

# Razvoj električnega pretaljevanja jekel pod žlindro v Železarni Ravne\*

UDK: 669.162.263  
ASM/SLA: D8n

Jože Rodič

Članek, kot povzetek uvodnega referata na mednarodnem posvetovanju, daje pregled desetletnega razvoja proizvodnje in raziskav na področju električnega pretaljevanja jekel pod žlindro (EPŽ) v Železarni Ravne. Železarna danes razpolaga z dvema EPŽ napravama, od katerih ena proizvaja ingote od  $\varnothing$  220–500 mm do maksimalne teže 4 t, druga pa ingote od  $\varnothing$  500–1000 mm in brame 1000 mm  $\times$  500 mm do maksimalne teže 36 t. Skupna proizvodnja EPŽ jekel je 4300 t letno.

Članek obravnava glavne značilnosti, pregled dosedanjega razvoja, današnje proizvodne možnosti, opis tehnološkega postopka in smernice nadaljnjega razvoja.

Zbrane so dosedanje izkušnje v proizvodnji, raziskavah in v uporabi teh jekel po tesnem sodelovanju z uporabniki.

Kljub temu, da je bilo s tega področja že veliko publikacij, so bile v uvodnem referatu posvetovanja, na katerem so se zbrali številni proizvajalci in uporabniki EPŽ jekel, zbrane vse najpomembnejše izkušnje o vplivih EPŽ postopka na osnovne lastnosti jekel in na specifične lastnosti nekaterih skupin proizvodov. S tem so določeni tudi razlogi za uporabo EPŽ postopka v proizvodnji specialnih jekel.

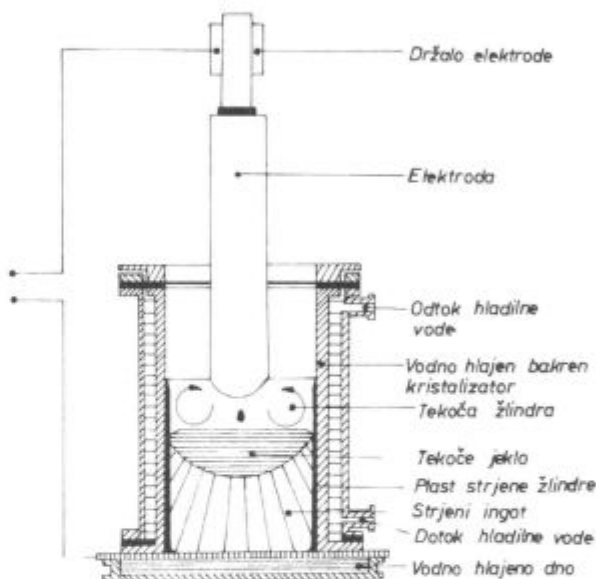
Postopek električnega pretaljevanja jekel pod žlindro je bil uveden v redno proizvodnjo Železarne Ravne<sup>1</sup> v letu 1973 z manjšo EPŽ napravo za ingote do 2 t, ki je bila kanseje rekonstruirana za proizvodnjo ingotov do 4 t. V letu 1983 je začela obratovati nova najmodernejša EPŽ naprava za ingote do 36 t.

V desetletju proizvodnje smo zbrali bogate izkušnje in uspešno opravljali obsežno raziskovalno-razvojno delo na tem posebnem področju moderne sekundarne metalurgije.

Princip EPŽ postopka je poznan že od leta 1930, vendar je do pomembnejše industrijske uporabe tega postopka prišlo šele v obdobju 1958–1962 (slika 1).

Slika 2 prikazuje razvoj EPŽ postopka v svetu, slika 3 pa v Evropi, žal brez upoštevanja vzhodnih držav, za katere ni na razpolago dovolj zanesljivih podatkov. Moramo pa pripomniti, da je v teh državah EPŽ postopek zelo uveljavljen in da je posebno v Sovjetski zvezi proizvodnja EPŽ jekla velika.

Od uvedbe v proizvodnjo leta 1973 do danes se je vloga EPŽ postopka na področju sekundarne metalurgije močno spremenila. Takrat je bilo za EPŽ — posto-



Slika 1  
Shema EPŽ-peči

Fig. 1  
Scheme of ESR furnace

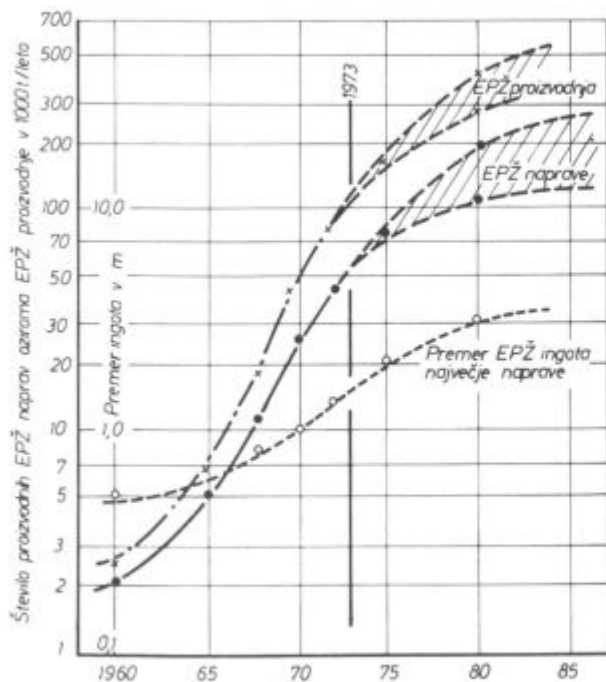
pek še najpomembnejše zagotavljanje čistosti in močnega odžveplanja jekla. Danes to v veliki meri skoraj enakovredno omogočajo najmodernejši jeklarski postopki ponovne metalurgije, ki so bistveno cenejši in produktivnejši. Zato pa postaja posebno pri večjih ingotih vse bolj odločilnega pomena kontrolirana in usmerjena kristalizacija EPŽ jekla — Ta precej izboljša predelavno sposobnost jekla, obenem pa zagotavlja mehanske lastnosti, izotropnost ter nekatere druge tehnološke in uporabne lastnosti jekla, kakršnih ni mogoče pričakovati pri nobenem drugem danes poznanim postopku.

Prva EPŽ naprava tipa R 951-U v železarni Ravne je sovjetskega izvora in je imela v originalni izvedbi naslednje karakteristike:

- ena porabna elektroda in nepremični vodno hlajen kristalizator,
- dimenzije EPŽ ingota 400 mm  $\times$  400 mm  $\times$  max. 1800 mm,
- maksimalna teža EPŽ ingota 2200 kg,
- produktivnost največ 500 kg na uro,
- omejitve dimenzij porabnih elektrod za kristalizator kv. 400 mm:
  - =  $\varnothing$  180 do 280 mm,
  - = kv. 220 do 270 mm,
  - = dolžina taljenega dela 4000 do 5800 mm,

\* Uvodni referat na mednarodnem posvetovanju »ELEKTRIČNO PRETALJEVANJE JEKEL POD ŽLINDRO« 12. aprila 1984 v Železarni Ravne.

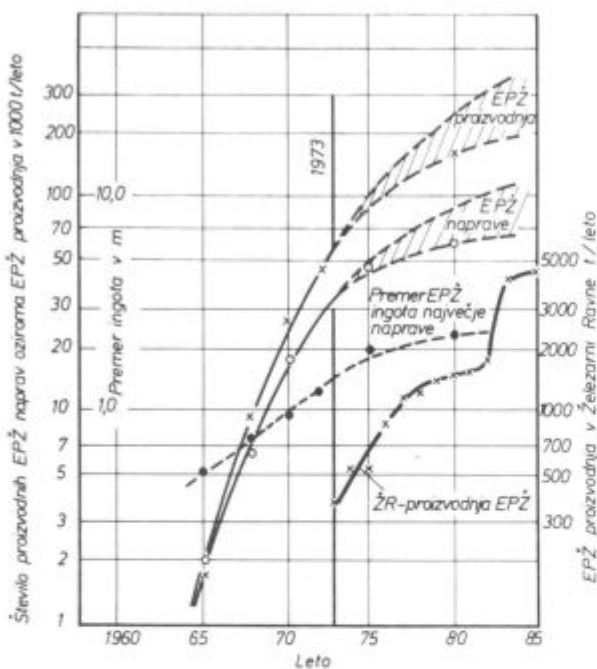
Dr. Jože Rodič, dipl. inž. metalurgije je vodja službe za razvoj in raziskave v SOŽD Slovenske železarne, Ljubljana.



