

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Holzgruber Wolfgang — Inteco DANAŠNJE STANJE RAZVOJA IN RAZVOJNE SMERI POSTOPKA ELEKTRIČNEGA PRETA- LJEVANJA POD ŽLINDRO	105
Rodič Jože — Železarna Ravne RAZVOJ ELEKTRIČNEGA PRETALJEVANJA JEKEL POD ŽLINDRO V ŽELEZARNI RAVNE	113
Šegel Jože — Železarna Ravne RAČUNALNIŠKO PODPRTO KRMILJENJE EPŽ PROCESOV IN PROIZVODNJE	125
Bratina Janez — Železarna Ravne GOSPODARJENJE Z ELEKTRIČNO ENERGI- JO V ŽELEZARNI RAVNE	131
Veber Zoran, Z. Markovič, V. Logar — Železarna Štore ODPADNA ENERGIJA V ŽELEZARNI ŠTORE	143

LETO 18 ŠT. 4 — 1984

ŽEZB BQ 18 (4) 105—148 (1984)

558134

ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 18

LJUBLJANA

DECEMBER 1984

Vsebina:	Inhalt	Contents	Содержание
Stran:	Seite	Page	страница
<p>Wolfgang Holzgruber</p> <p>Današnje stanje razvoja in razvojne smeri postopka električnega pretaljevanja pod žlindro 105</p> <p>UDK: 669.162.263</p> <p>ASM/SLA: D8n</p>	<p>Wolfgang Holzgruber</p> <p>Heutiger Stand der Entwicklung und die Entwicklungsrichtungen beim Elektro-Schlacke-Umschmelz-Verfahren. 105</p> <p>UDK: 669.162.263</p> <p>ASM/SLA: D8n</p>	<p>Wolfgang Holzgruber</p> <p>Present state of development and development trends of electroslag remelting 105</p> <p>UDK: 669.162.263</p> <p>ASM/SLA: D8n</p>	<p>Wolfgang Holzgruber</p> <p>Современное положение развития и направления развития электрической переплавки под шлаком. 105</p> <p>UDK: 669.162.263</p> <p>ASM/SLA: D8n</p>
<p>Jože Rodič</p> <p>Razvoj električnega pretaljevanja jekel pod žlindro v Železarni Ravne 113</p> <p>UDK: 669.162.263</p> <p>ASM/SLA: D8n</p>	<p>Jože Rodič</p> <p>Die Entwicklung des Elektro-Schlacke-Umschmelzens im Hüttenwerk Ravne. 113</p> <p>UDK: 669.162.263</p> <p>ASM/SLA: D8n</p>	<p>Jože Rodič</p> <p>Development of electroslag remelting of steel in the Ravne Ironworks 113</p> <p>UDK: 669.162.263</p> <p>ASM/SLA: D8n</p>	<p>Jože Rodič</p> <p>Развитие электрической переплавки сталей под шлаком в металлургическом заводе Железарна Равне. 113</p> <p>UDK: 669.162.263</p> <p>ASM/SLA: D8n</p>
<p>Jože Šegel</p> <p>Računalniško podprto krmljenje EPŽ procesov in proizvodnje 125</p> <p>UDK: 669.187.6:861.142</p> <p>ASM/SLA: D8p, X14k</p>	<p>Jože Šegel</p> <p>Rechnerisch unterstützte Steuerung der ESU Prozesse und der Produktion 125</p> <p>UDK: 669.187.6:861.142</p> <p>ASM/SLA: D8p, X14K</p>	<p>Jože Šegel</p> <p>Computer-supported control of ESR processes and of the production 125</p> <p>UDK: 669.187.6:861.142</p> <p>ASM/SLA: D8p, X14k</p>	<p>Jože Šegel и сотрудники</p> <p>Производство стали с применением ЭСП-а при помощи вычислительных машин для управления процессом. 125</p> <p>UDK: 669.187.6:861.142</p> <p>ASM/SLA: D8p, X14K</p>
<p>Janez Bratina</p> <p>Gospodarjenje z električno energijo v Železarni Ravne 131</p> <p>UDK: 621.316.003</p> <p>ASM/SLA: U7C, W11</p>	<p>Janez Bratina</p> <p>Bewirtschaftung der elektrischen Energie im Hüttenwerk Ravne 131</p> <p>UDK: 621.316.003</p> <p>ASM/SLA: U7C, W11</p>	<p>Janez Bratina</p> <p>Economizing with electric energy in Ravne Ironworks 131</p> <p>UDK: 621.316.003</p> <p>ASM/SLA: U7C, W11</p>	<p>Janez Bratina</p> <p>Хозяйственное использование электрической энергии в металлургическом заводе Железарна Равне. 131</p> <p>UDK: 621.316.003</p> <p>ASM/SLA: U7C, W11</p>
<p>Zoran Veber, Z. Markovič, V. Logar</p> <p>Odpadna energija v Železarni Štore 143</p> <p>UDK: 620.97</p> <p>ASM/SLA: W11</p>	<p>Zoran Veber</p> <p>Die Abfallenergie im Hüttenwerk Štore 143</p> <p>UDK: 620.97</p> <p>ASM/SLA: W11</p>	<p>Zoran Veber</p> <p>Waste energy in the Štore Ironworks 143</p> <p>UDK: 620.97</p> <p>ASM/SLA: W11</p>	<p>Zoran Veber</p> <p>Побочная энергия в металлургическом заводе Железарна Шторе 143</p> <p>UDK: 620.97</p> <p>ASM/SLA: W11</p>

