

## Šesta mednarodna konferenca o vakuumski in specialni metalurgiji

San Diego, California, 23—27. april 1979

B. Koroušič, J. Rodič

### 1. UVOD

Tradicionalnim internacionalnim konferencam o vakuumski metalurgiji, ki imajo svoj začetek v letu 1950, se je po letu 1970 priključilo tudi področje specialne metalurgije z znanimi sekundarnimi postopki:

- električno pretaljevanje pod žlindro (EPZ)
- plazma
- elektronski curek

Paralelno z omenjeno konferenco je potekalo tudi internacionalno srečanje strokovnjakov s področja vakuumskega nanašanja tankih plasti (coatings).

Šeste internacionalne konference v San Diegu se je udeležilo rekordno število udeležencev (okoli 660) iz več kot 15 dežel Amerike, Evrope, Azije in Avstralije.

Simpozij je bil v velikem kompleksu hotelov Town and Country Hotel v San Diegu v organizaciji ameriškega vakuumskega združenja (ASM) in ameriškega združenja kovinarjev.

Bilo je skupaj 70 predavanj, ki so bila organizirana v 8 sekcijah, s čimer je bila dana možnost, da se udeležimo praktično vseh predavanj.

Na kongresu so bile obdelane naslednje teme:

- pregled in kritična ocena različnih tehnologij na področju specialne metalurgije,
- rafinacija tekoče kovine,
- vakuumska metalurgija,
- primarni talilni agregati,
- osnove procesa pretaljevanja kovin in zlitin pod žlindro,
- tehnologija izdelave EPZ-ingotov,
- uporaba, oprema in kontrola EPZ-postopka,
- specialna talilna oprema in novi postopki,
- interdisciplinarnе tehnologije (elektrolitje pod žlindro), termo-mehanska obdelava kovin v zaščitni atmosferi.

Pred pričetkom simpozija so vsi udeleženci dobili kratke izvlečke vseh predavanj, kar je služilo kot vodilo pri spremljanju referatov in pripravi vprašanj za diskusijo.

Vsa predavanja bodo publicirana v posebni izdaji »proceedings«, tako da se bova v tem poročilu omejila na tiste teme, ki so za bralce v Jugoslaviji posebnega pomena.

### 2. DOSEŽKI NA PODROČJU SPECIALNE METALURGIJE

V svojem plenarnem predavanju je **W. Holzgruber** (INTECO, Avstrija) podal pregled najnovejšega razvoja procesov s področja specialne metalurgije. Orisal je tendence na področju izdelave kvalitetnih jekel v elektro-obločnih pečeh s posebnim poudarkom čedalje večje uporabe ponovne metalurgije in posebnih postopkov (AOD, CLU itd.). Izredno hitro narašča v svetu uporaba postopkov za vpihovanje sintetičnih žlinder, Ca-zlitin, posebnih modifikatorjev, ki omogočajo odpravo žvepla, nekovinskih vključkov, ki direktno vplivajo na strukturo strjenega jekla.

Zelo ilustrativno in zanimivo je bilo predavanje **G. Hoyle** (British Steel Corp., Sheffield Laboratories, Anglija), ki je v seriji barvnih slik prikazal praktično celotni pregled danes znanih postopkov za sekundarno rafinacijo jekla.

Izhajajoč iz kompleksne slike, ki zajame vpliv številnih parametrov: žlindra-atmosfera-temperatura-vpihavanje-mešanje razvrsti vse znane postopke v skupine. Analiza značilnosti posameznih postopkov je pokazala, da ima vsak postopek nekaj pozitivnih, toda tudi nekaj negativnih lastnosti. Na splošno je ugotovljeno, da je izboljšanje kvalitete obdelane ali pretaljene kovine odvisno predvsem od vsebnosti nekovinskih vključkov, plinov ter mehanizma strjevanja kovine.

**Inonye, M. z Nagoja univerze** (Japonska) je podal pregled novejšega razvoja in raziskav na področju električnega pretaljevanja pod žlindro na Japonskem. Omenjene so raziskave in aktivnosti s področja fizikalne kemije procesov, termične karakteristike EPZ, fizikalne lastnosti žlinder, fenomeni pri strjevanju EPZ-ingotov ter študij napak na površini EPZ-ingotov.