Razvoj EPŽ-postopka v svetu brez upoštevanja vzhodnih držav<sup>1</sup>

Fig. 2

Development of ESR process in the world without eastern countries<sup>1</sup>



Razvoj EPŽ-postopka v zapadni Evropi<sup>1</sup>

Fig. 3

Development of ESR process in Western Europe<sup>1</sup>

- premer elektrodne glave pri obstoječih čeljustih je  $\varnothing 180$  mm,
- nazivna moč transformatorja za napajanje peči je 1000 kVA,

- transformator ima 17 stopenj in je proizvodnje RADE KONČAR,
- tok je izmeničen,
- primarna napetost 20 kV,
- frekvenca 50 Hz,
- delovna napetost transformatorja za napajanje peči je 40 do 90 V,
- maksimalni tok pretaljevanja je 14 kA.

Na osnovi rezultatov raziskav smo v teku leta 1974 prešli od ruske tehnologije, ki smo jo sprejeli z napravo, na modernjšo tehnologijo firme INTECO, ki pri pretaljevanju zagotavlja boljše ekonomiko in kakovost. Rezultat teh sprememb je bila zmanjšana poraba žlindre od 50–60 kg/t na 20–25 kg/t, predvsem pa bistveno zmanjšana poraba električne energije. Poleg spremembe tehnologije je bila v letu 1974 opravljena tudi generalna rekonstrukcija naprave za delo s serijo kratkih dviznih kristalizatorjev. Od leta 1975 dalje deluje ta EPŽ naprava s stabilnim kristalizatorjem kv. 400 mm in z novimi dviznimi kristalizatorji  $\varnothing 220$  mm, kv. 240 mm,  $\varnothing 280$  mm,  $\varnothing 310$  mm, kv. 400 mm,  $\varnothing 430$  mm in  $\varnothing 500$  mm. Z elektrodami vseh presekov od  $\varnothing 160$  mm do  $\varnothing 330$  mm različnih dolžin lahko proizvajamo EPŽ ingote po potrebah »na mero« v območju teže od 300 kg do 3800 kg. Tako so možnosti pretaljevanja optimalno prilagojene potrebam, možnostim in problemom proizvodnje specialnih jekel v železarni Ravne.

V začetku smo uporabljali največ valjane, za visoko legirana orodna jekla pa tudi v pesek lite elektrode. Kovane elektrode smo uporabljali samo v izjemnih primerih, ko smo le z maksimalnim polnilnim faktorjem  $D_E/D_1$  lahko dosegli zahtevano težo ingota za največje odkovke.

Že v začetku smo se lotili osvajanja uporabe elektrod, litih v kokile. Da bi lahko uporabljali namesto dolge elektrode normalne ingote, smo v letu 1976 pripravili vso potrebno dokumentacijo za predelavo naprave na menjavo elektrod med pretaljevanjem, vendar tega projekta zaradi novih razvojnih načrtov nismo realizirali. Danes po dva ingota spajamo v eno elektrodo z EPŽ-varjenjem, kar se prav dobro obnese.

Zanimivo je, da smo že v toku drugega leta obratovanja prve EPŽ naprave jasno zasnovali nadaljnji razvoj EPŽ proizvodnje v železarni Ravne<sup>1</sup>. Razvojna in investicijska študija EPŽ jeklarne z obstoječo in novo EPŽ napravo za velike ingote, premera do 1 m, dolžine do 6 m in teže do 36 ton, je, upoštevajoč vse izkušnje, zajela tudi optimizacijo priprave vseh elektrod za EPŽ proizvodnjo, kar odločilno vpliva na ekonomiko.

Zaradi nadaljnega razvoja smo s sodelovanjem Metalurškega inštituta in firme INTECO raziskovali uporabo T-kristalizatorja  $\varnothing 370$  mm/ $\varnothing 230$  mm in tudi uspešno izdelali ingot. Zaradi še nerešene avtomatske regulacije nivoja taline ni uvedena uporaba T-kristalizatorja v redno proizvodnjo, pač pa je nova EPŽ naprava zasnovana za kombinirano uporabo T-kristalizatorjev z normalnim. Tako bomo v nadaljnjem razvoju izdelovali valje iz EPŽ ingotov brez kovanja.

Nova EPŽ naprava je bila zgrajena po inženiringu firme INTECO, ki je dobavila ključne komponente, precejšen del pa so izdelala in montirala domača podjetja in sama železarna Ravne. Tako zmanjšanje uvoza z angažiranjem domače industrije je bilo za nas zelo pomembno, žal pa je zaradi neusklajenosti dobav investicija utrpela več kot enoletno zamudo. S poizkusno proizvodnjo smo začeli v septembru 1982, v letu 1983 pa

smo že dosegli 96% celotne, z investicijsko študijo načrtovane proizvodnje EPŽ jekla, kar je za prvo leto obratovanja kar izreden dosežek!

Karakteristike nove INTECO EPŽ naprave:

- Formatni ingotov od Ø 500 do Ø 1000 mm (Ø 1300 mm), brame 1000 mm × 500 mm.
- Največja teža ingota 36 t.
- Največja dolžina ingota 6 m.
- Dimenzije elektrod Ø 300—650 mm, dolžina max. 2,5 m.
- Največja teža elektrode 6 t.
- Električno napajanje: 20 kV, 150 MVA moč kratkega stika.

— Transformator: 25 kA + 20 % preobremenitve v trajnem obratovanju 3250 (3900) kVA, sekundarne napetosti v območju 30 do 130 V v stotih stopnjah po 1 V preklopljivih pod obremenitvijo.

- Napajanje pomožnih pogonov ca. 100 kW.
- Višina naprave 9 m nad nivojem tal.
- Globina jame ca. 6 m.
- Poraba žlindre poprečno 30 kg/t.
- Poraba hladilne vode max. 35 m<sup>3</sup>/h pri vstopni temperaturi vode max 18° C.
- Zaprt vodni hladilni sistem.

Razvoj proizvodnje EPŽ jekla v železarni Ravne kaže krivulja na sliki 3.

Po tehnoloških zahtevah in področjih uporabnosti je celoten asortiment EPŽ proizvodnje po vrstah jekel razdeljen v šest skupin:

Skupina	Delež v celotni proizvodnji 1973—1979 EPŽ I.	Deleži v celotni proizvodnji po investicijskem načrtu od 1984 dalje EPŽ I. + EPŽ II.	Do leta 1983 je osvojena tehnologija 70 vrst jekel
I. Orodna jekla za delo v vročem	28 %	20—25 %	9 vrst jekel
II. Ledeburitna orodna in brzorezna jekla	30 %	10—15 %	15 vrst jekel
III. Srednje in nižje legirana orodna jekla za delo v hladnem	7 %	do ca. 5 %	8 vrst jekel
IV. Jekla za hladne valje	10 %	35—45 %	4 vrst jekel
V. Nerjavna in ognjeodporna jekla	2 %	ca. 2 %	7 vrst jekel
VI. Konstrukcijska jekla s posebnimi lastnostmi	23 %	15—25 %	27 vrst jekel

Po investicijski zasnovi naj bi celotna EPŽ proizvodnja v železarni Ravne od 1984. leta dalje znašala 4300 t letno s strukturo po naslednjih tabelah:

Proizvodni program EPŽ jeklarne v železarni Ravne:

Kristalizatorji	Letna proizvodnja in deleži					
	EPŽ I.		EPŽ II.		Skupaj I. + II.	
	1300 t	100 %	3000 t	100 %	4300 t	100 %
Ø 1000 mm, 1000 mm × 500 mm	—	—	450 t	15 %	450 t	10,5 %
Ø 850 mm	—	—	1650 t	55 %	1650 t	38,4 %
Ø 630 mm, Ø 500 mm	60 t	4,6 %	900 t	30 %	960 t	22,3 %
Ø 400 mm, Ø 430 mm	500 t	38,6 %	—	—	500 t	11,6 %
Ø 310 mm	100 t	7,7 %	—	—	100 t	2,3 %
Ø 210 mm	200 t	15,4 %	—	—	200 t	4,7 %
Ø 220 mm	440 t	33,8 %	—	—	440 t	10,2 %