RESEARCH BULLETIN

RESEARCH BULLETIN, VOLUME 1, NUMBER 1, 1954

CONTENTS

Page	Title	Author
1	Introduction	J. H. ...
5	The ...	J. H. ...
10	The ...	J. H. ...
15	The ...	J. H. ...
20	The ...	J. H. ...
25	The ...	J. H. ...
30	The ...	J. H. ...
35	The ...	J. H. ...
40	The ...	J. H. ...
45	The ...	J. H. ...
50	The ...	J. H. ...
55	The ...	J. H. ...
60	The ...	J. H. ...
65	The ...	J. H. ...
70	The ...	J. H. ...
75	The ...	J. H. ...
80	The ...	J. H. ...
85	The ...	J. H. ...
90	The ...	J. H. ...
95	The ...	J. H. ...
100	The ...	J. H. ...

Današnje stanje razvoja in razvojne smeri postopka električnega pretaljevanja pod žlindro*

UDK: 669.162.263

ASM/SLA: D8n

Wolfgang Holzgruber

Podan je pregled razvoja od uvedbe prvih EPŽ naprav do današnje stopnje z glavnimi značilnostmi razvojnih stopenj, pa tudi ključni kazalci porabe žlindre, energije, izkoristkov ter osnovni tehnološki parametri pretaljevanja. S posebnim poudarkom je opisan razvoj naprav z značilno električno izvedbo, današnja tehnika EPŽ naprav in stanje regulacijske tehnike. Poseben pomen imajo vodno hlajeni visokotokovni drsni kontakti. Nov koncept je bil prvič uporabljen v železarni Ravne. Poleg tega je novost tudi elektronska regulacija globine potapljanja elektrode ter računalniško krmiljenje hitrosti pretaljevanja, kar je odločilni parameter za kakovost EPŽ ingotov.

Prikazane so tudi razvojne smeri s pretaljevanjem v varovalni atmosferi pod povečanim plinskim tlakom in izdelava oblikovanih EPŽ teles. Te smeri bodo prav gotovo v naslednjih letih še pridobile pomen.

1. DOSEDANJI RAZVOJ

Danes mineva nekako 25 let, odkar so pognali prve proizvodne naprave za EPŽ pretaljevanje v jeklnah Dnjevprospectsaljal v Zaporozju ter nekaj mesecev pozneje pri firmi Firth Stirling v McKeesport. Medtem ko je obratovala ruska naprava s stoječo kokilo in z eno samo elektrodo, je bila na ameriški napravi že prvič izvedena menjava elektrod.

Od takrat je bilo danih v pogon že veliko EPŽ naprav in proizvodnja EPŽ jekla je izven dežel vzhodnega bloka porastla na preko 200.000 t letno (slika 1). Medtem ko je prihajal pretežni del proizvodnje v prvih letih iz naprav s stoječo kokilo, pridobivamo danes največ EPŽ jekla iz naprav z drsečimi kristalizatorji in z menjavo elektrod med pretaljevanjem.