Vsekakor zasluži posebno pozornost predavanje **Spetzler, E. in H. F. Haastert** (Standard Messo, Thyssen, Zahodna Nemčija), v katerem so podani novejši rezultati s področja vakuumske obdelave tekočega jekla z znanimi postopki: VOD, VAD, RH, TN. Poudarjen je vpliv vakuumske obdelave jekla na vsebnost nekovinskih vključkov, izkoristek v nadaljnji termo-mehanski predelavi ipd. Omenjeni so tudi rezultati, dobljeni s kombinacijo vakuumskih postopkov in z vpihavanjem Ca-zlitin. O podobnih rezultatih so poročali tudi strokovnjaki iz firme Lectromelt, Pittsburg (ZDA). Ti avtorji so poudarili pomen kombinacije različnih postopkov, kar je pri današnji zelo veliki raznolikosti postopkov velikega pomena.

Opisan je blok-koncept s praktičnimi rezultati, ki so bili dobljeni pri izdelavi nerjavnih jekel po AOD-postopku.

Zelo veliko zanimanje je izzvalo predavanje skupine japonskih avtorjev: **K. Suzuki, K. Janiguchi, S. Watanabe** (Japan Steel Works, Tokyo).

Pri izdelavi velikih ingotov predstavljajo velik problem makro-segregacije. Z uvedbo procesa ogljikove vakuumske dezoksidacije (VCD) so znatno izboljšali kvaliteto velikih kovaških ingotov, teže do 35 ton, in sicer pri nizko legiranih jeklih, posebej NiCrMoV jeklih. Brez uspeha so ostali poskusi pri ogljikovih jeklih.

Enako zanimiva je tudi razlaga mehanizma tvorbe »A« segregacij pri velikih ingotih v povezavi s kemično sestavo jekla. Ugotovljena je kritična vrednost, ki uravnava količino strjene frakcije pred S-fronto ter vpliv silicija na tvorbo A — segregacij.

**Narita, K. in sodelavci** (Kobe Steel, Ltd, Japonska) so poročali o industrijskih poskusih modifikacije oblike sulfidnih vključkov s t. i. TN-postopkom. Gre za vpihovanje kalcija v tekoče jeklo ter kontrolo žvepla in reakcij, ki spremljajo ta proces. Uporaba matematičnega modela je omogočila optimizacijo procesa (pomen globine koplja, diameter pihalice, pretok Ar itd.).

Aplikacija TN-postopka omogoča doseganje izredno nizkih vsebnosti žvepla (celo 0,0030 % S), in kar je še bolj pomembno, kontrola oblike vključkov je skoraj popolna. Omenjen je vpliv žlindre, ki pokriva tekoče jeklo med obdelavo. Primerjava mehanskih lastnosti (anizotropija vlečenega jekla) je pokazala, da se lastnosti pločevine za velike plinovode podaljšalo tudi 70—80 %.

Železarna Ravne (**J. Rodič, J. Segel**) se je predstavila s pomembnim predavanjem o uporabi procesnega računalnika v jeklarni in njegovi vlogi pri zagotavljanju kako-

vosti jekel. Predavanje je vzbudilo precej zanimanja, kar je dokaz, da je tema bila zelo aktualna in na nadpovprečno visokem nivoju. Obdelani so konkretni primeri iz prakse, med katerimi izstopa kontrola delta-ferita v avstenitnih, nerjavnih jeklih ter problemi kaljivosti kvalitetnih jekel iz proizvodnega programa Železarne Ravne.

Iz četrte sekcije predavanj bi omenili prve rezultate (**H. Jäger** iz Vereinigte Edelmetallewerke, Kapfenberg, Avstrija), dobljene z vakuumskim taljenjem superzlitin in titana z neporabno (Schlienger) elektrodo. Pri tem postopku gre za specialni postopek pretaljevanja odpadkov z rotirajočo, vodnohlajeno elektrodo. Postopek je zelo fleksibilen in se uporablja za različne namene od taljenja, pretaljevanja, izdelave prahu s plazma gorilniki, izdelave elektrod do legiranja tekoče kovine in podobno.