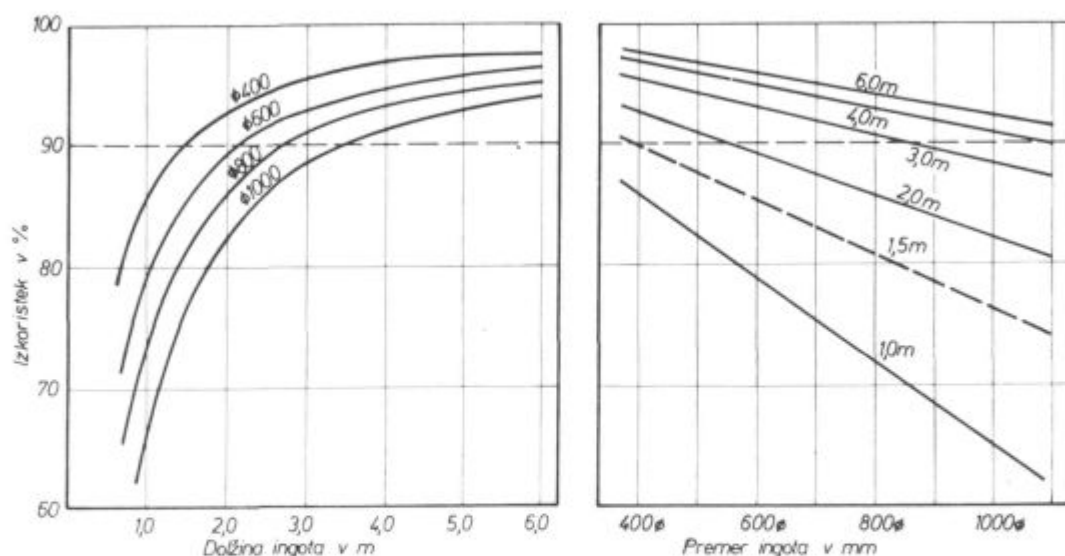
Skupine jekel

I. Orodna jekla za delo v vročem	500 t	38,4 %	500 t	16,6 %	1000 t	23,3 %
II. Ledeburitna orodna in brzorezna jekla	400 t	30,8 %	200 t	6,7 %	600 t	14,0 %
III. Srednje in nižje legirana orodna jekla za delo v hladnem	—	—	200 t	6,7 %	200 t	4,6 %
IV. Jekla za hladne valje	100 t	7,7 %	1500 t	50,0 %	1600 t	37,2 %
V. Nerjavna in ognjeodporna jekla	100 t	7,7 %	—	—	100 t	2,3 %
VI. Konstrukcijska jekla s specialnimi lastnostmi	200 t	15,4 %	600 t	20,0 %	800 t	18,6 %

Dosedanja, že dosežena letna proizvodnja EPŽ I, blizu 1700 t naj bi se po programu zmanjšala na 1300 t, ker se težišče proizvodnje premika k manjšim presekom ingotov Ø 220 mm, Ø 310 mm in Ø 430 mm za GFM kovaško linijo. EPŽ ingote Ø 500 mm imata v programu obe napravi, in sicer EPŽ I. z največjo dolžino 2 m, EPŽ II. pa s poljubno dolžino do 6 m. Večji delež proizvodnje EPŽ ingotov Ø 500 se bo torej prenesel na EPŽ II. napravo, kjer je pretaljevanje dolgih ingotov s

tehniko menjave elektrod bolj ekonomično zaradi boljšega izkoristka (slika 4). Dana je tudi boljša možnost dobave optimalnih vložkov za kovanje s pretaljevanjem in razrezom EPŽ ingotov na mero po naročilih kovačnice za odkovke.

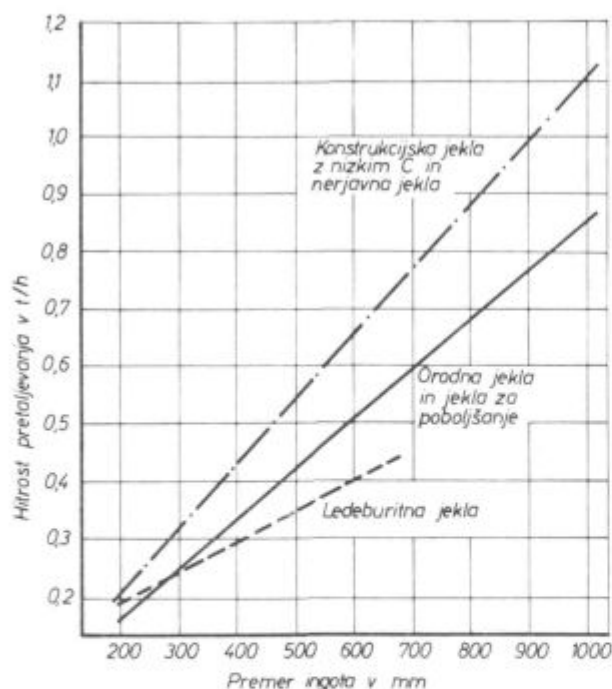
Na tem mestu naj opozorimo, da planiranje EPŽ proizvodnje in analize izkoriščenosti EPŽ kapacitet niso preprosta zadeva. Hitrost pretaljevanja je odločilni



Slika 4  
Izkoristki EPŽ ingotov v odvisnosti od premera in dolžine EPŽ ingotov<sup>1</sup>  
Fig. 4

Yields of ESR ingots depending on their diameter and length<sup>1</sup>

proizvodno kakovostni parameter in je odvisna od preseka ingota in vrste jekla. Samo za primer kaže slika 5 zvezo med hitrostjo pretaljevanja in premerom EPŽ ingota za tri značilne skupine jekel. V tehnoloških predpisih pretaljevanja, ki predstavljajo glavni know-how vsakega proizvajalca EPŽ jekel, so predpisane optimalne hitrosti pretaljevanja za vsako vrsto jekla in vsak kristalizator.



Slika 5  
Zveza med hitrostjo pretaljevanja in premerom EPŽ-ingota za različne skupine jekel<sup>1</sup>  
Fig. 5  
Relation between the melting rate and the ESR-ingot diameter for various steel groups<sup>1</sup>

Če bo v letni proizvodnji EPŽ jekel velik delež majhnih ingotov in tistih jekel, ki zahtevajo najmanjšo hitrost pretaljevanja, bo letna proizvodnja majhna in obratno.

Da bi le imeli čimboljše možnost realnega planiranja proizvodnje in izkoriščenosti kapacitet ter objektivnega izračunavanja izkoriščenosti naprave oziroma uspešnosti proizvodnje, si v železarni Ravne pomagamo z ekvivalenti talilne hitrosti<sup>2</sup>. Ta ekvivalent »e« je enak 1 za določen nominalni format ingota (npr. kv. 400 mm) in za določeno povprečno talilno hitrost, ki je odvisna od nominalne skupine jekla (npr. 380 kg/h za III. skupino jekel). Pri teh nominalnih pogojih je nominalna letna kapaciteta EPŽ I. 1650 ton.

Ekvivalent proizvodnje za EPŽ I. je torej izražen takole:

$$T_{ekv} = 1650 \cdot \sum_{i=1}^n e_i d_i \pm N \text{ (ton)},$$

pri čemer pomeni

- $T_{ekv}$  — tonažni ekvivalent proizvodnje,
- $n$  — število kombinacij formatov in grup jekel oziroma različnih talilnih hitrosti,
- $e_i$  — ekvivalent  $i$ -te kombinacije formata in skupine jekel oziroma talilne hitrosti,
- $d_i$  — delež proizvodnje posamezne kombinacije formata in skupine jekel,
- $\pm N$  — ekvivalent proizvodnje pri raznih zastojih, storitvah in raziskovalno-razvojnih delih. Popravilo enega pilger valja z dotaljevanjem čepov traja npr. 5 ur in predstavlja ekvivalent proizvodnje:  
 $N = 5 \text{ ur} \cdot 380 \text{ kg/h} = 1,9 \text{ ton}.$

Pri EPŽ proizvodnji zaradi osnovnih tehnoloških namer ne smemo povečevati proizvodnje z večjo hitrostjo pretaljevanja — produktivnostjo. Rezerve za povečanje proizvodnje moramo iskati v skrajševanju vmesnih, mrtvih ter pripravljalnih časov in vzdrževanja. Najpomembnejša je seveda uvedba neprekinjenega štiriizmenskega dela, ki je vsaj pri pretaljevanju težkih, dolgih ingotov nujna za ekonomično proizvodnjo.