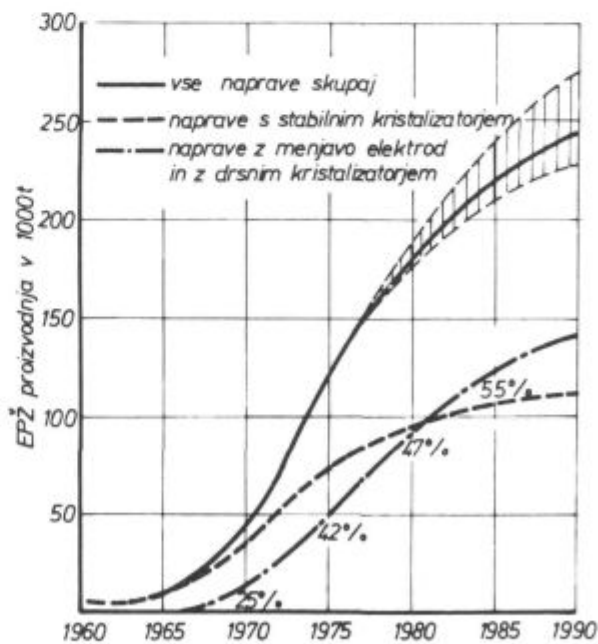
* Referat na mednarodnem posvetovanju »ELEKTRIČNO PRETALJEVANJE JEKEL POD ŽLINDRO« 12. aprila 1984 v Železarni Ravne.

Dr. Wolfgang Holzgruber, dipl. ing. mont., je vodja firme IN-TECO, Internationale Technische Beratung Ges. M. B. H. Bruck a/Mur, Avstrija.

Slika 2 prikazuje shemo EPŽ naprave s stoječo kokilo, v kateri dobimo iz ene elektrode en pretaljen ingot. Pri tovrstni izvedbi naprave je dolžina ingota omejena z dolžino kokile oziroma z največjo pretaljevalno elektrodo, ki jo je mogoče uporabiti.

Zaradi velikih stroškov v splošnem proizvodnja dolgih talilnih elektrod ne pride več v poštev.

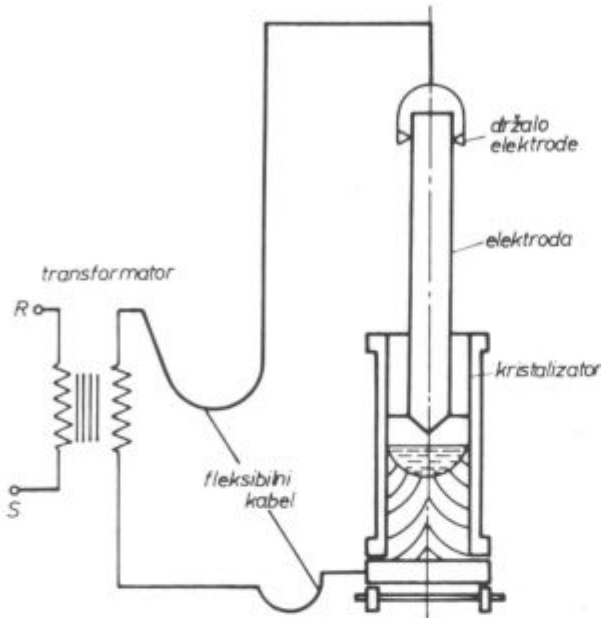
Te pomanjkljivosti so razvoj naravnale na izdelavo naprav s kratkimi dviznimi kokilami oziroma s spuščajočim dnom ter na izdelavo naprav z menjavo elektrod, s čimer je postalo možno proizvajati EPŽ ingote, katerih dolžina ni bila odvisna od dolžine kokile in od dol-



Slika 1
Razvoj EPŽ proizvodnje v zapadnem svetu

Fig. 1
Development of ESR production in the West World

žine talilnih elektrod, ker je bilo možno pretaljevati za en ingot več talilnih elektrod drugo za drugo.



