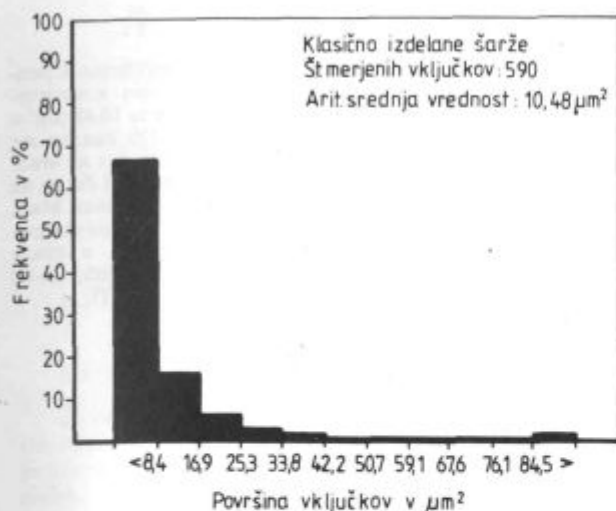
li nekovinske vključke v 10 merjenih poljih. Rezultati kvantitativne meritve površine vključkov so prikazani histogramsko na slikah 17 in 18.

6. SKLEPI

Iz opravljenih OM, REM in EDS preiskav na prelomnih površinah in metalografskih obrusih lahko sklenemo naslednje:

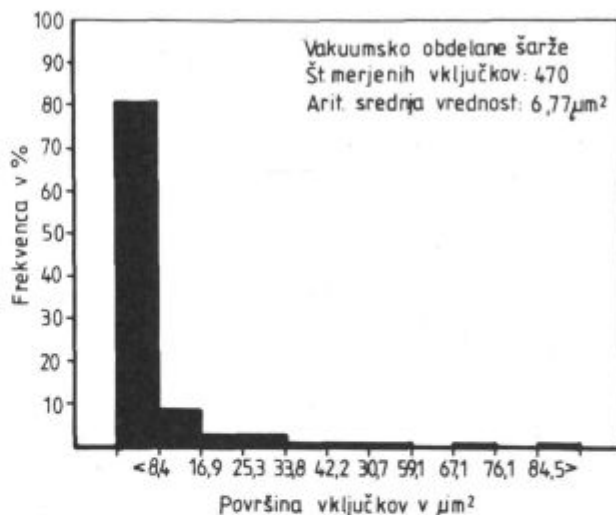
1. Rezultati analize vključkov kažejo, da je povprečna velikost preiskovanih vključkov pri klasično izdelanih šaržah $10,48 \mu\text{m}^2$ in pri vakuumsko obdelanih šaržah $6,77 \mu\text{m}^2$. Iz histograma porazdelitve vključkov vidimo, da ne nastopa bistvena razlika v porazdelitvi nekovinskih vključkov po obeh tehnologijah.

2. EDS analiza vključkov je pokazala, da so glavni tip vključkov manganovi sulfidi. Iz 117 opravljenih EDS meritev pri klasičnih šaržah vidimo, da imamo



Slika 17
Porazdelitev nekovinskih vključkov pri klasično izdelanih šaržah

Fig. 17
Distribution of nonmetallic inclusions in standard made melts.



Slika 18
Porazdelitev nekovinskih vključkov pri vakuumsko izdelanih šaržah

Fig. 18
Distribution of nonmetallic inclusions in vacuum made melts.

70,9 % MnS, iz 117 EDS meritev pri vakuumskih šaržah pa imamo 58,9 % MnS.

3. Pomembnost nastopanja v jeklu je prikazana v naslednjem vrstnem redu: MnS, Ca-Al vključki, Al₂O₃, MnS, FeO.MnO in Ti vključki.

Literatura

1. Raziskovalna naloga R-8410: Primerjava velikosti, vrste in razporeditev vključkov med klasično in vakuumsko izdelano šaržo, interna dokumentacija ŽR.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Artikel wird ein Vergleich nichtmetallischer Einschlüsse zwischen dem konventionell und unter Vakuum erzeugten Einsatzstahles mit 0,15–0,19 % C, 1,01–1,16 % Mn, 0,85–1,15 % Cr und 0,001–0,004 % B gegeben. Die Untersuchung nichtmetallischer Einschlüsse ist durch die OM, REM, EDS und dem Analysator für die quantitative Bildanalyse von Bruchflächen der Proben für die ZF Prüfmethode der Zähigkeit einsatzgehärteter Stähle durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen auf keinen wesentlichen Unterschied in der Verteilung nichtmetallischer Einschlüsse zwischen den beiden Technologien. Durchschnittliche Grösse der

untersuchten Einschlüsse bei den konventionell erzeugten Schmelzen ist 10,48 μm² und bei den im Vakuum erzeugten Schmelzen 6,77 μm². Die EDS Analyse hat gezeigt, dass die Mangansulfide den Haupttyp der Einschlüsse darstellen. Aus den 117 durchgeführten EDS Messungen bei den konventionell erzeugten Stählen ist zu entnehmen, dass der Anteil von MnS 70,9 % beträgt, und aus den 117 EDS Messungen an im Vakuum erzeugten Stählen ist ein Anteil von 58,9 % MnS festzustellen. Die nichtmetallischen Einschlüsse im Stahl können der Reihe nach geordnet werden: MnS, Ca – Al Einschlüsse, Al₂O₃, MnS, FeO MnO und Ti Einschlüsse.

SUMMARY

The paper gives the comparison of nonmetallic inclusions in standard and in vacuum-made case-hardenable steel with 0.15 to 0.19 % C, 1.01 to 1.16 % Mn, 0.85 to 1.15 % Cr, and 0.001 to 0.004 % B. The investigation of nonmetallic inclusions was made in optical and in scanning microscope, with an energy-dispersion spectrometer, and with the analyzer for quantitative analysis of picture on broken wedges of test specimens for the ZF toughness testing method of case-hardened materials. The results of the analysis show that no essential difference was observed regarding the distribution of nonmetallic inclu-

sions. The average size of the investigated inclusions in steel made by the standard technology was 10.48 μm² and in the vacuum-made steel 6.77 μm². The EDS analysis showed that there are mainly inclusions of manganese sulphide. At 117 EDS measurements with standard and vacuum steel there was obtained in the first case 70.9 % MnS, and in the second one 58.9 % MnS. Importance of the appearance of nonmetallic inclusions in steel is given in the following order: MnS, Ca-Al inclusions, Al₂O₃, MnS, FeO-MnO, and Ti inclusions.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведено сравнение неметаллических включений в цементуемой стали с содержанием 0,15—0,19 % С, 1,01—1,16 % Мп, 0,85—1,15 % Сг и 0,001—0,004 % V, изготовленной классическим способом и в вакууме. Исследование неметаллических включений было выполнено с растормным электронным микроскопом (РЭМ), энергетическим дисперсионным (ЭДС) и ОМ микроскопами и анализатором количественного анализа изображения на изломленных проушинах образцов ZF — методом исследования вязкости цементуемых материалов. Результаты анализа показывают, что при этих двух способах изготовления стали, что касаясь распределения неметаллических

включений не оказываются существенные различия. Средняя величина исследованных включений при классическом способе изготовления сплавов составляла $10,48 \mu\text{m}^2$ а при изготовлении в вакууме — $6,77 \mu\text{m}^2$. EDS анализ же показал, что включения главным образом состоят из MnS. Измерения выполнены с EDS — этих измерений было на 117 образцах — что 70,9 % включений представляли MnS, а при изготовлении в вакууме 58,9 % MnS. Значительность появления неметаллических включений в стали приведена следующей последовательностью: MnS, Ca-Al включения, Al_2O_3 , MnS · FeO · MnO и включения Ti.

Računanje sipanega magnetnega polja s pomočjo metode končnih diferenc

UDK: 669.14.29:620.1
ASM/SLA: S13c

Božidar Brudar

UVOD

Že precej časa so znane neporušne preiskavne metode, kjer s sipanim magnetnim poljem odkrivamo površinske in podpovršinske napake v feromagnetnih materialih.

Če magnetni pretok zadene na špranjo v feromagnetnem materialu, se del tega pretoka izogne napaki. Tik nad površino lahko opazimo, da se je v neposredni bližini napake povečala gostota magnetnega pretoka. To pa lahko registriramo s pomočjo suspenzije finih feromagnetnih delcev v olju.

Če pa uporabimo katerega od fluorescentnih praškov, pa s pomočjo ultravijolične svetlobe lahko še bolj nazorno pokažemo na lego napake.

Prav gotovo pa je to zelo utrujajoč posel za kontrolorja, če mora ure in ure opazovati isto mesto na feromagnetnih izdelkih, posebno še, če gre za masovno proizvodnjo.

Večkrat so že poskusili izključiti človeški faktor. Sipana magnetna polja je mogoče registrirati in izmeriti s pomočjo magnetnega traku ali s pomočjo Hall-ovih sond.

Vsako merljivo informacijo o deformaciji magnetnega polja pa lahko tudi shranimo in obdelamo z modernimi računalniki. Tudi v literaturi o neporušnih preiskavnih metodah se je pojavilo več člankov, ki opisujejo te pojave in jih pojasnjujejo z rezultati praktičnih meritev in matematičnih modelov.

Vendar pa se iz člankov^{2,3} vidi, da gre pri računih za neke vrste nasprotja in tako še vedno ni jasno naslednje: ali je signal, ki ga izmerimo pri sipanem polju, odvisen le od globine razpoke ali pa morda tudi širina pomembno vpliva na izmerjeni signal.

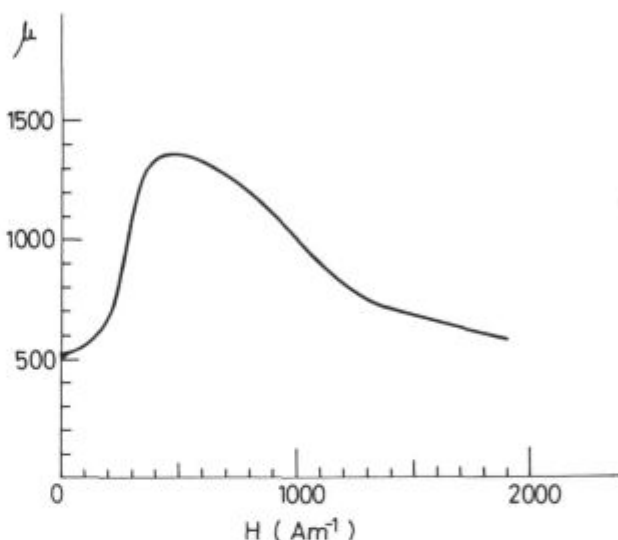
To vprašanje je zelo važno, saj je v praksi v večini primerov globina razpoke mnogo bolj pomembna kot širina. V literaturi^{1,2} pojasnjujejo eksperimentalne rezultate z matematičnimi izračuni, ki so narejeni z metodo končnih elementov.

Sam problem je dokaj zanimiv in zato smo izračunali porazdelitev enosmernega magnetnega polja v okolici površinske špranje na feromagnetni plošči z metodo končnih diferenc. Zanimivo je, da se naši računski rezultati ujemajo z eksperimentalnimi rezultati dr. F. Försterja³. Rezultati, ki pa smo jih dobili za nekaj ekstremnih primerov, pa so podobni rezultatom dr. G. Dobmanna. Očitno je, da so pri tem principu pomembne omejitve glede uporabe metode ugotavljanja napak s stresanimi polji.