V naslednjih tabelah je prikazana letna oskrba EPŽ jeklarne z elektrodami, predelava EPŽ ingotov ter poraba žlindre in električne energije.

Poraba EPŽ elektrod:	
— iz jeklarne lite v kokile .....	1800 t
— iz livarne lite v pesek ( $\eta = 0,88$ ) .....	400 t
— iz valjarne valjane ( $\eta = 0,92$ ) .....	650 t
— iz kovačnice kovane ( $\eta = 0,95$ ) .....	100 t
— stari rabljeni valji ( $\eta = 0,88$ ) .....	1700 t
Skupaj letno	4650 t

Predelava EPŽ ingotov:	
dobave v kovačnico .....	3600 t
dobave v valjarno .....	700 t
Skupaj letno	4300 t

Letna poraba EPŽ žlindre in električnega toka:	
— poraba žlindre .....	130 t/leto,
— električni tok za pretaljevanje .....	5.000.000 kWh/leto,
— električni tok za pomožne naprave .....	800.000 kWh/leto.

Železarna Ravne je vložila velika sredstva tudi v razvoj proizvodnje domačih predtaljenih EPŽ žlinder. Z raziskovalno-razvojnimi sodelovanjem Metalurškega inštituta je bila zadovoljivo osvojena proizvodnja teh žlinder v tovarni dušika Ruše, ki pa je zaradi premajhnih potreb postala kampanjska in kakovostno nezanesljiva ter so jo zato opustili. EPŽ II. jeklarne dela s tekočo žlindro in bo uporabljala mešanice izhodnih komponent, zato se poraba predtaljenih žlinder ne bo povečala.

V kompleksnem optimiranju priprave EPŽ elektrod predstavlja pomemben del toploto tehnična manipulacija, ki je toliko zahtevnejša, kolikor je večji presek elektrod in kolikor bolj je občutljiva vrsta jekla. Dobra priprava elektrod je lahko le rezultat bogatih, sistematično zbranih izkušenj v specifičnih okoliščinah.

Težki EPŽ ingoti zahtevajo v tehnološkem procesu posebne toplotno tehnične režime, še posebno zaradi razrezovanja dolgih ingotov.

Organizacijsko usklajevanje priprave in terminiranja proizvodnje med EPŽ — jeklarne in kovačnico je zaradi številnih vplivnih parametrov odločilnega pomena za ekonomiko proizvodnje in zagotavljanje kakovosti. Tudi redna proizvodnja zahteva stalno vključevanje raziskav.

Vsaka vrsta jekla zahteva točno določene tehnološke pogoje pretaljevanja, tako v zvezi s količino in vrsto žlindre, kakor tudi glede električnih in drugih parametrov pri vodenju procesa. Vrsta jekla v principu ne predstavlja omejitve za uporabo EPŽ postopka. Skoraj vsako vrsto jekla lahko pretalimo z ustrežno optimalno prilagoditvijo EPŽ tehnologije karakteristikam jekla in zahtevam, ki jih hočemo s pretaljevanjem zadovoljiti. Odločitev o porabi EPŽ tehnologije je odvisna samo od zahtevane stopnje kakovosti in ekonomičnosti. S tega stališča je torej uporaba EPŽ postopka za katero koli vrsto jekla upravičena vedno takrat, ko je zahtevana kakovost, ki je s konvencionalno tehnologijo ni mogoče doseči ali je ni mogoče zagotavljati dovolj zanesljivo, seveda pa tudi takrat, ko določene prednosti in prihranki kompenzirajo stroške pretaljevanja in zagotavljajo ekonomsko upravičenost.

Celoten tehnološki postopek močno vpliva na makro in mikrostrukturo ter na kemijsko sestavo, čistost in druge značilnosti EPŽ jekla. Pri pogojih pretaljevanja lahko nastopa neizmerno število najrazličnejših kombinacij tehnoloških parametrov. Le s sistematičnimi raziskavami in bogato dokumentacijo je mogoče postopno

optimiranje. Prav to pa je dragoceno znanje, ki ga vsak proizvajalec EPŽ jekel skrbno čuva za konkurenčno uveljavljanje kakovosti in zanesljivosti. V tem znanju so osnove za razvoj računalniško vodene avtomatizacije.

Velika večina proizvedenega EPŽ jekla se dobavlja v obliki odkovkov. Karakteristike strjevanja EPŽ ingota v kombinaciji s posebnimi tehnološkimi postopki predelave s kovanjem omogočajo optimalno homogenost in izotropnost jeklenih izdelkov. Posebno pride to do izraza pri zahtevah po meroobstojnosti ali stabilnosti oblik in dimenzij. Seveda tudi tu dodatno upoštevamo čistost jekla. V kovani izvedbi EPŽ jekla so možne tudi take variante po sestavi, ki so sicer zelo težko predelavne. Določena EPŽ jekla so torej v skupini orodnih jekel lahko posebno vzdržljiva proti obrabi.

Posebno prednost predstavlja možnost izdelave EPŽ ingotov »na mero« po višini oziroma potrebni teži, kar omogoča bistveno izboljšanje izkoristov.

Obseg raziskovalno-razvojnega dela je na področju električnega pretaljevanja pod žlindro v kombinaciji s tehnologijo kovanja res ogromen, omogoča pa doseganje širokega spektra reguliranih kakovostnih lastnosti.

V primerjavi s klasično litimi ingoti so EPŽ ingoti toliko kompaktni, da je za določene namene možna uporaba z razrezovanjem ustrezno toplotno obdelanih ingotov v nepredelanem stanju. Za take namene je seveda potrebno prilagoditi dimenzije kristalizatorja dimenzijam zahtevanih orodij oz. konstrukcijskih delov, pri čemer pa odločajo o ekonomiki številni dejavniki.

Drugo varianto dobav EPŽ jekla predstavlja paličasto jeklo. V valjani izvedbi se dobavlja razmeroma majhen delež proizvedenega EPŽ jekla. Kakovostne lastnosti EPŽ jekla v valjanih paličah se izražajo v glavnem le s čistostjo jekla, kar pa v primerjavi z drugimi postopki sekundarne metalurgije, ki omogočajo enako kakovost, največkrat ne opravičuje stroškov pretaljevanja. Bolj utemeljeno je pretaljevanje, če gre za reševanje problemov predelavne sposobnosti jekla.

Že v začetnem obdobju redne proizvodnje so raziskave in povratne informacije uporabnikov potrdile vsa pričakovanja glede kakovosti EPŽ jekel.

Danes, po desetih letih izkušenj EPŽ proizvodnje in raziskav v železarni Ravne, kakor tudi po izkušnjah uporabnikov, ugotavljamo, da je bil dosednji razvoj pravičen in da so perspektive jasne.

Po dosedanjem intenzivnem osvajanju in širjenju asortimenta so naša nadaljnja prizadevanja usmerjena k specializaciji za doseganje vrhunske kakovosti in zanesljivosti ob razumljivih težnjah k ožjemu asortimentu.

Kakovost EPŽ jekla je uveljavljena tako v domači porabi kakor tudi v izvozu. Znanih pa je tudi dovolj možnosti, s katerimi proizvodne stroške pretaljevanja interno kompenziramo s prihranki materiala in dela ob istočasnem zagotavljanju ustrezne kakovosti.

Dosežena je zadovoljiva količina in taka fleksibilnost proizvodnje, da lahko železarsna Ravne zadovoljuje vse za svoj program interesantne potrebe jugoslovanskega tržišča in se obenem uveljavlja ter preizkuša v izvozu.

Železarna Ravne je eden od redkih proizvajalcev EPŽ jekla, ki lahko ponudi izdelke vseh vrst jekel iz EPŽ ingotov s premerom  $\varnothing$  220 mm do  $\varnothing$  1000 mm in teže od 300 kg do 36 ton, ob upoštevanju polindustrijske EPŽ naprave na Metalurškem inštitutu v Ljubljani z letno proizvodnjo okrog 60 ton, pa tudi iz manjših ingotov. To omogoča ustrezno širok asortiment, od minimalnih količin najvišje legiranih jekel, specialnih super-

zlitin in posebnih kovin do težkih odkovkov iz nelegiranih in malolegiranih jekel za specialne namene.

Osnovne vplive EPŽ tehnologije na lastnosti jekla in razloge za uporabo EPŽ postopka, ki jih prikazujeta sliki 6 in 7, so naše dosedanje izkušnje neizpodbitno potrdile.