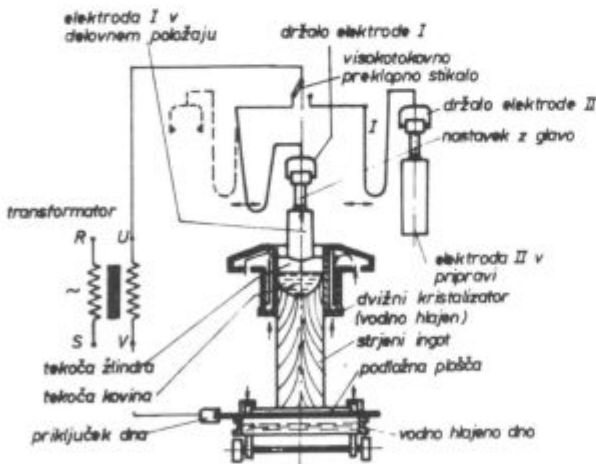
Slika 2

Shema visokotokovne zanke EPŽ naprave s stabilnim kristalizadorjem

Fig. 2

Scheme of high-current loop of ESR equipment with a fixed mould

Prve tovrstne naprave so bile predane v obratovanje v letu 1967 pri firmi Böhler v Kapfenbergu oziroma pri firmi English Steel Corporation v Sheffieldu. (Slika 3)



Slika 3

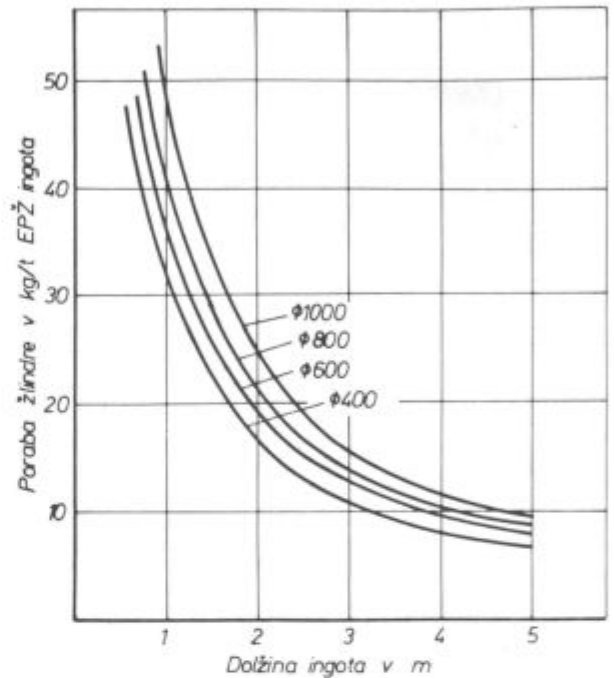
Shema EPŽ naprave z menjavo elektrod in dvignim kristalizadorjem pri uporabi fleksibilnih visokotokovnih kablov

Fig. 3

Scheme of ESR equipment with changing the electrodes and with the lifting mould using the flexible high-current cables

V primerjavi z napravami s stoječimi kokilami je bila tako dosežena vrsta ekonomskih prednosti, ki jih bomo v naslednjem na kratko obravnavali.

Slika 4 prikazuje odvisnost specifične porabe žlindre pri EPŽ postopku od dolžine ingota za formate ingotov med 400 do 1000 mm premera. Ker je količina žlindre odvisna le od premera ingota, je poraba toliko manjša, kolikor večja je dolžina bloka. Medtem ko je bilo pri dolžinah ingotov med 1 in 1,5 m porabljen na tono od 25 do 35 kg žlindre, znaša ta poraba pri ingotu dolžine 4 m poprečno le približno 10 kg/t.