Vsa predavanja v 5. sekciji so izbrana s področja izdelave velikih ingotov s konvencionalnim EPZ-postopkom, pa tudi s posebnimi EPZ-tehnikami:

**Thomas, F. W. in O. Stencel** (Leybold-Heraeus, Hanau, Zahodna Nemčija) sta poročala o vplivu različnih procesnih parametrov na fenomene gibanja žilindre in tekoče kovine. Ze delno publicirane rezultate so razširili z nekaterimi konkretnimi primeri, ki so povezani s prenosom mase in toplote, metalurškimi napakami in podobno.

O podobnih rezultatih so poročali tudi **A. Choudhury, R. Jauch, F. Tince** (Stahlwerke Röchling — Burbach, Zahodna Nemčija), ki so opisali že dokaj znano EPZ-peč za izdelavo zelo velikih EPZ-ingotov, teže do 220 ton.

Težišče raziskav se nanaša na vpliv nizke frekvence na stopnjo odžveplanja, odpravo silicija, obnašanje aluminija ter kontrolo teh elementov med procesom taljenja.

Naslednja tri predavanja se nanašajo na izdelavo velikih kovaških ingotov, pri katerih se uporablja specialna EPZ-tehnika:

**Basevi S., R. Scepi** (Terni Societa per l'industria el' Electricita, Italija) sta poročala o t. im. TREST-postopku za izdelavo velikih ingotov za odkovke rotorjev za turbine konvencionalnih in nuklearnih central.

Proces sestoji iz litja v konvencionalno kokilo (v zaščitni atmosferi), ki ima podaljšek iz ognjevzdržnega materiala, ki ščiti kokilo pred delovanjem kemično aktivne žilindre. Drugi del procesa predstavlja odtaljevanje elektrode, dokler ingot ni kompletno strjen. Maksimalna teža ingota je 9 ton.

**Machner, P.** (Vereinigte Edelmetallewerke, Kapfenberg, Avstrija) je poročal o znanem BEST-postopku, ki je v principu identičen že opisanemu TREST-postopku z določenimi modifikacijami:

- zaščitna glava (kovinska) — pri hot toppingu
- uporaba dveh porabnih elektrod
- litje zaključnega dela velikih vlitkov (Caplan turbine lopatice, super zlitin na osnovi Ni in Ti itd.).

O že znanem MHKW-postopku so poročali strokovnjaki Klöcknerwerke AG, (Osnabrück, Zahodna Nemčija): **Austel, W., H. Heymann, Ch. Maldorn.** Po tem postopku so izdelali že ingot, teže 200 ton (kvaliteta: SA 508), za potrebe tlačne posode nekega reaktorja. Izkoristek po kovanju je znašal 80%. Mehanske lastnosti jekla, izdelanega po MHKW-postopku, ustrezajo vsem tehnično-varnostnim pogojem, ki jih zahteva naročnik.

V šesti sekciji so bili predstavljeni rezultati temeljnih, osnovnih raziskav s področja električnega pretaljevanja pod žilindro:

**Mitchell, A.** (University of British Columbia, Vancouver, Canada): Optimalna hitrost taljenja pri VOP in EPZ-procesu;

**Morlet, J., J. F. Wadier** (Creusot Loire, Acieries d'Imphy, Francija): Izračunavanje in merjenje lokalno-strjevalnega časa pri pretaljevanju superzlitin;

**Szekely, J., M. Coudhary** (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, ZDA): Modeliranje profila kopeli ter temperaturnega polja in toka mase pri EPZ-sistemih;

**Takahama, K., T. El. Gammal** (Institut für Eisenhüttenkunde, Aachen, Zahodna Nemčija): Matematični model za študij strjevalnih karakteristik EPZ-ingotov;

**Kawakami, M., K. S. Goto** (Tokyo Kogyo, Tokyo, Japonska): Profil temperaturnega in električnega potencialnega polja v žilindri in kovinski kopeli med EPZ-procesom;

**Medovar, B. I. in sodelavci** (Paton electric institute, Kiev, SSSR): EPZ-proces z uvajanjem kovinskih delcev;

**Hoyle, G.** (BSC, Sheffield Laboratories, Anglija): Površinski fenomeni pri EPZ-ingotih;

**Mellberg, P. O.** (Royal Institute of Technology, Stockholm, Švedska): Temperaturne meritve v žilindri in kovinski kopeli pri EPZ-procesu;

Podobno predavanje so imeli tudi Jeanfils, C. L. in sodelavci.