	Slabše	ENAKO	Boljše	Veliko boljše
Kakovost ingota Površina Poraznost in gostota Izpljen			→	→
Kemijska sestava Osnovni elementi Vodik Kisik Žveplo Oligoelementi	←		←	←
Stopnja čistosti mikroskopska makroskopska			→	→
Struktura ingota Blokavne izceje Kristalne izceje	←		←	←
Mehanske lastnosti Trdnost Meja razteznosti Žilavost Izotropnost			→	→

x) Napake pretaljevanja

Slika 6  
Vpliv EPŽ postopka na lastnosti jekla<sup>3</sup>  
Fig. 6  
Influence of ESR process on steel properties<sup>3</sup>



Slika 7  
Razlogi za uporabo EPŽ postopka<sup>3</sup>  
Fig. 7  
Reasons for the application of the ESR process<sup>3</sup>

V nadaljevanju pogledimo nekaj najpomembnejših izkušenj z EPŽ postopkom po vplivih na določene lastnosti v splošnem in po specifičnih lastnostih nekaterih skupin proizvodov:

#### KAKOVOST POVRŠINE INGOTOV:

V primerjavi s klasično litimi ingoti je pri EPŽ ingotih opaziti očitno boljše kakovost površine. To velja za vse vrste jekel, posebno pa je bilo to očitno pri nizko legiranih kromovih jeklih za krogljčne ležaje in valje za hladno valjanje. Bistveno boljše površino ingotov smo opazili tudi pri vseh nerjavnih in ognjeodpornih jeklih.

#### NOTRANJA HOMOGENOST INGOTOV:

Podobno kakor za površino ingotov so bila potrjena pričakovanja tudi glede notranje kompaktnosti in homogenosti ingotov. Razen pri nekaterih posameznih iz-

jemah v toku proizvodnje in osvajanja tehnologije nismo ugotovili centralne poroznosti ali redkosti sredine, kakor tudi ne večjih makro vključkov ali drugih notranjih napak.

#### GOSTOTA JEKLA:

Pri makro in mikro preiskavah EPŽ jekel smo dobili vtis večje gostote že v litem stanju. Iz literature je poznano, da predstavljajo rezultati natančnih meritev gostote jekla zelo pomemben kriterij za oceno kakovosti EPŽ jekla in pravilnosti tehnologije, po kateri je bilo jeklo izdelano.

#### NEČISTOČE:

Posebej lahko opozorimo na pomen splošnega zmanjševanja nečistosti v jeklu, tako eksogenih kot endogenih vključkov. Še posebej pomembno je, da tehnologijo pretaljevanja lahko dokaj orientiramo na odpravljanje določene vrste vključkov.

#### IZPLEN:

Izkoristek pri kovanju EPŽ ingotov je v primerjavi s konvencionalnimi ingoti znatno boljši, prav posebno izboljšanje izkoristov pa dosežemo z dolgimi EPŽ ingoti in razrezovanjem na mero po optimiranih potrebah kovačnice.

#### KEMIČNA SESTAVA:

Spremembe kemične sestave so prikazane na sliki 6. Splošno uporabljeno je prilagajanje kemične sestave elektrod za pretaljevanje na osnovi poznanih odgorov. Ob tem naj omenimo, da se moramo reguliranju kemične sestave posebno posvetiti pri moderni tehnologiji izdelave dolgih ingotov z majhno količino žlindre<sup>3</sup>. Zagotoviti moramo ustrezne korekture s kontinuirnimi dodatki. Ob razvoju teh ukrepov so se v toku pretaljevanja uveljavile tudi možnosti dokajšnje korekture kemične sestave, ki so posebno obetajoče ob razvoju računalniško vodene avtomatizacije.

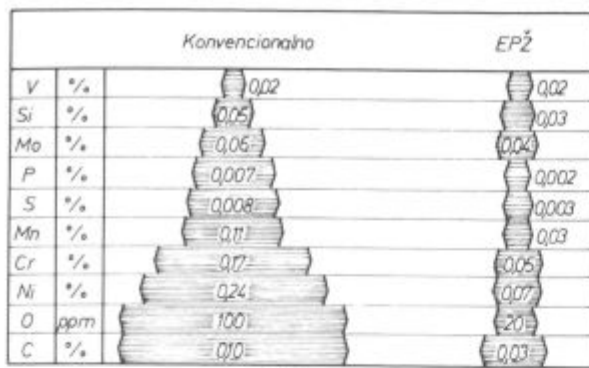
Posebno pri velikih ingotih so vse pogostejše utemeljene zahteve, da mora biti jeklo za elektrode vakuumirano, saj se vsebnost vodika med pretaljevanjem povečuje.

Ker postopek pretaljevanja ne poteka v vakuumu, ni mogoče pričakovati znižanja vsebnosti oligoelementov.

#### BLOKOVNE IZCEJE

Blokovne izceje povzročajo predvsem pri velikih odkovkih proizvajalcu in uporabniku jekla čisto zelo težko rešljive probleme. Tako npr., z normalno toplotno obdelavo ni mogoče doseči pričakovane strukture v mnogih področjih ingota, ki imajo prevelike razlike v kemični sestavi.

Slika 8 prikazuje, da EPŽ postopek skoraj popolnoma odstrani fenomen blokovnega izcejanja pri strjevanju celo v območju večjih presekov. Za primerjavo so dane vrednosti konvencionalno izdelanih velikih kovaških ingotov iz literaturnih podatkov. Šele tu pridejo prav do veljave prednosti električnega pretaljevanja pod žlindro.



Slika 8  
 Blokovne izceje v težkih odkovkih'  
 Fig. 8  
 Ingot segregations in heavy forgings'

**KRISTALNE IZCEJE**

Zaradi fizikalnih procesov v območju likvidus — solidus na kristalizacijski fronti tudi pri EPŽ postopku ni mogoče popolnoma preprečiti kristalnih ali mikro izcej. V primerjavi s konvencionalno izdelanim jeklom pa so pri EPŽ jeklu tudi kristalne ali mikro izceje precej manjše predvsem v kakovostno kritičnih delih ingota, kot npr. v sredini.

**OBSTOJNOST DIMENZIJ IN OBLIK**

Izkušnje pri toplotni obdelavi in uporabi orodij ter konstrukcijskih delov kažejo, da so EPŽ jekla znatno manj nagnjena k deformacijam, kar lahko neposredno povezujemo z značilnostmi makro in mikrostrukture.

**MAKROSTRUKTURE**

S spreminjanjem pogojev v tehnologiji elektro pretaljevanja pod žlindro lahko zelo učinkovito vplivamo na izoblikovanje makrostrukture strjenega ingota. Poleg zagotavljanja kompaktne notranjosti bloka lahko s spreminjanjem hitrosti odtaljevanja elektrode in z odnosi dovedene energije ter napetosti in jakosti toka reguliramo profil tekoče kopeli jekla. V zelo širokih mejah lahko menjamo globino kopeli in hitrost naraščanja EPŽ ingota. Z obvladanjem tehnoloških pogojev dokaj dobro obvladamo tiste vplive, ki odločajo o hitrosti strjevanja in o usmerjenosti kristalizacije.

V makrostrukturi jasno vidimo smer in velikost dendritov, katerih rast med strjevanjem lahko spreminjamo v precej širokih mejah. Od kota, pod katerim rastejo dendriti, je veliko odvisna sposobnost za vročo predelavo, od kombinacije teh kotov in poteka deformacij pri določeni tehnologiji kovanja pa je odvisna stopnja izotropnosti mehanskih in fizikalnih lastnosti odkovka. V zvezi s tem je izredno širok manevrski prostor raziskovanja tehnologije tako imenovanih posebnih postopkov, ki so specialiteta posameznih proizvajalcev. Zaradi znanih značilnih lastnosti makro in mikrostrukture nerjavnega jekla so raziskave teh jekel še bolj zanimive.

**MIKROSTRUKTURE**

Pri metalografskih pregledih preizkušancev, izrezanih na različnih mestih iz nepredelanih EPŽ ingotov, smo opazili, da je velikost dendritov v teh ingotih nepri-

merno manjša od dendritov v ingotih enake velikosti, litih po konvencionalnem postopku. Za take kvantitativne ocene so posebno primerna ledeburitna orodna jekla na bazi visokega kroma in visokega ogljika ter brzorezna jekla. Velikost zrn, obkroženih z ledeburitnim evtektikom, je pri EPŽ ingotih bistveno manjša. Tudi velikost karbidnih zrn je manjša.