Slika 4

Poraba žlindre na tono EPŽ ingota v odvisnosti od dolžine ingota za različne preseke ingotov

Fig. 4

Consumption of slag per ton ESR ingot depending on the ingot length for various ingot cross sections

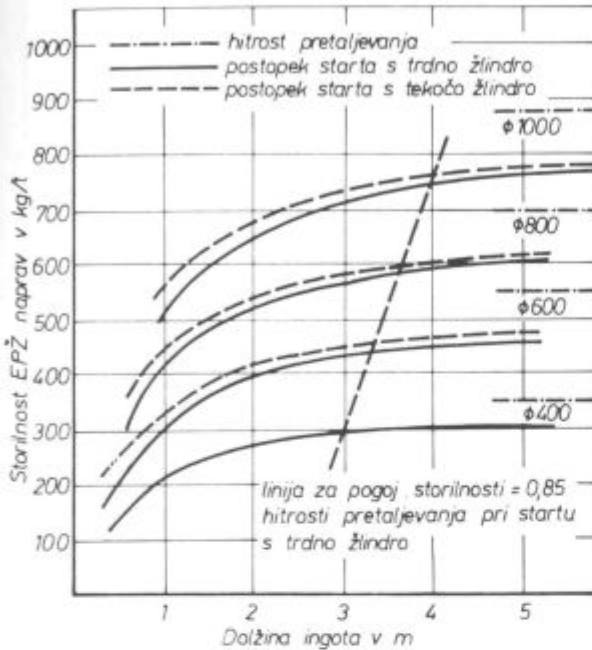
Proizvodna kapaciteta EPŽ naprav je prav tako odvisna od dolžine ingota, kot kaže slika 5. Da bi dosegli ugodne proizvodne kapacitete in s tem izkoriščenje naprave, je treba stremeti k izdelavi ingotov z dolžino po možnosti preko 3 m, pri tem pa mora biti dolžina bloka toliko večja, kolikor večji je njegov premer. To je potrebno zaradi tega, ker ingoti z večjim premerom potrebujejo več časa za zaključevanje pretaljevanja pri glavi ingota. Vmesni časi pa od premera ingota skoraj niso odvisni.

Tudi izplen EPŽ ingotov je močno odvisen od dolžine ingota, ker odpadke tako pri glavi kot pri nogi ni odvisen od dolžine ingota. (Slika 6) Za izkoristek preko 90 % je potrebna pri 600 mm premera dolžina ingotov preko 2 m in pri 1000 mm premera preko 4 m.

Poleg opisanih ekonomskih prednosti imajo naprave z menjavo elektrod tudi obratovalno-tehnične prednosti, ki jih lahko povežemo s tem, da praktično ni omejitev glede razmerja premerov elektrode/ingot. Pri napravah, kjer nastaja ingot iz le ene elektrode, moramo zelo pogosto izbirati velik premer elektrode v razmerju s premerom kokile, da bi pri dani elektrodni dolžini dosegli potrebno dolžino ingota.

Kot izhaja iz slike 7, pa nastopajo potem često omejitve v pogledu vrste procesnih parametrov. Ne moremo

namreč v vseh primerih obratovati s takimi pretaljevalnimi pogoji, ki bi jih želeli glede hitrosti pretaljevanja, globine kopeli, višine in žilindrne kopeli itd. V glavnem

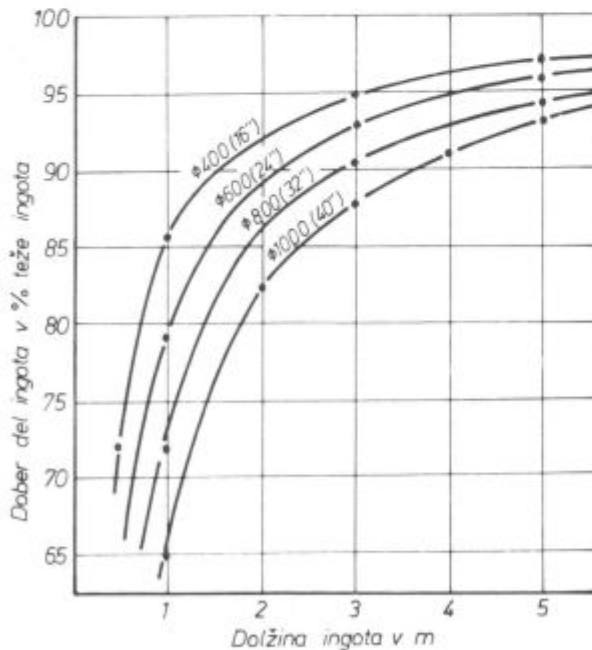


Slika 5

Storičnost EPŽ naprav v odvisnosti od dolžine ingota in različnih presekov ingotov