MATEMATIČNA FORMULACIJA

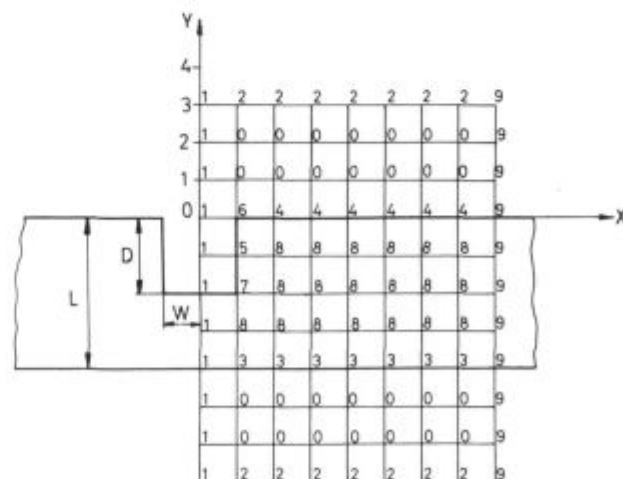
Oglejmo si dvodimenzionalni primer: imamo feromagnetno ploščo v homogenem enosmernem magnetnem polju. Razpoka naj leži pravokotno na magnetni

pretok, ki teče vzporedno z ravnino plošče. Magnetne lastnosti (relativna permeabilnost) plošče so prikazane na sliki 1. Ti podatki ustrezajo jeklu Č 0345. Predposta-



Slika 1
Relativna permeabilnost kot funkcija magnetne poljske jakosti pri jeklu Č 0345.

Fig. 1
Relative permeability as a function of the magnetic field strength with the steel Č 0345.



Slika 2
Mreža točk.
Fig. 2
Lattice of points.

vljamo, da smo uporabili enosmerno magnetno polje z jakostjo $H_0 = 1000 \text{ Am}^{-1}$. Pri računanju uporabimo metodo končnih diferenc. Osnovna shema je narisana na sliki 2. Izberemo si pravokotno mrežo z različnimi mrežnimi razdaljama v smereh x in y zato, da lahko predpostavljamo različne širine napak. Globino razpoke označimo z D , polovično širino pa z W , debelino plošče z L , ki naj znaša 20 mrežnih razdalj.

Izhajamo iz enačbe za skalarni potencial U :

$$\nabla^2 U = 0 \quad (1)$$

ki velja v plošči in izven nje.

Zaradi simetrije obravnavamo le eno polovico preseka. Posamezne številke v vozliščih mreže označujejo vrsto diferencne enačbe, ki smo jo na tistem mestu uporabili.

Točke (1) ležijo na simetrali, kar je treba v enačbah upoštevati. Točke (3), (4), (5), (6) in (7) ležijo na meji med feromagnetnim materialom in zrakom. Držimo se principa, da se pri prehodu čez mejo ne spreminja normalna komponenta gostote magnetnega pretoka. Iz te zahteve je mogoče formulirati tudi ustrezno diferencno enačbo.

V enačbi

$$\vec{B} = -\mu_0 \mu \text{ grad } U \quad (2)$$

je treba izbrati za relativno permeabilnost tolikšno vrednost, da je izpolnjena zahteva glede zveze B in H kot jo kaže slika (1). Za točke (6) in (7) smo uporabili poseben postopek⁴. Diferencna enačba, ki jo zapišemo za ti dve točki, je v principu aritmetična srednja vrednost dveh enačb: prve, ki velja za homogeno področje (zunaj ali znotraj feromagnetnega materiala) in druge, ki velja za točke, ki bi ležale na diagonalni meji.

Točke (2) in (9) pa naj ležijo tako daleč stran od defekta, da lahko predpostavljamo, da tam velja $H_y = 0$ in $H_x = H_0$.

V točkah (0) in (8) pa imamo diferencne enačbe, ki ustrezajo enačbi (1), zapisane v običajni obliki.

V računalniškem programu je predvideno, da sta mrežni razdalji v smereh x in y različni.

Pri numeričnem reševanju smo uporabili Liebmanovo ekstrapolacijsko relaksacijsko metodo. Lastnosti feromagnetnega materiala smo upoštevali tako, da smo toliko časa iskali pravo vrednost μ , dokler ni bila razlika med izračunano in resnično vrednostjo μ manjša ali enaka 10.

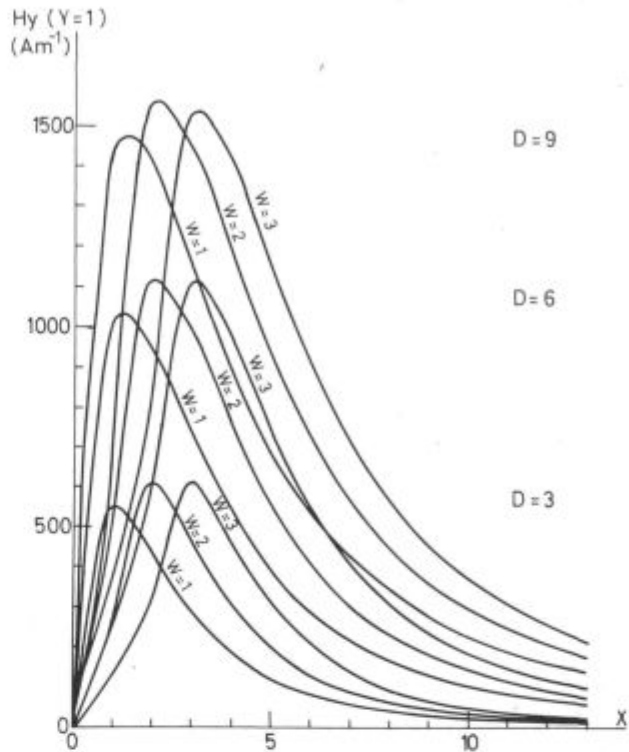
Po nekaj tisoč iteracijah smo izračunali skalarni potencial v posameznih točkah mreže. Potem pa smo izračunali še magnetno poljsko jakost in gostoto magnetnega pretoka v materialu in zunaj njega.

Vsi rezultati, ki so prikazani na naslednjih slikah, so narisani za primer, ko je oddaljenost od površine plošče enaka eni mrežni razdalji ($y = 1$). Pri tem pa smo simulirali različne širine s tem, da smo variirali mrežno razdaljo v smeri osi x .

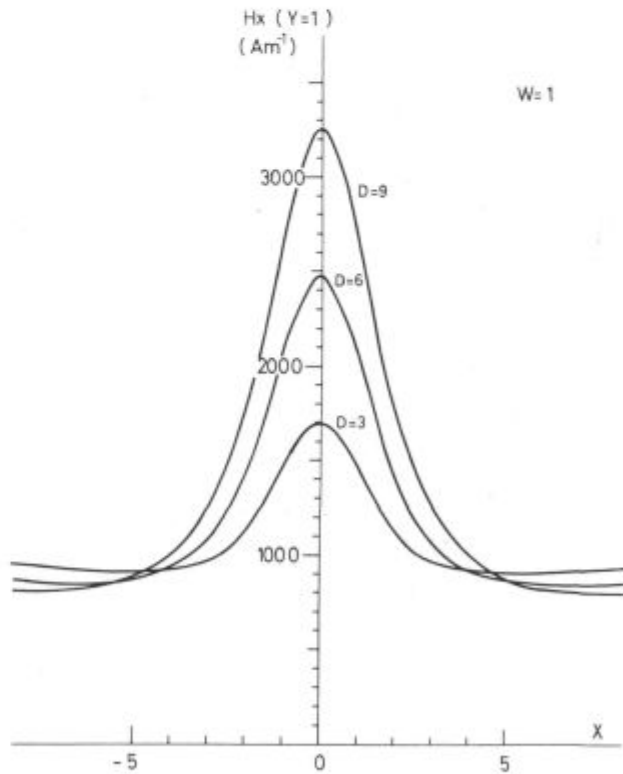
REZULTATI

Na sliki 3 je narisana porazdelitev komponente H_y zunaj plošče (v oddaljenosti ene mrežne razdalje) za različne širine razpoke. Očitno je, da je maksimalna vrednost sorazmerna z globino razpoke. Razlike v širini razpoke le neznatno vplivajo na H_y . Ta rezultat ustreza rezultatom dr. F. Försterja³.

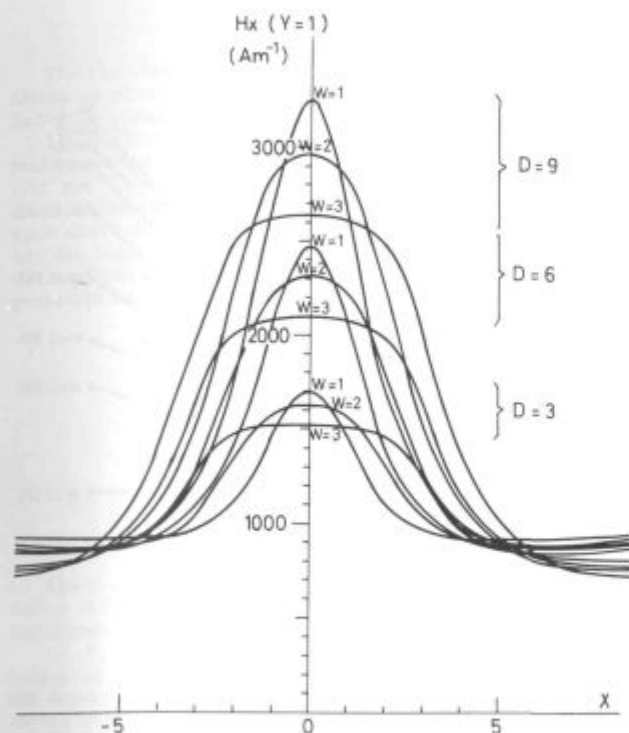
Slika 4 prikazuje komponento H_x kot funkcijo različnih globlin pri konstantni širini razpoke ($w = 1$). Tudi v tem primeru je mogoče sklepati, da gre za sorazmernost, ki je v literaturi že opisana³.



Slika 3
Normalna komponenta magnetne poljske jakosti pri $y = 1$.
Fig. 3
Normal component of the magnetic field strength at $y = 1$.