Pri ingotih v nepredelanem stanju smo pri orodnih jeklih za vroče delo, pa tudi pri ledeburitnih orodnih in brzoreznih jeklih ugotovili znatno ugodnejšo usmerjenost dendritov in predvsem bistveno manjše meddendritne razdalje v primerjavi s klasičnimi ingoti.

Mikrostruktura je torej izredno fina in enakomerna, kar je zelo pomembno za mnoge lastnosti, ki so od razporeda karbidov prvenstveno odvisne. Seveda je od pogojev vroče predelave veliko odvisno, kako to ugodno izhodno strukturo ohranimo in še izboljšamo. Z nepravilnimi pogoji ogrevanja in kovanja lahko marsikaj tega, kar smo z EPŽ postopkom pridobili, pokvarimo.

**SPOSOBNOST ZA PREDELAVO V VROČEM**

Izkušnje pri kovanju in valjanju konvencionalno izdelanih ingotov in EPŽ ingotov so praktično v vseh primerih potrdile pričakovanja z ugotovitvijo, da je sposobnost za predelavo v vročem pri vseh predelovanih EPŽ ingotih mnogo boljša. To je tudi razumljivo glede na znane pogoje kristalizacije in makrostrukture EPŽ ingotov. Izboljšanje predelavne sposobnosti je poznana in posebno cenjena prednost EPŽ jekel, saj prav ta omogoča, da si pri EPŽ asortimentu orodnih jekel lahko privoščimo tudi take sestave, ki imajo bistveno povečano obrabno obstojnost. Jekla s tako sestavo v obliki klasično litih ingotov skoraj ne bi bila sposobna za racionalno predelavo v vročem (npr. 3% C, 13% Cr).

Za primerjavo smo izvršili veliko preizkusov predelavne sposobnosti s torzijo v vročem na preizkušancih, izrezanih iz nepredelanih EPŽ ingotov.

Pri torzijskih poizkusih smo ugotovili, da število obratov do zloma pri preizkušancih orodnih jekel, izrezanih in nepredelanega EPŽ ingota, lahko nekako primerjamo z rezultati, ki smo jih dobili pri konvencionalno izdelanem jeklu v predelanem stanju.

Ugotovitve laboratorijskega preizkušanja se zelo dobro ujemajo z zapažanji pri kovanju EPŽ ingotov pod stiskalnico. Najvišje legirano in zelo težko predelavno brzorezno jeklo S 10-4-3-10 se v EPŽ izvedbi bistveno boljše predeluje. Podobno smo ugotovili tudi pri kovanju visoko legiranega ledeburitnega orodnega jekla za delo v hladnem. Zaradi izboljšane plastičnosti so se ti ingoti izredno lepo kovali, obenem pa smo ugotovili, da kaže EPŽ jeklo sposobnost za vročo predelavo v znatno širšem temperaturnem intervalu.

Orodno jeklo za delo v vročem z 9% W, ki je sicer znano po problemih vroče predelave, je pri kovanju EPŽ ingotov kazalo zelo dobro sposobnost za plastično deformacijo v vročem. Pri kovanju ni bilo nobenih težav. Boljša sposobnost za predelavo v vročem ima tudi pri drugih vrstah skupine orodnih jekel za delo v vročem velik tehnični in gospodarski pomen. Očitne so namreč znatno manjše potrebne stopnje predelave.

**MEHANSKE LASTNOSTI**

Prednost EPŽ jekla glede mehanskih lastnosti se izražajo predvsem z boljšimi mehanskimi lastnostmi v prečni smeri. S posebnimi postopki predelave EPŽ jekel je mogoče mehanske lastnosti v prečni smeri zelo



približati tistim, ki jih dobimo s preizkušanci, izrezanimi v vzdolžni smeri. EPŽ jeklo nima bistveno drugačnih trdnostnih lastnosti, pač pa ima pri enaki trdnosti boljše žilavost, kontrakcijo, raztezek in predvsem boljše dinamične lastnosti. Pri jeklu za poboljšanje smo v nekaterih primerih dosegli s pretaljevanjem trikrat večjo žilavost v prečni smeri!

S preizkusi smo pri orodnem jeklu za delo v vročem ugotovili, da ima nepredelano EPŽ jeklo celo boljše ali vsaj enake mehanske lastnosti v vročem (pri temperaturah preizkušanja 520 in 600° C) kot standardno jeklo v predelanem stanju.

Pri preizkušanju mehanskih lastnosti nerjavnega jekla v nepredelanem stanju EPŽ ingota smo ugotovili boljše ali vsaj enake mehanske lastnosti, kot jih dosegajo preizkušanci iz valjanih gredic kv. 150 mm, izdelanih iz klasičnih dvotonskih ingotov. Žilavost v vzdolžni in prečni smeri se praktično ne razlikuje.

### TERMIČNO UTRUJANJE

Neposredne primerjave so pokazale znatno boljše obstojnost proti termičnemu utrujanju in s tem daljšo življenjsko dobo orodij iz EPŽ orodnih jekel za delo v vročem.

### ROTORJI<sup>3</sup>

Pri jeklih za rotorje je najpomembnejša večja zanesljivost kakovosti. Boljše so mehanske lastnosti, predvsem žilavost in prehodne temperature. Pri predelavi je skoraj odpravljena potreba krčenja in vmesnega odlaganja. Znatno manjši je delež izmečka.

#### Induktorske osi:

Zaradi visokih obremenitev je uporaba pretaljenega jekla za turbinske in generatorske osi posebno interesantna. Od različnih posebnih metalurških postopkov, ki so se uveljavili, upoštevajoč tudi posebne postopke litja, nudi glede porazdelitve vključkov ali glede zmanjševanja blokovnih izcej le malo kateri zadovoljivo zanesljivost. Več ali manj vsi ti postopki predstavljajo le delen uspeh, ker poteka kristalizacije predvsem pri večjih presekih ni mogoče več obvladati. Primerjava mehanskih lastnosti tangencialnih in radialnih preizkušancev iz zunanega dela nam omogoča, da spoznamo nekaj za rotorje pomembnih ugotovitev. Pogoji strjevanja praktično ne vplivajo na trdnost in mejo razteznosti pri enakem stanju poboljšanja, kar je primerjava rotorjev dokaj jasno pokazala. Zarezna udarna žilavost je pri konvencionalnem jeklu proti jedru vse manjša in na tem mestu pade na polovico onih vrednosti, ki jih dobimo ob površini. V splošnem padajo žilavostne vrednosti tudi pri EPŽ jeklu proti jedru, vendar je ta padec mnogo manj izražen in izhaja od višjih absolutnih vrednosti.

#### Turbinski koluti:

Podoben rezultat so dale tudi preiskave turbinskih kolotov. Poleg razlik v udarni žilavosti zaslužijo posebno pozornost izboljšave, ki jih dosežemo z električnim pretaljevanjem pod žilindro pri razteku in kontrakciji.

#### Generatorski rotorji:

V mehanskih lastnostih so znane bistvene razlike, predvsem v razteku, kontrakciji in žilavosti.

Absolutne vrednosti zarezne udarne žilavosti so precej višje, posebno pa pride do izraza prehodna temperatura, ki je pri odkovku iz EPŽ jekla približno za 20° C nižja.

#### Rotorji plinskih turbin:

Tudi na področju jekel, obstojnih na povišanih temperaturah, so ugotovljene zelo ugodne izkušnje z EPŽ jeklom. Pri enakem postopku poboljšanja in praktično enakih žilavostnih lastnostih kažejo pretaljeni bloki za rotorje plinskih turbin približno 150 N/mm<sup>2</sup> višjo mejo razteznosti oz. približno 100 N/mm<sup>2</sup> višjo natezno trdnost v primerjavi s konvencionalno izdelanimi rotorji iz iste osnovne taline. Pri trgalnih poizkusih v vročem znašajo razlike v 0,2 meji ca. 150 N/mm<sup>2</sup> pri 400° C in 56 N/mm<sup>2</sup> pri 700° C. To pomeni vsekakor povišanje za 30 do 40%.

### VALJI ZA HLADNO VALJANJE

Za hladno valjanje jeklene pločevine in trakov, trakov neželeznih kovin in kovinskih folij je odločilnega pomena homogenost strukture in stopnja čistosti jekla za valje. Nekovinski vključki, ki se pojavljajo na površini valjev, škodujejo kakovosti valjancev ali pa povzročajo celo izmeček.