Od predavanj iz 7. skupine naj omenim zelo zanimivo predavanje **Pocklington, D. N. in sodelavci**: Izdelava slabov visoke kvalitete s trofazno EPZ-pečjo, moči 9 MVA v jeklarni Dalzell (Škotska). Avtorjeva izvajanja so bila zanimiva predvsem zaradi številnih eksperimentalnih podatkov: avtomatsko vodenje procesa, kontrola nivoja žilindre, računalniška obdelava podatkov, vzdrževanje kokil, kontrola aluminija in številne druge tehnološke novosti.

V drugem delu 7. sekcije smo slišali dva tehtna prispevka s področja računalniškega vodenja EPZ-procesa:

**Thomas, F. W., H. Birck** (Leybold-Heraeus GMBH, Hanau, Zahodna Nemčija): Digitalna kontrola EPZ-peči ter

**Chen, J. H. in sodelavci** (Stellite Division, Cabot Co., Kokomo, ZDA): Računalniška kontrola EPZ-procesa.

Čedalje večje zahteve po kvaliteti EPZ-procesa narekujejo visoko-reproduktivnost tehnoloških parametrov in minimalne ekonomske stroške. Tehnični nivo sodobnih EPZ-naprav dovoljuje postavitev matematičnega modela, ki omogoča optimizacijo vseh procesnih parametrov, (moč taljenja, talilni tok, napetost, hitrost taljenja itd.) in nato njihova kontrola s procesnim računalnikom. Na osnovi danega materiala in diskusije smo prišli do zaključka, da je današnji trend v svetu v celoti v nakazani smeri in da računalniško vodenje procesa omogoča doseganje večje kvalitete jekla pri minimalnih obratovalnih stroških.

Zadnja, osma sekcija je bila posvečena problematiki v zvezi z izdelavo opreme za tehnologijo s področja vakuumskega indukcijskega taljenja, taljenja temperaturno obstojnih materialov, vakuumskega litja, specialnega konti-litja in podobno.

Od ostalih predavanj je potrebno, da omenimo dve tehtni predavanji sovjetskih strokovnjakov iz inštituta za varilno tehniko:

Elektro-litje specialnih kontejnerjev visokega pritiska za nuklearne centrale in Elektro-litje velikih ojníc za ladijske diesel motorje.

Obe predavanji sta izzvali precejšnje zanimanje zaradi specifičnosti proizvodnje ter relativno visoke stopnje mehaniziranosti tehnološkega procesa.

Zadnji dve predavanji predstavljata današnji trend iskanja novih žilindrin sistemov za potrebe EPZ-procesa, s čimer bi se delno izognili problemu dobave deficitarnih surovin (predvsem CaF<sub>2</sub>), izboljšali ekološke probleme (emisija F-spojnin) in dosegli večjo kvaliteto EPZ-jekla:

**Rawson, J. D. W. in sodelavci** (BSC, Sheffield, Anglija): Uporaba EPZ-žilindri brez CaF<sub>2</sub>, oziroma z nizko vsebnostjo CaF<sub>2</sub> ter

**Tokumitsu, N. in sodelavci** (Nippon Steel Corporation, Kawasaki, Japonska): Izdelava nerjavnih jekel ultra visoke čistote z uporabo žilindre CaF<sub>2</sub>-Ca.

Pri teh poskusih gre za laboratorijske poskuse, ki so v strogo kontroliranih pogojih dali zelo zadovoljive rezultate. Lahko pričakujemo njihovo skorajšnje uvajanje v industriji.

Šesta konferenca o vakuumski in specialni metalurgiji v San Diegu, ZDA je ponovno pokazala, da je na internacionalnem prostoru prišlo do novega razvoja na področju procesne tehnike in tehnologije specialnih metalurških postopkov. Večina priznanih strokovnjakov je v javnih in osebnih diskusijah poudarila veliko odgovornost investitorjev v opremo z omenjenega področja zaradi izredno hitrega razvoja novih postopkov. Prav gotovo, da je kritična ocena tehnoloških značilnosti vseh teh postopkov možna le z direktnim vključevanjem v internacionalno strokovno sfero. Ta način sodelave je danes v celoti izpodrinil klasično miselnost, da za dobro informiranost zadošča študiranje strokovne literature in kritična ocena prospektov proizvajalcev ustrezne opreme.