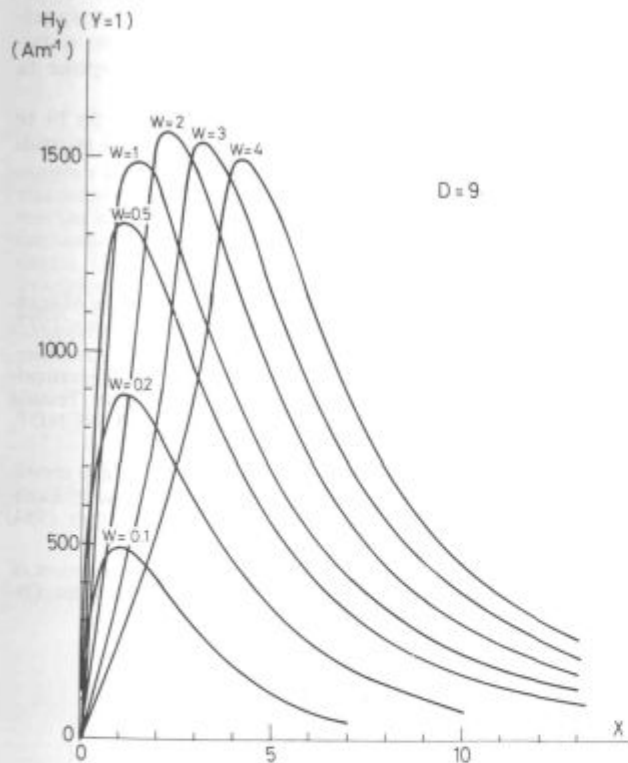


Slika 4
Tangencialna komponenta magnetne poljske jakosti pri $y = 1$.
Fig. 4
Tangential component of the magnetic field strength at $y = 1$.



Slika 5
Tangencialna komponenta $H_x(x)$ pri različnih širinah in globinah napake.

Fig. 5
Tangential component $H_x(x)$ at different widths and depths of the defect.



Slika 6
Normalna komponenta $H_y(x)$ pri $D=9$ za različne širine.

Fig. 6
Normal component $H_y(x)$ at $D=9$ for various widths.

S slike 5 se vidi, da je ta sorazmernost ohranjena tudi, če variiramo širino. Vidi se, da je razlika $H_x - H_0$ sorazmerna z globino razpoke pri poljubni konstantni širini.

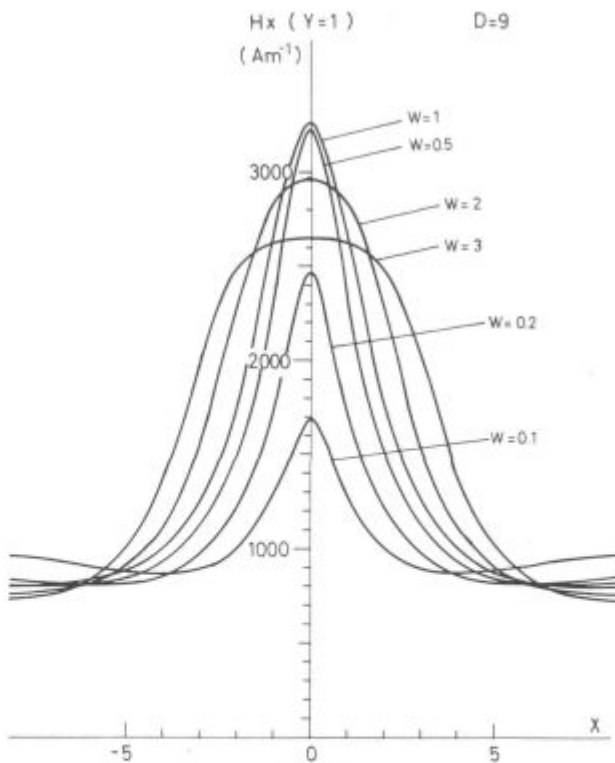
Po teh rezultatih sodeč izgleda, kot da ima dr. F. Förster prav, ko trdi, da je komponenta H_y sorazmerna globini razpoke in da je praktično neodvisna od njene širine. Tudi njegove trditve v zvezi z vplivom različne oddaljenosti y na porazdelitev $H_x(x)$ smo preverili in potrdili.

Predstavljamo si, da magnetni pretok ne more predreti stene razpoke in da se mora razpoki izogniti. Zato mora steči deloma iz materiala ven, deloma pa se mora zgostiti v samem materialu pod razpoko. To je tudi mogoče verjeti. V takšni poenostavljeni sliki lahko širino napake zanemarimo.

S slike 3 pa lahko nadalje sklepamo, da doseže komponenta H_y svojo maksimalno vrednost prav nad točko 6 po sliki 2 in spremeni svoj predznak, ko prečkamo razpoko. Predpostavljajmo, da je razpoka izredno ozka. V skladu z rezultati, ki smo jih že omenili, bi morala biti komponenta H_y sorazmerna z globino in bi morala na izredno kratki razdalji, ki je enaka širini razpoke, spremeniti svojo smer (!).

Spremenili smo mrežno razdaljo v smeri osi x in izračunali polje ob napakah enake globine ($D=9$) pri različnih širinah ($w=0.5, w=0.2, w=0.1$). Rezultati so prikazani na sliki 6. Očitno se potek odvisnosti $H_y(x)$ pri $y=1$ močno spreminja s širino razpoke. Tako je na primer signal $H_{y, \max}$ precej manjši pri $w/D=1/90$ kot pri $w/D=1/9$.

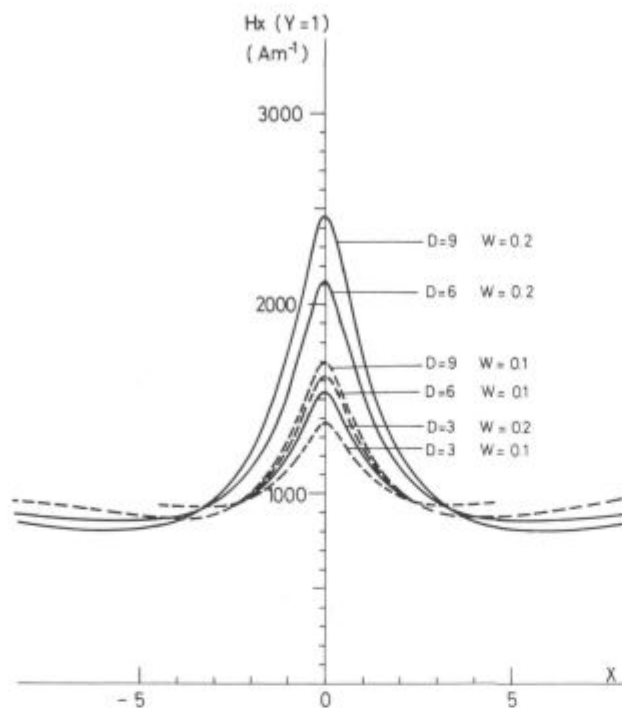
Slika 7 prikazuje $H_x(x)$ pri $y=1$ in pri $D=9$ za primere $w=3, w=2, w=1, w=0.5, w=0.2$ in $w=0.1$. Tudi ta komponenta magnetnega polja se močno spreminja s širino špranje.



Slika 7

Tangencialna komponenta $H_x(x)$ v odvisnosti od širine razpoke.

Fig. 7
Tangential component $H_x(x)$ as a function of width of the crack.



Slika 8
Tangencialna komponenta $H_x(x)$ za ekstremne primere.
Fig. 8
Tangential component $H_x(x)$ for the extreme cases.

Izbrali smo si tudi tri primere pri $w = 0.2$ in 0.1 in sicer $D = 9$, $D = 6$ in $D = 3$, da bi videli, če je $H_x - H_0$ sorazmerno z D . Na sliki 8 se lepo vidi, da takšne sorazmernosti ni. Tudi maksimalne vrednosti komponente H_y , izračunane pri $y = 1$ za različne globine ($D = 3, 6, 9$), se močno spreminjajo s širino razpoke (slika 9).

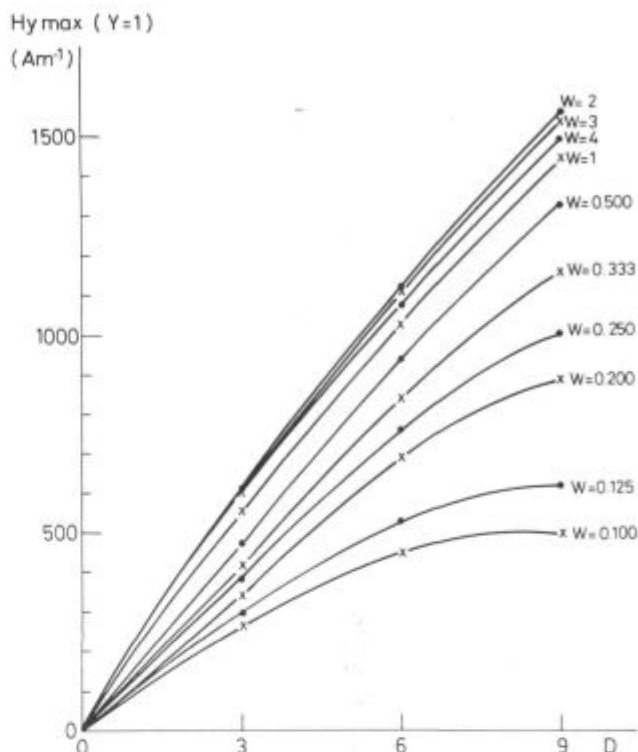
ZAKLJUČEK

Natančen potek izračunavanja enosmernega magnetnega polja v feromagnetnem materialu bo objavljen kasneje. Rezultati, ki smo jih že omenili, pa kažejo zanimive ugotovitve:

1. Če je razmerje $D/w \leq 10$, je mogoče reči, da je magnetno polje $H_{y, \max}$ pri $y = 1$ sorazmerno z globino razpoke in ni odvisno od njene širine. Tudi maksimum izraza $H_x - H_0$ pri določeni širini je sorazmeren le globini razpoke.

2. Če je razmerje $D/w > 10$, pa postaneta obe komponenti H_y in H_x dosti manjši in nista več proporcionalni globini napake. V teh primerih je treba upoštevati tudi širino razpoke.

3. Neporušne preiskavne metode s sipanimi polji imajo svoje omejitve. Merilni aparat naj bi dal tudi informacijo o širini »pulza« $H_x(x)$. Pod določeno mejno širino tega »pulza« v smeri osi x , ki je določena z ma-



Slika 9
Maksimalna vrednost H_y v odvisnosti od globine razpoke.
Fig. 9
Maximal value of H_y as a function of depth of the crack.

gnetno poljsko jakostjo H_0 in z lastnostmi feromagnetnega materiala, je mogoče izračunati tudi širino napake. Seveda je pa pri tem za izjemno tanke razpoke ta metoda precej manj občutljiva.

Potrebno bo pa še dosti praktičnega dela, da bi te matematične rezultate tudi praktično dokazali in tudi določili praktične omejitve same metode.

Literatura

1. V. Lord, J. H. Hvang: Defect Characterization from Magnetic Leakage Fields, British Journal of NDT, January 1977, pp 14-18
2. G. Dobmann, G. Walle: New Set-ups for Mathematical-Numerical Solutions of Magnetic Leakage Flux Testing With D. C. and A. C. Mode in the FRG, 10th WCNDT, Moskva, 1982, paper 1C-5
3. F. Förster: Neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der zerstörungsfreien Prüfung mit magnetischem Streufluss, 3rd European Conference on NDT, Firenze 15-18 oktobra 1984, stran 287-303
4. K. J. Binns, P. J. Lawrenson: Analysis and Computation of Electric and Magnetic Field Problems, Pergamon Press, Oxford

ZUSAMMENFASSUNG

Die Forschungen des magnetischen Streuflussverfahrens in ferromagnetischen Materialien haben zu zwei gegensätzlichen Schlussfolgerungen geführt.