Doslej zbrane izkušnje v industrijskem obsegu so pri EPŽ valjih z območjem premerov od 200 do 800 mm pokazale odlične rezultate. Izboljšana stopnja čistosti omogoča tudi zmanjšanje potrebnega brušenja pri ponovni obdelavi površine, s čimer se podaljša življenjska doba valjev za 50% in več. Odsotnost večjih nekovinskih vključkov zagotavlja tudi pri globlje kaljenih valjih večjo varnost proti luščenju. Probleme, ki so poznani predvsem pri najvišje obremenjenih valjih tandemskih ogrodij, se da z izbiro najprimernjših parametrov pretaljevanja pod žilindro skoraj popolnoma rešiti.

Delovni sendzimir valji se v zadnjih letih skoraj izključno izdelujejo iz odkovkov EPŽ jekla, ker so se pokazale izrazite kakovostne prednosti.

### ORODJA ZA DELO V VROČEM

Najpomembnejše lastnosti jekel za tovrstna orodja so pri EPŽ jeklih bistveno boljše kot pri konvencionalnih. Ob enaki žilavosti si pri EPŽ jeklih lahko privoščimo višjo trdnost, s tem pa izboljšamo odpornost proti obrabi in podaljšamo življenjsko dobo v uporabi orodij. Zaradi manjših izcej se zmanjša trakavost in anizotropnost. Posebno se izboljša žilavost v prečni smeri. Tudi obdelovalnost in sposobnost za poliranje je pri EPŽ jeklih precej boljša.

Poznavanje lastnosti EPŽ jekel je privedlo do preizkušanja izdelave orodij iz nepredelanih EPŽ ingotov. Zaradi dobrih izkušenj se ta tehnološka praksa vse bolj uveljavlja in ne predstavlja več presenetljive posebnosti.

### ORODNA JEKLA ZA DELO V HLADNEM IN JEKLA ZA KROGLIČNE LEŽAJE

Orodja in krogljični ležaji so pri uporabi večkrat izpostavljeni izrednim obremenitvam in dokaj zapletenim odnosom različnih lastnosti. V takih primerih šele natančno orientirana kombinacija lastnosti privede do optimalnih rezultatov. Pri spoznavanju najpomembnejših vplivov na kakovostno stopnjo te skupine jekel ima vsekakor stopnja čistosti in lita struktura odločujoč pomen.

Pri teh jeklih je ogromno publiciranega in vse izkušnje potrjujejo izredne kakovostne prednosti EPŽ jekel za te namene, ki se izražajo v obrabni obstojnosti, dinamični vzdržljivosti in splošni življenjski dobi orodij in



ležajev. Zaradi homogenosti je tudi znatno zmanjšana nevarnost razpok pri kaljenju.

Za perspektive EPŽ jekel za krogljčne ležaje pa predstavlja poseben problem cena jekla, ki je izredno nizka in ne prenese stroškov pretaljevanja, zato se uporaba EPŽ jekla omejuje le na izdelavo specialnih ležajev.

## BRZOREZNA IN LEDEBURITNA ORODNA JEKLA

Na področju brzoreznih jekel je z EPŽ postopkom omogočeno bistveno izboljšanje homogenosti in mikrostruktur pri večjih presekih odkovkov. Pri EPŽ postopku lahko z zmanjšanjem meddendritnih razdalj dosežemo finejšo ledeburitno mrežo. Pri klasičnem ingotu z naraščajočim formatom ingota hitro narašča velikost ledeburitne mreže in neenakomernost mikrostrukture po preseku ingota. Te razlike so pri EPŽ pretaljevanju zaradi značilnosti tehnološkega postopka bistveno manjše, zato se odpirajo nove možnosti za izdelavo največjih orodij iz teh jekel. Tudi predelavna sposobnost EPŽ brzoreznih jekel je precej boljša in potrebna stopnja predelave bistveno manjša, zato je s tem v zvezi v razvoju očitna težnja k višji vsebnosti ogljika, k boljši odpornosti proti obrabi in boljši rezni sposobnosti.

V konvencionalni proizvodnji brzoreznih jekel so običajni formati ingotov okrog 500 do 700 kg in le v redkih primerih presegajo težo ene tone. To predstavlja veliko omejitev pri možnostih izdelave paličastega jekla večjih dimenzij, če hočemo zagotoviti potrebno stopnjo predelave za doseganje enakomernosti. Zato so največja orodja, kot so npr. odvalni rezkarji modulov okrog 20 in celo več ter ploščati križni rezkarji, dolga leta izdelovali le iz vsestransko kovanih pogač brzoreznega jekla, katere so bili sposobni dobavljati le najbolj specializirani proizvajalci brzoreznih jekel. Če se zamislimo v tehnologijo vsestranskega kovanja takih pogač, prav lahko ugotovimo, da ima tudi ta tehnologija obilo slabosti.

Z EPŽ postopkom in svojo tehnologijo kovanja lahko železarna Ravne danes proizvaja brzorezno jeklo v paličasti izvedbi do največjega premera okrog 350 mm  $\varnothing$  in teže enakega kosa do 5 t, kar ima lahko za gospodarnost izdelave določenih orodij velik pomen. Prav zato smo se specializirali za proizvodnjo kovanega brzoreznega jekla v območju  $\varnothing$  80 mm do  $\varnothing$  350 mm, medtem ko imamo za ekonomsko proizvodnjo valjane ga brzoreznega jekla danes manj možnosti.

## NERJAVNA IN OGNJEODPORNNA JEKLA

Pri teh visokolegiranih jeklih je električno pretaljevanje pod žlindro z zmanjševanjem izcej in z drugimi homogenizacijskimi vplivi odprlo nove proizvodne možnosti za izdelavo velikih odkovkov. Poleg številnih tehnoloških lastnosti ima pri teh jeklih tudi čistost velik pomen za zagotovljene korozijske lastnosti, za sposobnost poliranja, za trajno trdnost in splošno boljšo vzdržljivost v uporabi.

## PLOČEVINE

Kljub dejstvu, da razpolaga samo Sovjetska zveza z velikim številom EPŽ naprav za izdelavo bram, je splošno pristopno poznavanje izkušenj, predvsem glede materialnih izboljšav na področju pločevin, več kot skromno. Temu se lahko upravičeno čudimo toliko bolj, ker

tehnični problemi pri izdelavi in predelavi visoko vrednih debelih pločevin, npr. za reaktorje in tlačne posode, nikakor niso manjši kot npr. pri izdelavi generatorjev. Zanimivost uporabe EPŽ postopka na tem področju vsekakor narašča zaradi zahtev po enakomernosti vseh lastnosti po celotnem preseku pločevine. Vedno ostreje so zahteve po minimalni anizotropnosti žilavostnih lastnosti vzdolž, prečno in navpično glede na smer valjanja. Tudi sposobnost za varjenje je lahko pri EPŽ jeklu precej boljša, posebnega pomena pa je reševanje problemov izcejanja v srednjem delu kakor tudi lokalne koncentracije sulfidnih vključkov.

Nekaj izkušenj z visoko vredno pločevino iz EPŽ jekla smo si že nabrali skupaj z železarno Jesenice. Redna uporaba EPŽ formata 1000 mm  $\times$  500 mm za brame bo v kratkem prinesla dragocene nove izkušnje v železarni Jesenice, ki ji bomo dobavljali 9-tonske EPŽ brame za nadaljnjo predelavo.

Do vseh ugotovitev in primerjalnih ocen lastnosti smo prišli s tesnim sodelovanjem z uporabniki naših EPŽ jekel. Pri tem smo izkoristili prav tiste stike, ki smo jih morali vzpostaviti ob začetku proizvodnje s tako imenovanim razvojem in pripravo tržišča, saj do takrat pri nas ni bilo niti proizvodnje niti potrošnje EPŽ jekel. Pri razvoju novih proizvodov se prav pogosto zgodi, da potrošnje ni, ker ni proizvodnje, do razvoja proizvodnje pa ne pride, ker »ni potrebe«. To se dogaja tam, kjer ni naprednih nosilcev razvoja, iniciatorjev nove potrošnje in nove proizvodnje, seveda pa ob tem zaostanek za tehničnim napredkom raste. Z zadovoljstvom moramo ugotoviti, da se nam to pri razvoju proizvodnje EPŽ jekel ni zgodilo in smo v koraku z razvojem v svetu.