Dr. F. Förster behauptet nämlich, dass das Signal, das normalerweise bei dem Streuflussverfahren gemessen wird, nur von der Tiefe des Risses abhängig ist. Prof. V. Lord und dr. G. Dobmann behaupten aber, dass die Grösse des Signals auch durch die Breite des Risses beeinflusst ist. Dr. Dobmann hat die Magnetfeldverteilung ausgerechnet mit der Methode der endlichen Elemente, während dr. Förster diese Felder gemessen hat.

Im Artikel ist das gleiche Problem mit der Methode der endlichen Differenzen gelöst worden. Es hat sich gezeigt, dass dr. Förster recht hat, wenn es sich um einen Riss handelt, wo das Verhältniss der Risttiefe gegen der Breite kleiner oder gleich 10 ist. Wenn es aber um engere Risse geht, die in der Praxis in der Mehrheit sind und die von dr. Förster nicht praktisch geprüft werden konnten, dann wird auch die Breite ein sehr wichtiger Einflussfaktor.

In jedem Fall sind auch die von dr. Dobmann veröffentlichte Resultate falsch.

SUMMARY

The investigations of the magnetic leakage fields due to the defect in the ferromagnetic material lead to two contradictory statements.

Dr. F. Förster namely says that the signal, that is usually measured with the magnetic leakage fields, depends only on the depth of the crack. Prof. V. Lord and dr. G. Dobmann are saying however that also the width of the defect influences the magnitude of the signal. Dr. Dobmann calculated the distribution of the d. c. magnetic field by the method of finite elements, while dr. Förster measured the stray fields.

In the article the same problem is solved by the method of finite differences. It has been shown that dr. Förster is right, when the ratio depth against width of the crack is smaller than or equal to 10. However with the tighter cracks, that are prevailing in the practical work and that could not be experimentally proved by dr. Förster, also the width becomes a very important factor. In any case, however, the results published by dr. Dobmann are wrong.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании рассеяния магнитного поля на ошибки в ферромагнитном материале оказались два противоположных утверждения. Др. Ф. Ферстер утверждает, что сигнал, которого мы обыкновенно измеряем при рассеивании магнитного поля зависит лишь от глубины трещины. Проф. В. Лорд и Др. Г. Добманн же в свою очередь утверждают, что на величину сигнала влияет также и ширина трещины. Др. Добманн вычислил распределение одностороннего магнитного поля методом конечных элементов, Др. Ферстер же это поле измерил. Этот же самый

вопрос в этой статье разрешён методом конечных разностей. Оказалось, что утверждения Др. Ферстера отвечают определенно, если оно касается трещины при которой отношение глубины против ширины меньше или же равняется 10. Если же трещина уже, что чаще всего случается в практике, и которые Др. Ферстер не мог проверить, то влиятельным фактором является также и ширина. Во всяком случае результаты, которые объявил Др. Добманн ошибочны.

Legirani jekleni odpadki — veliko vredna sekundarna surovina

Stanislav Kovačič

1. UVOD

V organizaciji združenja INTERMETALL je bil v RIZI (NDR) v času od 19. do 22. 10. 1982 simpozij na temo »Izmenjava izkušenj in presojanje možnosti sodelovanja držav članic Intermetalla na področju kompleksne rešitve in priprave legiranega odpadka.«

Referati in materiali na simpoziju so pokazali, da so v izkoriščanju legiranega odpadka še velike rezerve. Obenem je bilo dognano, da je prav urejenost zajemanja jeklenega odpadka na izvoru, njegovo skladiščenje v celi verigi vračanja in priprave ter predpriprava in sortiranje pred ponovnim vlaganjem še na zelo nizki organizacijski ravni. Posledice tega so zelo visoki stroški izdelave jekla, ki jih vsaka nedoslednost na področju sortiranosti samo še povečuje. Tako se je porodila ideja, da Intermetall formira delovno skupino specialistov, ki bi obiskali nekatera podjetja za zbiranje in pripravo jeklenega odpadka ter nekaj železarn uporabnic zbrana jeklenega odpadka oz. proizvajalk in pripravljalk ter porabnic povratnega odpadka. Ta skupina naj bi zbrala in ocenila izkušnje in pripravila osnove za kakovostno organizacijo vključevanja sekundarnih surovin, kot nadomestek za drage primarne surovine.

2. DELO STROKOVNE SKUPINE

BIRO INTERMETALL rešuje dogovorjeno nalogo tako, da je v mesecu aprilu 1985 organiziral prvo etapo potujoče delovne skupine strokovnjakov držav članic Intermetall-a in SFRJ z nalogami:

- spoznati se z metodami dela in tehnologijo predelave in uporabe legiranega odpadka s poudarkom na izkoriščanju elektronske tehnike in priborov za identifikacijo vložka in legiranih odpadkov,
- izmenjati izkušnje na področju priprave in predelave ter uporabe legiranega vložka in odpadkov,
- obdelati predlog za najučinkovitejše priprave in predelave legiranega vložka in odpadkov.

Na osnovi obiska podjetij v LR Poljski, ČSSR in DR Nemčiji je delovna skupina zaključila:

Podjetje za zbiranje, pripravo in predelavo jeklenega odpadka so organizirana tako, da je priprava legiranih odpadkov organizirana v samostojnih obratih ali oddelkih, ki opravljajo:

— kemijsko kontrolo dostavljenega legiranega odpadka, razvrščanje in skladiščenje po grupah ali kvalitetah,

— ločeno skladiščenje legiranih odpadkov po grupah ali kvalitetah v posebnih zabojih (boksih) in kontejnerjih,

— sortiranje prevzetih pomešanih odpadkov in ločevanje legiranega odpadka od navadnega jeklenega odpadka s predhodnim ločevanjem in mehanskim ope-

deljevanjem grupe ali kvalitete, da se doseže večja produktivnost sortiranja,

— pripravo legiranega vložka z rezanjem, paketiranjem in drobljenjem,

— organiziranje pretaljevanja pomešanih legiranih odpadkov v podjetjih, ki imajo viške kapacitet.

Železarne oziroma jeklarne, ki proizvajajo legirana in visokolegirana jekla, ukrepajo takole:

— sprotno kontrolirajo legirane odpadke s tradicionalnimi metodami, spektroskopi in ekspresnimi analizatorji,

— vodijo interno politiko doslednega pravilnega razvrščanja in zajemanja odpadkov po grupah ali kvalitetah skozi celo predelavo že na izvoru odpadka,

— opremljajo s tehnično opremo za transport in skladiščenje legiranih odpadkov po grupah ali kvalitetah v obliki posebnih kontejnerjev,

— sestavo vložka za šaržiranje opravljajo s pomočjo procesnih računalnikov na osnovi optimalne ekonomike, tehnologije in zaloga v skladišču.

Skupina strokovnjakov je dobila tudi nekatere informacije o organizacijskih vprašanjih:

— centralnega planiranja, razporejanja in vračanja ter izkoriščanja legiranega vložka in odpadkov,

— organizacije priprave in o načinu planiranja v podjetjih za pripravo in predelavo jeklenega odpadka,

— dogovarjanja o dobavah in uporabi penalizacije v primerih neizpolnjevanja dogovorov,

— materialne stimulacije in

— efektne uporabe priborov za identifikacijo in sortiranje legiranega odpadka.

3. OCENA STROKOVNE SKUPINE

Na osnovi dobljenih informacij in razprave strokovna skupina ocenjuje:

V obiskanih državah se opravljajo centralno planiranje in razporejanje jeklenega odpadka in določajo obvezne naloge za posamezne organizacije.

V NDR se uporablja posebna nova metoda pri planiranju in razporejanju nosilcev legiranih elementov »bilanca legiranih elementov«. Ta je zaradi zanimivosti posebej opisana.

Pri izvajanju dogovorov in sankcioniranju neizpolnjevanja dogovorjenega je poudarek na:

— izpolnjevanju in izvajanju gospodarskih normativov oskrbe in dobave legiranega vložka,

— iskanju možnosti uporabe stimulativen kazni — sankcij v primerih neizpolnjevanja postavljenih normativov.

Pri uporabi stimulacije za pripravo in predelavo legiranega odpadka je orientacija na:

— stimulatивно politiko cen,

— premiranje delavcev na delih priprave in sortiranja legiranih odpadkov.

Pri efektivni uporabi priborov za identifikacijo in sortiranje legiranih odpadkov je na osnovi priborov, ki jih uporabljajo v LRP v ČSSR sklenjeno, da morajo analizerji omogočati naslednje:

- splošna hitrost analize ne sme presežati časa 10 sekund,
- dokaj točen rezultat analize in
- možnost analiziranja neposredno na komadu — preizkušancu.

Le oprema, ki ustreza tem kriterijem, omogoča sortiranje večjih količin legiranega odpadka. Ob tem veliko prispevajo tudi tradicionalni načini sortiranja, vizuelno ločevanje, magnetni preizkus, iskrenje, kapeljni preizkus in spektralna analiza.

4. ZAKAJ JE POTREBNA BILANCA LEGIRANIH ELEMENTOV

V NDR ocenjujejo, da mora v prihodnje rasti učinkovitosti črne metalurgije sloneti na vlaganju bistveno manjših količin primarnih surovin. Ta primanjkljaj je treba nadomestiti z močnejšim vključevanjem sekundarnih surovin. Sekundarne surovine, namenjene za predelavo, je potrebno predhodno bolj oplemenititi. Pri vračanju lastnih odpadkov v predelavo je potrebno kakovostne dejavnike postavljati bolj v ospredje. Pri vlaganju legiranega vložka je treba iskati možnosti za izkoriščanje vseh prisotnih kovinskih komponent. Pripravo legiranega odpadka moramo podrediti principom, ki omogočajo optimalno tehniko vlaganja in legiranja.

Jeklarji se trudijo, da bi s pretaljevanjem poznanega vložka v EOP pečeh dosegli zahtevano analizo jekla. Posebno pri 100 %-nih pretalitvah vložka ne smejo nastopati bistvena odstopanja, saj prav to pogojuje današnje uspešno izdelavo čistega in kakovostnega jekla z rafinacijo v ponvi (ponovna metalurgija).

Glede na večjo potrošnjo ali večje stroške surovin se spreminjajo dejanski interesi narodnega gospodarstva za vključevanje primarnih in sekundarnih surovin. V tem je tudi ključ dejstva, da tudi nizko legirani in srednje legirani vložek postaja vedno bolj uporabna surovina.

Za optimalno izkoriščanje v vložku se nahajajočih elementov so za področje črne metalurgije v NDR uvedli nov način planiranja in bilansiranja resursov legiranja, ki omogoča dobiti tako kovinsko bilanco, ki pogojuje minimalno uporabo Fe-legur in čistih kovinskih elementov. To je »bilanca legiranih elementov«.

4.1 Izhodišče

V preteklosti je natančen izračun in ugotavljanje potrebnih legur predstavljalo veliko problematiko. Vzrok je bil v nepoznavanju količin legiranega vložka v jeklarnah in nezadostnem poznavanju in ocenjevanju vsebine legiranih elementov v vložku. Podlage za ocenjevanje legiranega vložka, to je sezname skupin in pripadajoče povprečne analize, so le delno ustrezale. Na skladiščih legiranega odpadka po območnih pripravah vložka so zaradi napak pri delu nastajale nepopravljive izgube. Ker ni bilo dovolj natančnih izračunov ostankov legiranega jekla, ni obstajal pregled o množinah povratnega odpadka med predelavo in jeklarnami.

Med teoretičnim izračunom in dejanskimi količinami odpadka je v nekaterih jeklarnah nastajala znatna razlika. Del vložka se je v toku procesa sicer pojavil, vendar so količine lahko slonele le na ocenah izkustvene statistike.

Tudi kombinati za zbiranje in pripravo jeklenega odpadka so v železarne pošiljali vložek, grobo ločen po skupinah, kar ni dopuščalo dobre ocenitve legiranih elementov.

Tudi ocena vsebnosti legiranih elementov v Fe-legurah se je od podjetja do podjetja razlikovala.

4.2 Osnovni cilj

a) razviti enotno in centralno podlago za dosledno izračunavanje potreb legiranja za območje črne metalurgije,

b) določiti enotno listo ocen vsebnosti elementov na tono za vse nosilce legiranja — tudi legirani odpadki,

c) posebna delovna skupnost pod vodstvom posve-tovalnice za jeklo izvaja potrebne raziskave.

5. RAZVOJ METODE ZA BILANCIRANJE LEGIRANIH ELEMENTOV

Metoda sloni na principu določevanja dveh postavk: količina potrebnih legur in količina zadostnih legur (količina pokrivanja). Potreba se izračuna iz podatkov proizvodnje, srednjih vrednosti analiz po kvalitetah in povprečnega odgora elementov v Fe-legurah in legiranem vložku za posamezne elemente.

Pokritje se izračuna iz vsebnosti elementov v Fe-legurah in legiranem vložku ter analize koristnih elementov iz nelegiranega vložka.

Za zajemanje količin lastnega legiranega odpadka — povratnega vložka se uvaja bilanca ostankov legiranega jekla. Ta se primerja s teoretično določeno količino odpadka, izračunano s pomočjo koeficienta izkoristka. Iz tega je mogoče dognati tudi obrate in okolja, ki imajo še rezerve pri uporabi legiranega odpadka.

Bilanca ostankov legiranega vložka je sestavni del metode izračunavanja vsebnosti kovin.

5.1. Priprava podlag planiranja za uvajanje izračunavanja vsebnosti kovin

Možnost različnih stopenj pri vrednotenju vsebnosti legiranih odpadkov kot pomanjkljivost pomembnih podlag zmanjšuje zadržke za uvajanje metode planiranja.

Pri pripravi potrebnih podlag je obveljalo pravilo zajemanja razpoložljivih podatkov za materiale za nazaj.

Posamezne podlage za izvajanje metode za izračun vsebnosti kovin so naslednje:

— plan stroškovnih nosilcev za vsako kvaliteto jekla (materialna bilanca), razdeljen po procesu jeklarske tehnologije,

* plan proizvodnje,

* tekoče jeklo/normativ jekla (odgor odštet od kovinskega vložka),

* plan tekočega jekla/jeklo (zmnožek plana proizvodnje s tekočim jeklom/normativ jekla),

* kovinske surovine: nelegirani odpadki, legirani odpadki, razdeljeni na domače in kupljene, Fe-legure, čisti metali in bloki,

— lastni analizni predpisi kot podlaga za računanje potreb legiranja,

— lastne skupine legiranega odpadka za vključevanje povratnega legiranega odpadka in skupine kupljenega legiranega vložka.

Te skupine so opremljene s povprečno kemijsko sestavo. Sestava skupine je odvisna od letne proizvodnje, zato se v odvisnosti od letnih programov spreminja.

— Odgori oz. izkoristki (100 % minus odgor v %) za posamezne legirne elemente, razdeljene po vrstah vložka, Fe-legurah in vrsti tehnologije izdelave jekla,

— uporabne količine elementov Cr, Ni, Mo in Cu v nelegiranem vložku, ki vplivajo na nalizo po končanem tehnološkem procesu,

- analize Fe-legur, metalnih dodatkov in blokov,
- bilanca ostankov legiranega jekla.

Bilanca ostankov legiranega jekla vsebuje teoretično usposobljen in neuporabljen lastni odpadke legiranega povratnega vložka za ves proces proizvodnje v reprodukciji posamezne železarnice.

Bilanca ostankov je potrebna za:

- spoznanje količin uporabne substance legiranega odpadka, za koliko se prihrani Fe-legure in višina prihranka pri obratnih sredstvih,
- kontrolo deleža, ki ga ima povratni vložek v bilanci stroškov vložnih materialov.

5.2 Praktične rešitve pri izvajanju izračunavanja vsebnosti kovin

Ob teoretičnem planiranju so potrebna praktična prizadevanja, ki bodo porok, da bo vložek zbran pravilno po skupinah, pravilno skladiščen in tako tudi transportiran nazaj v jeklaro.

5.2.1. Organizacija gospodarjenja z vložkom

Sortiranje v metalurških delovnih organizacijah sloni na osnovah interne razdelitve odpadka po skupinah. Razpored posameznih kvalitiet v skupino je osnovan na približno enakih koncentracijah posameznih elementov in združevanju onih kvalitiet, ki omogočajo maksimalno izkoriščanje legirnih elementov pri ponovni pretopitvi odpadka. Notranja organizacija zbiranja in transporta legiranega odpadka ter skladiščenje je oblikovano tako, da je izključeno vsako zamešanje odpadkov.

Gospodarjenje z odpadkom v strojno predelovalni industriji in kombinatu za zbiranje in pripravo jeklenega odpadka je organizirano na podlagi odredb, ki določajo način gospodarjenja s sekundarnimi surovinami.

5.2.2. Ukrepi za praktično reševanje gospodarjenja z vložkom

Za odpravo pomanjkljivosti dejanskega stanja je potrebno:

— razširiti opremo v oddelkih za zbiranje in pripravo legiranega odpadka v organizacijah za pripravo sekundarnih surovin (naročiti, zgraditi — bunkerje, bokse, posode),

— rekonstruirati skladišča jeklenega odpadka v jeklarnah na osnovi kataloga lastnih skupin legiranega vložka z namenom skladiščenja vložka po samostojnih skupinah in namenu.

6. IZVAJANJE IZRAČUNAVANJA VSEBNOSTI KOVIN

Načelno pri računanju količine potrebnih legur na osnovi srednjih vrednosti analize jekla ni problemov. Izračunavanje vsebnosti legirnih elementov v legiranem

vložku pa mora sloneti na upoštevanju povprečne vsebnosti elementov vseh kapacitet v skupini.

Računanje potrebnih Fe-legur na osnovi vključevanja obsega uporabe sekundarnih surovin se je prvič pojavilo po uredbi, izdani 11. 12. 1980. Po tem datumu je vložek iz sekundarnih surovin osnova za določanje primarnih surovin.

7. REZULTATI IZRAČUNAVANJA VSEBNOSTI KOVIN

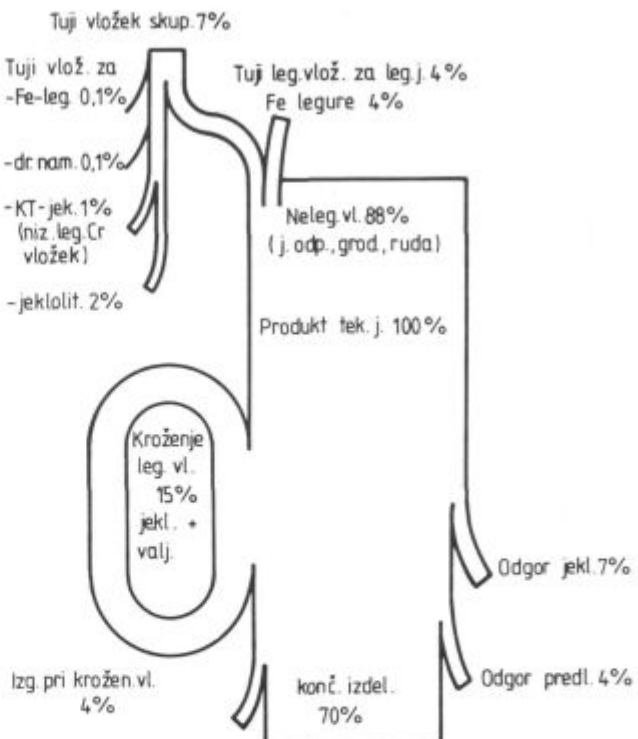
Nova metoda planiranja z izračunavanjem vsebnosti kovin uvaja normative porabe materialov za legirana jekla, ki so tehnično — ekonomsko osnovani. Pokalkulacija porabe legirnih elementov za leto 1981 je pokazala, da bi pri uporabi metode privarčevali 1337 ton kroma, 355 ton niklja in 119 ton molibdena.

Iz priobčenih diagramov je razvidno, da legirani vložek za proizvodnjo nekaterih glavnih skupin jekel ni zadosti izkoriščen.

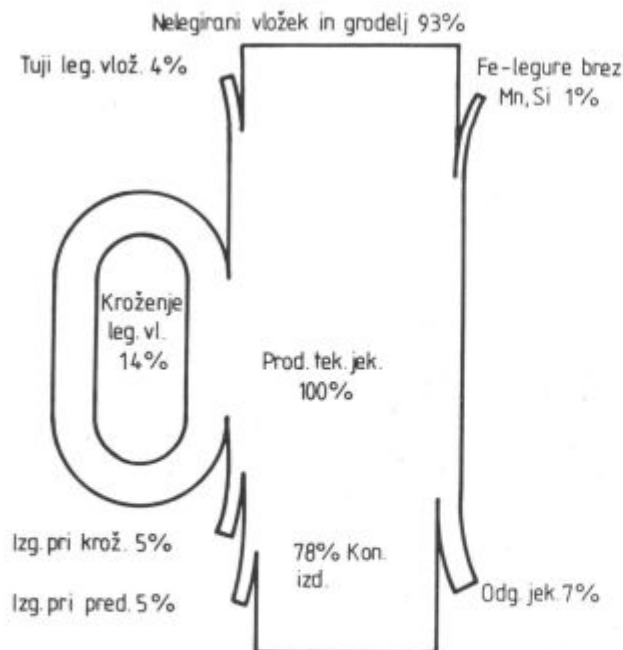
Pri proizvodnji legiranega jekla znaša vlaganje legiranega odpadka 18,38 % tekočega jekla (slika 1). Posebno pri nizko in srednjelegiranem jeklu so še velike rezerve. To tendenco kažejo tudi tokovi vložka, prikazani na slikah 2, 3 in 4 za tri različne skupine jekla.

Obemem je jasno, da je kljub dejstvu, da je del metalurških proizvodov in gotovih proizvodov iz jekla poslan v izvoz, povratek legiranega odpadka še prenizek. Slike toka materiala na koncu pokažejo razpošiljanje proizvodov metalurgije.