## GOSPODARNOST

Iskanje možnosti kompenzacije stroškov pretaljevanja s prihranki materiala in dela ter z zanesljivejšo kakovostjo je vsekakor interni problem proizvajalca. Odločitev temelji na skrbni primerjalni kalkulaciji vložka, izkoristka, tehnoloških operacij, termičnih režimov, kontrole zanesljivosti in kakovostnih primerjav, pretaljevanja, odpadka in povratnih materialov ter podobnih postavk.

Moramo reči, da v proizvodnji take interne odločitve za EPŽ tehnologijo daleč prevladujejo in da v letni proizvodnji direktna naročila EPŽ jekla predstavljajo manjši delež.

V kolikšni meri stroške pretaljevanja za EPŽ ingot lahko kompenziramo s prihranki pri materialnih stroških in stroških nadaljnje predelave ali pri stroških zmanjšane neuspele proizvodnje, je odvisno predvsem od določenih okoliščin pri posameznih proizvajalcih in za posamezno izdelke. S pomočjo omenjenih diferenciranih kalkulacij lahko ob dooočenih osnovnih podatkih, ki jih moramo poznati, celotne stroške v primerjavi med EPŽ in konvencionalnim postopkom dokaj natančno določimo in za to imamo številne primere iz vsakodnevne prakse.

Pogoj za doseganje ustrezne gospodarnosti EPŽ postopka pa je visoka časovna izkoriščenost naprave in konsekventno izkoriščanje vseh materialnih izboljšav, ki jih nudijo EPŽ ingoti. Velikost ingotov seveda tudi odločilno vpliva na relativne proizvodne stroške. Nikoli pa ne smemo pri ocenjevanju gospodarnosti EPŽ postopka pozabiti na prednostno vlogo gotovih izdelkov na tržišču, ki se večkrat tudi indirektno poplača.

## NADALJNI RAZVOJ

Za železarno Ravne kot proizvajalca visokokvalitetnih plemenitih konstrukcijskih in orodnih jekel ima EPŽ postopek velik pomen, zato bo tudi nadaljnemu razvoju tako kot doslej posvečala izredno pozornost z vlaganji v razvoj asortimenta in tehnološkega znanja.

Poseben pomen ima pri tem razvoj v smeri avtomatizacije procesa. Z združevanjem znanja in izkušenj so v sodelovanju med firmo INTECO — Avstija in železarno Ravne doseženi pomembni uspehi v razvoju sistema računalniško podprtega krmiljenja EPŽ procesov in proizvodnje, ki jih prav ob tej priliki predstavljamo s posebnim prispevkom.

## ZAKLJUČKI:

Za splošen razvoj EPŽ postopka v svetu je značilno

— da je od iznajdbe postopka do uveljavitve v industrijski proizvodnji preteklo razmeroma zelo dolgo obdobje,

— da je bil po prvih izkušnjah tehnološki razvoj izredno intenziven, vendar omejen na razmeroma ozek krog najnaprednejših specializiranih proizvajalcev, medtem ko je bil razvoj v širšem obsegu dokaj obotavljajoč,

— da so danes vse prednosti na področjih upravičene uporabe postopka neizpodbitno utemeljene, pri čemer je pomen splošne čistosti jekla z drugimi jeklarskimi postopki sekundarne metalurgije potisnjen v ozadje, nenadomestljivost tega postopka pa utemeljuje kontro-

lirana in usmerjena kristalizacija z vsemi vplivi na lastnosti jekla, izplen in predelavo v vročem,

— da uveljavljanje tega postopka v proizvodnji nezadržno napreduje, razvoj pa je usmerjen k računalniško vodeni avtomatizaciji s ciljem zagotavljanja kakovosti in zanesljivosti ter splošne optimizacije,

— da v usmeritvah dolgoročnega razvoja pripisujejo EPŽ jeklom vse večji pomen in razvoju EPŽ proizvodnje jasno načrtano pot s »svetlo« budočnostjo v kombinaciji z najmodernejšimi jeklarskimi in predelavnimi postopki.

## Literatura:

1. J. Rodič: Proizvodnja EPŽ jekla — novost v Železarni Ravne, Železarski zbornik 1974, št. 2, str. 73—88.
2. Interna dokumentacija projekta P 24: Razvoj EPŽ v Železarni Ravne, Železarna Ravne in INTECO, Bruck a. M. Avstrija.
3. M. Wahlster: Možnosti uporabe EPŽ postopka v jeklarski industriji, Železarski zbornik 1974, št. 1, str. 1—11.
4. W. Holzgruber: Möglichkeiten und Grenzen der Beeinflussung des Erstarrungsgefüges legierter Stähle beim Elektroschlacke — Umschmelzen, Radex Rundschau 1975, Nr. 3, p. 409/21.
5. M. Švajger, J. Ranc: Možnosti sprememb kemijske sestave jekla med procesom električnega pretaljevanja pod žlindro, Železarski zbornik 1984, št. 1 (v pripravi).
6. M. Wahlster: Entwicklungstendenzen von Sonderstählen, Radex-Rundschau H. 4, 1981, str. 597—614.

## ZUSAMMENFASSUNG

Eine zehnjährige Entwicklung der Erzeugung und der Forschung auf dem Gebiet des Elektro-Schlacke-Umschmelzens im Hüttenwerk Ravne an zwei Anlagen (ESU I für Blöcke 220—500 mm bis zu dem höchsten Gewicht von 4 t und ESU II für Blöcke 500—1000 mm und Brammen 1000 mm × 500 mm der höchsten Länge bis 6 m und grössten Gewichtes von 36 t), erzeugt 4300 Tonnen ESU Stahl jährlich.

Der Erzeugungsortiment umfasst sechs Gruppen: Warmarbeitswerkzeugstähle (20—25%), ledeburitische Werkzeugstähle und Schnellarbeitsstähle (10—15%), Kaltarbeitswerk-

zeugstähle (ca 5%), Stähle für Kaltwalzen (35—45%), nichtrostende und feuerbeständige Stähle (2%), Baustähle mit besonderen Eigenschaften (15—25%).

Die Erfahrungen bei der Anwendung der ESU Stähle so wie die Einflüsse der Umschmelzung auf die Grundeigenschaften der Stähle und die spezifischen Eigenschaften einiger Erzeugungsgruppen werden gezeigt, was auch die Ursachen für die Anwendung des ESU Verfahrens bei der Erzeugung der Spezialstähle sind. Die Richtungen der weiteren Entwicklung werden angezeigt.

## SUMMARY

A ten-year development of manufacturing and investigations on ESR process for steel in the Ravne Ironworks with two set-ups is described, i. e. ESR I for 220 to 500 mm round ingots with weights up to 4 t, and ESR II for 500 to 1000 mm round ingots and 1000 × 500 mm slabs with the lengths up to 6 m and weights up to 36 t, which produce 4300 t ESR steel per year.

The production assortment includes 6 groups: hot-working tool steel (20 to 25%), ledeburite tool and high-speed steel (10

to 15%), cold-working tool steel (about 5%), steel for cold rolls (35 to 45%), stainless and heat-resisting steel (2%), structural steel with special properties (15 to 25%).

Experiences in application of ESR steel, influences of remelting, basic properties of steel and specific properties of some groups of products are given which are the reasons for application of ESR process in manufacturing special steel. Trends of further development are presented.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрено десятилетнее развитие производства и исследования в области электрической переплавки сталей под шлаком в металлургическом заводе Железарна Равне. ЭШП выполняется в двух установках — ЭШП I для слитков  $\varnothing 220-500$  мм, веса не более 4 тон и в ЭШП II для слитков  $\varnothing 500-1000$  мм и брам  $1000 \times 500$  мм, максимальной длины до 6 м и веса до 36 тон; годовое производство стали ЭШП-а составляет около 4.300 тон.

Ассортимент производства охватывает 6 групп стали, а именно:

- инструментальные стали для работы в горячем состоянии (20—25 %);
- ледебуритные инструментальные и быстрорежущие стали (10—15 %);

- инструментальные стали для работы в холодном состоянии (прибл. 5 %);

- стали для холодных валков (35—45 %) и нержавеющей и огнеупорные стали (2 %);

- конструкционные стали с специальными свойствами (15—25 %).

Приведены полученные опыты при употреблении сталей ЭШП переплава, влияния переплавки на свойства сталей, также специфические свойства некоторых групп изделий, что может послужит как доказательство необходимости применения способа ЭШП-а при производстве специальных сортов сталей. Указано на направление для дальнейшего развития этого способа.