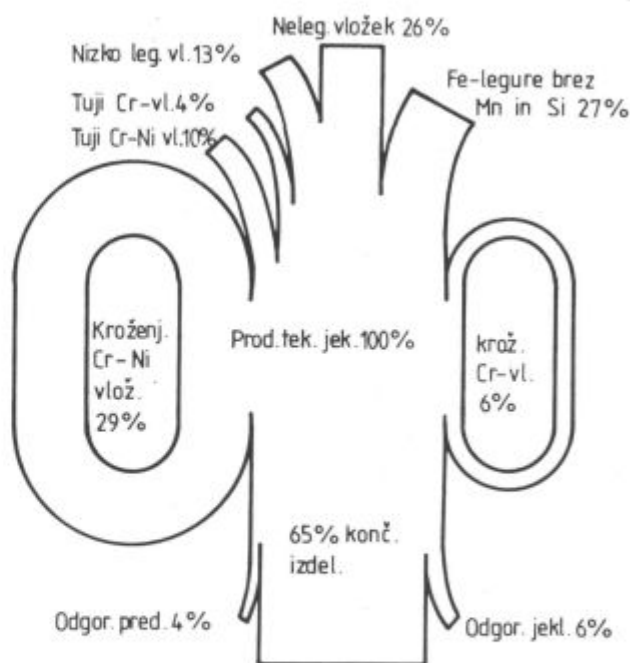
Za doslednejše izkoriščanje rezerv je potrebno, da odjemalci v strojno-predelovalni industriji spoznajo pomen sortiranja, zbiranja in planiranja nastanka sekundarnih surovin.



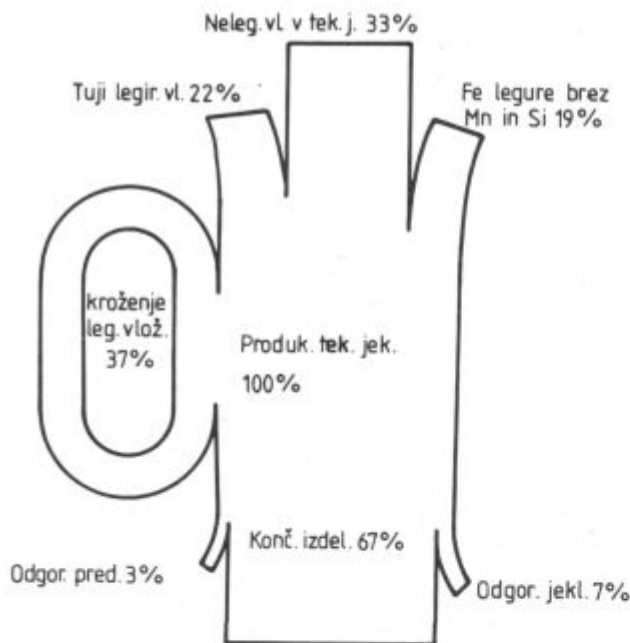
Slika 1
Kroženje nelegiranega vložka pri izdelavi legiranega jekla



Slika 2
Kroženje vložka pri legiranem konstrukcijskem jeklu za toplotno obdelavo



Slika 4
Kroženje vložka pri visokolegiranem konstrukcijskem jeklu — nerjavna in kemijsko odporna



Slika 3
Kroženje vložka pri brzoreznem jeklu

8. SKLEP:

Delovna skupina je v treh državah obiskala nekaj železarn — jeklarn, proizvajalk srednje in visoko legiranih jekel. V teh organizacijah se vodi politika maksimalnega vračanja legiranih odpadkov v proces proizvodnje. Opremljeni so z računalniki za vodenje procesa in posedujejo agregate za izvenpečno rafinacijo, obdelavo in oksidacijo.

Čeprav imajo nekateri vložek še razmeščen po skupinah, je tendenca sortiranja po kvalitetah. Povsod je prisotna stroga kontrola vložka, uvajanje strogega nadzora nad gospodarjenjem z odpadkom skozi celo verigo metalurške predelave.

Podjetja za zbiranje in pripravo ter sortiranje odpadkov so organizirana tako, da je obdelava legiranega odpadka organizirana v posebnih oddelkih. Vsi se opremljajo s sodobnimi ekspresnimi analizatorji (kvantotest ARC 3600, BAIRD spektromobil, Quik sort analizator). Menijo, da je sortiranje cenejše od pretaljevanja nepoznanega vložka. Ločujejo odpadke po kvalitetah na izvoru, zato v predelovalna podjetja pošiljajo svoje instruktorje.

V obiskanih državah vlada centralno planiranje in razporejanje vložka. Uvajajo stimulative sankcioniranja v primerih neizpolnjevanja dogovorjenega in iskanje materialne stimulacije za zaposlene pri pripravi legiranega odpadka.

V NDR dajejo velik pomen v letu 1980 uvedeni metodi za bilansiranje legiranih elementov, ki sloni na izračunavanju potrebnih kovin na osnovi plana proizvodnje in izračunavanju razpoložljivih legiranih elementov. Dobljena informacija o tej metodi je v tekstu tudi nekoliko podrobneje opisana.

S to metodo uresničujejo močnejše vlaganje legiranih odpadkov na račun FE-legur.

Literatura:

1. Protokol obeh državno delovni skupini po usaveršenstvomovanju organizaciji zagotovitki i pererabotki loma i othodov legirovanih stalej na lomopererabotivajuščih predpriyatijah i metallurgičeskikh zavodah GDR, PNR i ČSSR (pervij etap) INTERMETALL — Freital 26. 4. 1985
2. R. Kirchhefer, G. Vocke, Metallinhaltsbilanzierung — ein Instrument zur effektiveren und vollständigen Nutzung der legierungselemente im legierten Schrott. STAHL BERATUNG. šte. 3, leto 1984, stran 7 do 9.

Ventilska jekla

Ivan Kos

1. UVOD

Dotok sveže mešanice goriva in zraka v oto motorjih ter zraka v dizel motorjih in odvod izpušnih plinov iz cilindra je največkrat omogočen preko ventilov.

Za izdelavo ventilov se uporabljajo jekla, ki smo jih v ŽR uvrstili v skupino KONSTRUKCIJSKIH JEKEL ZA POSEBNE NAMENE, to so VENTILSKA JEKLA.

Ventili so toplotno zelo obremenjeni strojni deli in hkrati močno izpostavljeni agresivni atmosferi plinov. Zaradi tega izbiramo za njihovo izdelavo kvalitetna jekla, legirana z elementi, ki jim med delovanjem zagotavljajo več uporabnih lastnosti.

S tem sestavkom želimo predstaviti nekatera ventilska jekla z njihovimi značilnostmi:

- a) uporabnost,
- b) kemična sestava,
- c) struktura,
- d) mehanske lastnosti.

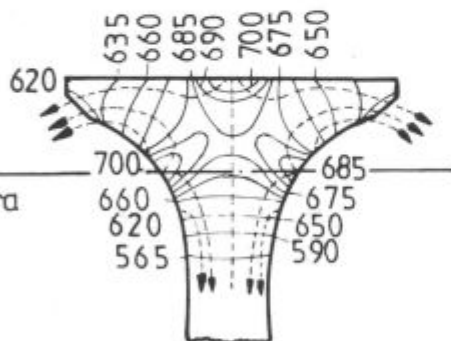
2. UPORABNOST IN NEKATERE SPLOŠNE ZNAČILNOSTI VENTILSKIH JEKEL

Po namenu uporabe delimo ventile na:

1. sesalne ventile,
2. izpušne ventile.

Sesalni ventili so manj toplotno obremenjeni. Izdelujemo jih iz manj legiranih jekel, lahko tudi iz nekaterih jekel za poboljšanje, saj se njihova delovna temperatura suče okrog 500°C. Omeniti moramo tudi dejstvo, da so med delovanjem intenzivno hlajeni s svežo mešanico goriva in zraka.

Nasprotno pa za izpušne ventile lahko ugotovimo, da so toplotno izredno močno obremenjeni. Njihova delovna temperatura se giblje med 600 in 800°C, zato morajo biti izdelani iz visoko kvalitetnih jekel, ki so močno legirana in imajo stabilne strukturne faze tudi pri teh temperaturah.



Slika 1
Razporeditev temperatur na glavi ventila

Na sliki 1 je prikazana razporeditev temperatur na glavi ventila.

Oto bencinski motorji so temperaturno močnejše obremenjeni kot dizel motorji.

S slike tudi vidimo, kako poteka odvajanje toplote na ventilu. Največji del toplote se odvede preko sedeža ventila, kar pomeni, da je le-tega potrebno dobro hladiti.

Letalski motorji razvijajo večje moči, zaradi česar so tudi njihovi ventili močnejše temperaturno obremenjeni. V takem primeru pa pridejo kot rešitev v poštev VOTLI VENTILI, ki imajo v stebelu in delu glave odprtino. V njej je natrij, ki izpareva že pri 97°C ter tako intenzivno ohladi glavo ventila tudi za 100°C.

Od ventilskih jekel pričakujemo in zahtevamo naslednje lastnosti:

1. visoka trdnost pri povišanih temperaturah,
2. obstojnost proti korozijskim vplivom Pb ter eroziji,
3. obstojnost mer pri povišanih temperaturah,
4. obstojnost na toplotne šoke,
5. dobro toplotno prevodnost,
6. stabilnost strukture pri visokih temperaturah,
7. odpornost proti obrabi,
8. enakomernost v fizikalnih lastnostih,
9. dobro obdelovalnost z mehanskim odzemanjem delavcev.

3. KEMIČNA SESTAVA RAZLIČNIH VRST VENTILSKIH JEKEL

Lastnosti ventilskih jekel, ki jih navajamo v poglavju 2, zagotavljajo določeni legirni elementi, ki karakterizirajo posamezno jeklo ali skupino jekel.

V tabeli 1 prikazujemo smerno kemično sestavo ventilskih jekel, ki jih izdelujemo v ŽR.

Skupna značilnost ventilskih jekel glede na kemično sestavo je visoka vsebnost ogljika in kroma. Ostali elementi so legirani enkrat v večjih, drugič spet v manjših količinah.

Po kemični sestavi lahko ventilska jekla razdelimo v naslednje skupine:

1. krom-silicijevo jeklo (PK8)
2. krom-nikelj-silicijevo jeklo (PK9, PK939)
3. krom-nikelj-manganova jekla (214N, 28304N, X45)

Ogljik in krom dajeta ventilskim jeklom osnovno trdnost, ki jo pri povišanih temperaturah ohranjajo še elementi: volfram, molibden in vanadij.

Za skupino krom-nikelj-manganovih jekel je značilna tudi prisotnost dušika, ki se v strukturi izloča v obliki karbonitridov, ki dajejo tem jeklom trdnost pri temperaturah nad 700°C.

Tabela 1

Oznaka jekla		Kemična sestava %						Oznaka po DIN
JUS	ŽR	C	Si	Mn	Cr	Ni	ostali	
Č4270	PK8	0,45	3,0	0,45	9,5			
Č4581	PK9	0,80	2,0	0,45	20,0	1,45		
Č47703	PK939	0,80	2,0	0,55	15,0	0,75	W 1,0	
Č4588	214N	0,53		9,0	21,0	3,85	Mo 1,0 N 0,44 X80CrSiMoW152 X53CrMnNiN219	
Č4870	28304N	0,53		9,0	21,0	3,75	Nb 1,0 V 1,0	
Č45711	X45	0,49	2,5	1,3	18,0	9,0	Mo 1,0; N 0,44 W 1,1 X45CrNiW189	

4. ZNAČILNOSTI STRUKTURE

Kemična sestava jekla in njegova mikrostruktura sta tesno povezani. Ventilska jekla po strukturi delimo na:

1. nadevtektoidna jekla (PK8),
2. ledeburitna jekla (PK939, PK9)
3. avstenitna jekla (214N, 28304N, X45).

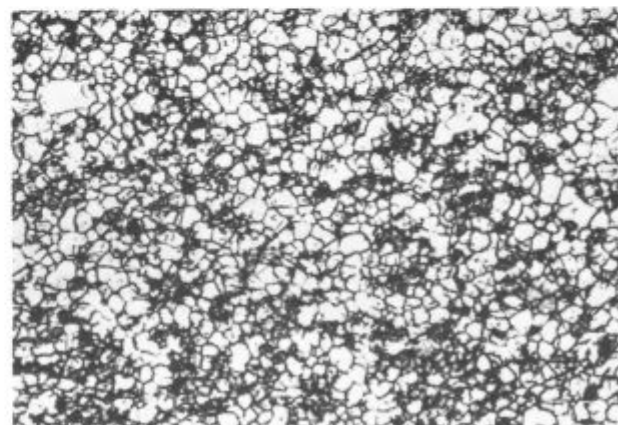
Strukture, značilne za prej naštete skupine, so prikazane na slikah 2, 3 in 4.



Slika 2
Struktura nadevtektoidnega jekla PK8
Povečava: 200 ×
Jedkalo: nital



Slika 3
Struktura ledeburitnega jekla PK9
Povečava: 200 ×
Jedkalo: nital



Slika 4:
Struktura avstenitnega jekla 214N
Povečava: 200 ×
Jedkalo: nital

Prvi strukturalni tip (slika 2) je mehko žarjena struktura ferita s karbidi. Za ta tip jekla je značilno MARTENZITNO UTRJEVANJE:

Na sliki 3 imamo strukturo mehko žarjenega jekla PK9 pri 200-kratni povečavi. Značilna so feritna zrna s primarnimi, eutektskimi karbidi. Od velikosti le-teh so odvisne plastomehanske lastnosti jekla; večji so karbidi, slabše so le-te in obratno. Tudi za to vrsto jekla je značilno MARTENZITNO UTRJEVANJE.

Naslednja skupina so avstenitna jekla, za katere je značilna osnovna struktura avstenitnih zrn z manjšim ali večjim številom karbidov in karbonitridov. Ta tip jekel se utrjuje izločevalno s STARANJEM, to je z daljšim držanjem na temperaturah okrog 700°C.

5. MEHANSKE LASTNOSTI PRI SOBNI IN POVIŠANIH TEMPERATURAH

Mehanske lastnosti ventilskih jekel prikazujemo v tabeli 2. Tabela je razdeljena na dva dela:

a) mehanske lastnosti ventilskih jekel pri sobni temperaturi,

b) natezna trdnost pri povišanih temperaturah.

Analiza mehanskih lastnosti, ki so zahtevane za ventilska jekla pri 20°C, pokaže naslednje:

— zahtevane so izredno visoke natezne trdnosti preko 1000N/mm²,

— pri vseh je določena minimalna meja plastičnosti,

— obenem pa morata biti tudi raztezek in kontrakcija v predpisanih mejah.

Tabela 2

Oznaka jekla ŽR	Toplotna obdelava	Mehanske lastnosti pri 20°C				Natezna trdnost pri temp.				
		Re (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A %	Z %	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
PK8	poboljšán	min. 685	880 1030	min. 14	min. 40	770	540	260	110	70
PK9	poboljšán	min. 685	880 1130	min. 5	min. 12	—	590	245	108	59
PK939	poboljšán	min. 785	980 1180	min. 14	min. 20	—	540	295	175	100
214N	starán	min. 590	980 1180	min. 8	min. 15	—	635	540	400	340
28304N	starán	—	max. 1250	min. 8	min. 9	—	—	835	655	450
X45	popuščan	min. 390	780 980	min. 25	min. 35	—	660	560	410	260

Opomba: mehanske lastnosti pri sobni temperaturi in povišanih temperaturah se nanašajo na končno to-

plotno obdelana stanja; katera so to, je v tabeli 2 v drugi koloni točno definirano.

Ugotovimo lahko, da zahtevamo najvišjo trdnost pri sobni temperaturi od jekla 28304N, in sicer 1250 N/mm², vsa ostala jekla pa se z natezno trdnostjo gibljejo nekje med 780 in 1180 N/mm².

S tem, ko je jeklo 28304 N najbolj trdo, ima tudi najmanjši raztezek in kontrakcijo; ta dva parametra pa imata največjo vrednost pri jeklu PK8.

Podobno primerjava za povišane temperature — to pot samo natezih trdnosti — kaže, da ima spet najvišjo trdnost jeklo 28304 N; pri temperaturi 800°C doseže še okrog 450 N/mm². Za primerjavo pogledjmo PK8, ki ima pri tej temperaturi natezno trdnost še samo 70 N/mm².

6. SKLEP

Ventilska jekla so izredno zahteven kvalitetni asortiment. Glede na njihove posebne značilnosti in zahteve se tako obnašajo tudi v fazi izdelave in plastične predelave. Ne samo, da jih spravimo skozi proizvodno pot železarne, ampak se morajo v nadaljnji predelavi enako dobro predelovati in kot končni izdelki imeti vse prej opisane lastnosti!

Literatura

Krpan — Jeraj: Laki motori, II. deo
Rodič Alenka: Sistematika in značilnosti mikrostruktur ventilskih jekel proizvodnje ŽR; R-8405.

Vsebina XIX. letnika Železarskega zbornika

Smajič Nijaz — Metalurški inštitut Ljubljana Pomen in vloga silicija pri izdelavi nerjavnega jekla 2. del: Termično ravnotežje Si-C v VOD napravi in Si-Cr v EO peči		
Švajger Milan — Železarna Ravne J. Lamut — Metalurški inštitut Ljubljana Izkušnje Železarne Ravne na področju tehnologije, kontrole kakovosti in raziskav v EPŽ proizvodnji Nove knjige Arh Jože, J. Triplat — Železarna Jesenice Izkušnje Železarne Jesenice pri izdelavi nerjavnih jekel po duplex postopku EO peč — VOD naprava Triplat Jože, J. Arh — Železarna Jesenice Dosežki pri izdelavi dinamo jekel v VOD napravi v Železarni Jesenice	1	75
Smajič Nijaz — Metalurški inštitut Ljubljana Optimiranje EOP — VOD postopka proizvodnja nerjavnih jekel		
Brudar Božidar — Železarna Jesenice Matematični model toplotnega stanja livne ponovce pri ogrevanju in vlivanju Tehnične novice Marinšek Filip Nove elektro pločevine v Železarni Jesenice		
Prešern Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana Vloga raziskovalne dejavnosti v razvojni politiki slovenske metalurgije		
Todorović Gojko, B. Dobovišek, J. Lamut — Metalurški inštitut Ljubljana L. Šketa, M. Tolar — Železarna Jesenice Direktna redukcija mangana iz železovih rud		
Prešern Vasilij, T. Debelak — Metalurški inštitut Ljubljana G. Manojlović, P. Bračun — Železarna Štore Tehnološke možnosti izdelave kvalitetnih jekel z uvedbo postopka vpihovanja CaSi v SŽ Železarni Štore	17	85
Kveder Aleksander — Metalurški inštitut Ljubljana Prispevek k osvajanju jekel z dualno mikrostrukturo	25	89
Smajič Nijaz — Metalurški inštitut Ljubljana Raziskovalno delo na področju optimiranja proizvodnje nerjavnih, ognjeobstojnih in kemično obstojnih jekel	31	93
Glogovac Branislav, T. Kolenko, B. Koroušič, F. Rus — Metalurški inštitut Ljubljana Kontrola regulacije razmernika zraka z uporabo kisikove sonde	39	99
Ule Boris, F. Vodopivec — Metalurški inštitut Ljubljana A. Rodič — Železarna Ravne Popustna krhkost utopnega jekla	47	103
Arzenšek Boris, L. Kosec, I. Kos, A. Godec — Metalurški inštitut Ljubljana Vlečenje žice iz orodnega jekla Č 4650	53	105
Torkar Matjaž, F. Vodopivec — Metalurški inštitut Ljubljana A. Rodič, J. Rodič — Železarna Ravne Raziskava mikroizcejev v jeklu UTOP Mo₂ s strjevalno mikrostrukturo	55	111
Kmetič Dimitrij, F. Vodopivec, J. Žvokelj — Metalurški inštitut Ljubljana Medlamelarna razdalja v podeltektoidnih jeklih	61	117
Koroušič Blaženko — Metalurški inštitut Ljubljana J. Šegel — Železarna Ravne Vključitev procesnega računalnika v raziskovalno delo na metalurškem inštitutu v Ljubljani	67	123
Za boljši jezik	71	127
Kaker Henrik — Železarna Ravne Uporaba energijsko dispersijskega spektrometra pri preiskavi jekel		
Kaker Henrik, A. Rodič, S. Petovar — Železarna Ravne Primerjava vključkov v skladiščno in vakuumsko izdelanem jeklu ZF 6		
Brudar Božidar — Železarna Jesenice Računanje sipanega magnetnega polja s pomočjo metode končnih diferenc		
Tehnične novice Kovačič Stanislav — Železarna Ravne Legirani jekleni odpadki — veliko vredna sekundarna surovina		
Kos Ivan — Železarna Ravne Ventilska jekla		

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani dr. Jože Rodič, dipl. inž., Franc
Mlakar, dipl. inž., dr. Aleksander Kveder, dipl. inž., dr. Ferdo Grešovnik,
Darko Bradaškja, tehnični urednik

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS
— sekretariat za informacije št. 421-1/172 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: ZPSŽ — Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, tel. št. 81-341
int. 2619 — Tisk: TK »Gorenjski tisk«, Kranj

VSEBINA

UDK: 669.14.29:620.1
ASM/SLA: S 13 c

Neporušne preiskave — elektromagnetne metode — sipana polja

B. Brudar:

Računanje sipanega magnetnega polja s pomočjo metode končnih diferenc

Železarski zbornik 19 (1985) 4 S 117—121

Pri raziskavah sipanega magnetnega polja na napaki v feromagnetnem materialu je prišlo do dveh nasprotujočih si trditev. Dr. F. Förster namreč trdi, da je signal, ki ga običajno merimo pri sipanju polja, odvisen le od globine razpoke. Prof. V. Lord in dr. G. Dobmann pa trdita, da na velikost signala vpliva tudi širina napake. Dr. Dobmann je porazdelitev enosmernega magnetnega polja izračunal z metodo končnih elementov, dr. Förster je pa to polje izmeril.

V članku je rešen problem z metodo končnih diferenc. Pokazalo se je, da ima dr. Förster prav, če gre za razpoke, pri katerih je razmerje globine proti širini manjše ali enako 10. Če gre pa za ožje razpoke, ki so v praksi v večini in ki jih ni mogoč praktično preveriti, postane pa tudi širina vplivni faktor. V vsakem primeru pa so tudi rezultati, ki jih je objavil dr. Dobmann, napačni.

Avtorski izvleček

UDK: 621.385.83.2
ASM/SLA: M 21 e, S 11 p

Elektronska mikroskopija — rentgenska analiza

H. Kaker

Uporaba energijsko disperzijskega spektrometra pri preiskavah jekel

Železarski zbornik 19 (1985) 4 S 105—110

Članek opisuje osnovni princip in zgradbo energijsko disperzijskega spektrometra, ki se pri raster elektronskem mikroskopu uporablja za rentgensko mikroanalizo vzorcev. Podani so praktični primeri uporabe energijsko disperzijskega spektrometra pri analizi prelomne površine, jeklarske žindre in mikrostrukture jekla.

Avtorski izvleček

UDK: 620.186.14
ASM/SLA: M, 9-69

H. Kaker, A. Rodič, S. Petovar

Primerjava vključkov v klasično in vakuumsko izdelanem jeklu ZF 6

Železarski zbornik 19 (1985) 4 S 111—116

Članek podaja primerjavo nekovinskih vključkov med klasično in vakuumsko izdelanem jeklu za cementacijo z 0,15—0,19 % C, 1,01—1,16 % Mn, 0,85—1,15 % Cr in 0,001—0,004 % B. Preiskava nekovinskih vključkov je bila izvršena z OM, REM, EDS in analizatorjem za kvantitativno analizo slike na zlomljenih »ušesih« preizkušancev za ZF metodo preizkušanja žilavosti cementiranih materialov.

Rezultati analize kažejo, da ne nastopa bistvena razlika v porazdelitvi nekovinskih vključkov med obema tehnologijama. Povprečna velikost preiskovanih vključkov pri klasično izdelanih šaržah je $10,48 \mu\text{m}^2$ in pri vakuumsko izdelanih šaržah $6,77 \mu\text{m}^2$.

Avtorski izvleček

INHALT

UDK: 621.385.83.2

ASM/SLA: M 21 e, S 11 P

Elektronenmikroskopie — Röntgenanalyse

H. Kaker

Anwendung des Energiedispersionspektrometers bei der Untersuchung von Stahl

Železarski zbornik 19 (1985) 4 s 105—110

In Artikel wird der Grundprinzip und der Aufbau des Energiedispersionspektrometers, welcher beim Rasterelektronenmikroskop für die röntgenographische Mikroanalyse der Proben angewendet wird, beschrieben. Praktische Beispiele der Anwendung des Energiedispersionspektrometers bei der Analyse der Bruchflächen, der Stahlschlacke und des Mikrogefüges von Stahl sind angegeben.

Auszug des Autors

UDK: 669.14.29.620.1

ASM/SLA: S 13 c

Zerstörungsfreie Prüfverfahren — Elektromagnetische Methoden — Streuflussverfahren

B. Brudar

Magnetische Streuflüsse gerechnet nach der Methode der endlichen Differenzen

Železarski zbornik 19 (1985) 4 s 117—121

Die Forschungen des magnetischen Streuflussverfahrens in ferromagnetischen Materialien sind zu zwei gegensätzlichen Schlussfolgerungen gekommen.

Dr. F. Förster behauptet nämlich, dass das Signal, das normalerweise bei dem Streuflussverfahren gemessen wird, nur von der Tiefe des Risses abhängig ist. Prof. V. Lord und dr. G. Dobmann aber behaupten, dass die Grösse des Signals auch durch die Breite des Risses beeinflusst ist. Dr. Dobmann hat die Magnetfeldverteilung ausgerechnet mit der Methode der endlichen Elemente, während dr. Förster diese Felder gemessen hat.

Im Artikel ist das gleiche Problem mit der Methode der endlichen Differenzen gelöst worden. Es hat sich gezeigt, dass dr. Förster recht hat, wenn es sich um einem Riss handelt, wo das Verhältnis der Ristiefe gegen die Breite kleiner oder gleich 10 ist. Wenn es aber um engere Risse geht, die in der Praxis in der Mehrheit sind und die von dr. Förster nicht praktisch geprüft werden konnten, dann wird auch die Breite ein sehr wichtiger Einflussfaktor.

In jedem Fall sind auch die von dr. Dobmann veröffentlichten Resultate falsch.

Auszug des Autors

UDK: 620.186.14

ASM/SLA: M, 9-64

Metallurgie — Metallography — nichtmetallische Einschlüsse

H. Kaker, A. Rodič, S. Petovar

Vergleich nichtmetallischer Einschlüsse in einem konventionell und unter Vakuum erzeugten Stahles ZF 6

Železarski zbornik 19 (1985) 4 s 111—116

Im Artikel wird ein Vergleich nichtmetallischer Einschlüsse zwischen dem konventionell und unter Vakuum erzeugten Einsatzstahles mit 0,15—0,19 % C, 1,01—1,16 % Mn, 0,85—1,15 % Cr und 0,001—0,004 % B gegeben. Die Untersuchung nichtmetallischer Einschlüsse ist durch die OM, REM, EDS und dem Analysator für die quantitative Bildanalyse von Bruchflächen der Proben für die ZF Prüfmethode der Zähigkeit einsatzgehärteter Stähle durchgeführt worden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen auf keinen wesentlichen Unterschied in der Verteilung nichtmetallischer Einschlüsse zwischen den beiden Technologien. Durchschnittliche Grösse der untersuchten Einschlüsse bei den konventionell erzeugten Schmelzen ist $10,48 \mu\text{m}^2$ und bei den im Vakuum erzeugten Schmelzen $6,77 \mu\text{m}^2$.

Auszug des Autors

СОДЕРЖАНИЕ

UDK: 669.14.29:620.1

ASM/SLA: S 13 c

Исследования без разрушения — электромагнитные методы — поле рассеяния

B. Brudar

Вычисление рассеяния магнитного поля методом конечных разностей.

Železarski zbornik 19 (1985) 4 С 117—121

При исследовании рассеяния магнитного поля на ошибки в ферромагнитном материале оказались два противоположных утверждения. Указанный Др. Ф. Ферстер утверждает, что сигнал, которого мы обыкновенно измеряем при рассеивании магнитного поля зависит только от глубины трещины. Проф. В. Лорд и Др. Г. Добманн в свою очередь утверждают, что на величину сигнала влияет также ширина трещины. Др. Добманн вычислил распределение одностороннего магнитного поля методом конечных элементов, Др. Ферстер же это поле измерил.

Этот же самый вопрос разрешен в этой статье методом конечных разностей. Оказалось, что утверждение Др. Ферстера отвечает определению, если оно касается трещины при, которой отношение глубины против ширины меньше или же равняется 10. Если же трещина уже, что чаще всего случается в практике, и которые Др. Ферстер не мог проверить, то влиятельным фактором является также и ширина. Во всяком случае результаты, которые объявил Др. Добманн ошибочны.

Автореф.

UDK: 621.385.83.2

ASM/SLA: M 21 e, S 11 p

Электронная микроскопия — рентгеновский структурный анализ

H. Kaker

Применение энергетического дисперсионного спектрометра при исследовании сталей

Železarski zbornik 19 (1985) 4 С 105—110

В статье описан основной принцип и конструкция энергетического дисперсионного спектрометра, который при растровом электронном микроскопе употребляется для рентгеновского микроанализа образцов.

Приведены практические примеры употребления энергетического дисперсионного спектрометра при анализе поверхности излома образцов, шлака стали и микроструктуры стали.

Автореф.

UDK: 620.186.14

ASM/SLA: M, 9-69

Металлургия — металлография — неметаллические включения

H. Kaker, A. Rodič, S. Petavar

Сравнение включений в стали марки CF 6 изготовленной классическим способом и в вакууме.

Železarski zbornik 19 (1985) 4 С 111—116

В статье приводится сравнение неметаллических включений в цементуемой стали с содержанием 0,15—0,19% С, 1,01—1,16% Мп, 0,85—1,15% Сг и 0,001—0,004% В, изготовленной классическим способом и в вакууме. Исследование неметаллических включений было выполнено с растормным электронным микроскопом (REM), энергетическим дисперсионным (EDS) и ОМ микроскопами, также с анализатором количественного анализа изображения на изломанных проушинах образцов, что следовало методу исследования вязкости цементуемых материалов.

Результаты показывают, что существенных разниц при распределении неметаллических включений между обеими технологиями не оказываются. Средняя величина исследованных включений при расплавах изготовленных классическим способом составляет 10,48 μm^2 и в расплавах изготовленных в вакууме — 6,77 μm^2 .

Автореф.

CONTENTS

UDK: 621.385.83.2

ASM/SLA: M 21 e, S 11 p

Electron Microscopy — X-Ray Analysis

H. Kaker

Application of the Energy-Dispersion Spectrometer in Investigation of Steel

Železarski zbornik 19 (1985) 4 P 105—110

The paper gives the basic principles and the design of the energy-dispersion spectrometer which is used for the X-ray analysis of samples in the scanning microscope. Practical examples of the application of the EDS in analyzing fracture surface, steelmaking slag, and steel microstructure are presented.

Author's Abstract

UDK: 669.14.29:620.1

ASM/SLA: S 13 c

Nondestructive testing — Electromagnetic Methods — Leakage fields

B. Brudar

Magnetic Leakage Fields Calculated by the Method of Finite Differences

Železarski zbornik 19 (1985) 4 P 117—121

The investigations of the magnetic leakage fields due to the defect in the ferromagnetic material lead to two contradictory statements.

Dr. F. Förster namely says that the signal, that is usually measured with the magnetic leakage fields, depends only on the depth of the crack. Prof. V. Lord and dr. G. Dobmann are saying however that also the width of the defect influences the magnitude of the signal. Dr. Dobmann calculated the distribution of the d. c. magnetic field by the method of finite elements, while dr. Förster measured the stray fields.

In the article the same problem is solved by the method of finite differences. It has been shown that dr. Förster is right, when the ratio depth against width of the crack is smaller than or equal to 10. However with the tighter cracks, that are prevailing in the practical work and that could not be experimentally proved by dr. Förster, also the width becomes a very important factor. In any case, however, the results published by dr. Dobmann are wrong.

Author's Abstract

UDK: 620.186.14

ASM/SLA: M, 9-69

H. Kaker, A. Rodič, S. Petovar

Comparison of Inclusions in Standard and in Vacuum-made ZF 6 Steel

Železarski zbornik 19 (1985) 4 P 111—116

The paper gives the comparison of nonmetallic inclusions in standard and in vacuum-made case-hardenable steel with 0.15 to 0.19% C, 1.01 to 1.16% Mn, 0.85 to 1.15% Cr, and 0.001 to 0.004% B. The investigation of nonmetallic inclusions was made in optical and in scanning microscope, with an energy-dispersion spectrometer and the analyzer for quantitative analysis of pictures of broken wedges of test specimens for the ZF toughness testing method of case-hardened materials.

Results of the analysis show that no essential difference was observed regarding the distribution of nonmetallic inclusions. The average size of the investigated inclusions in steel made by the standard technology was $10.48 \mu\text{m}^2$, and in the vacuum-made steel $6.77 \mu\text{m}^2$.

Author's Abstract