Fig. 5

Output of ESR equipment depending on ingot length and various ingot cross sections

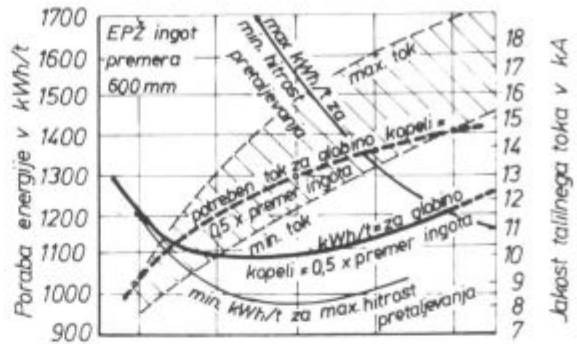


Slika 6

Dober delež ingota po odrezi koncev v odvisnosti od dolžine in premera ingota

Fig. 6

Sound section of ingot after cropping, depending on the length and diameter of ingot



Slika 7

Vpliv razmerja premerov elektrode in ingota na hitrost pretaljevanja, porabo energije in jakost toka pri EPŽ ingotu 600 mm Ø

Fig. 7

Influence of the ratio of electrode and ingot diameters on the remelting rate, energy consumption and current strength in 600 mm ESR ingot

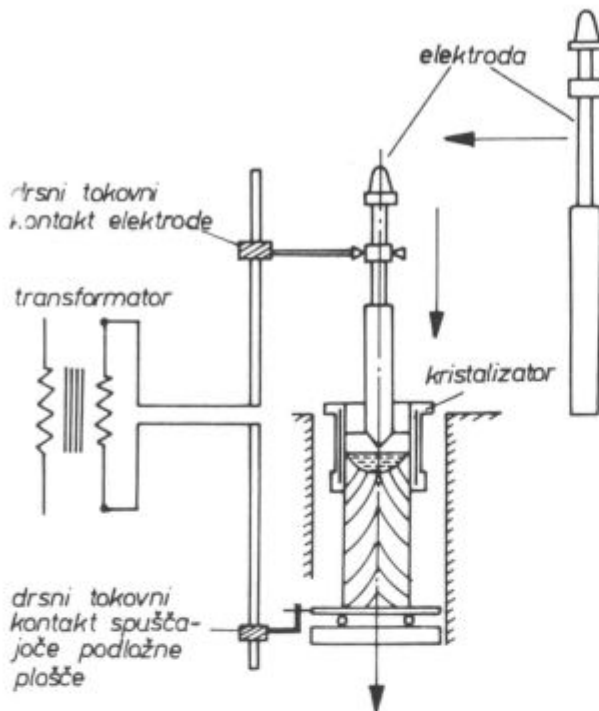
lahko obratujemo pri EPŽ postopku z razmerjem premerov elektroda/ingot med 0,4 in 0,8. Če pa želimo imeti po možnosti čim več prostosti v pogledu talilnih pogojev, potem je priporočljivo razmerje premerov $0,6 \pm 0,10$. To pa so tudi tisti pogoji, v katerih je na splošno poraba energije za pretaljevanje minimalna.

Doslej opisane naprave z menjavo elektrod so opremljene s kablji za dovod in odvod talilnega toka velike jakosti. To je imelo posledico, da je bilo možno ekonomično obratovanje pri teh napravah z uporabo mrežne frekvence zaradi velike tokovne zanke in iz nje izhajajoče jalove moči le do približno 20 kA jakosti talilnega toka. Vse to je privedlo k razvoju nizkofrekvenčnih naprav na izmenični tok za preskrbo s talilnim tokom, če so bile potrebne večje jakosti toka.

Drugačen razvoj, ki je našel uporabo predvsem pri napravah s stoječimi kokilami, je bil sistem s koaksialnim povratnim vodom, s čimer je bila možna nizka stopnja izgub zaradi jalove moči. Zato pa se je bilo potrebno sprijazniti s slabimi stranmi naprav s stoječimi kokilami in posamično elektrodo.

2. DANAŠNJA TEHNIKA EPŽ NAPRAV

Takšno je bilo stanje tehnike v času, ko smo si zadal nalogo, da razvijemo nov sistem EPŽ naprave, ki naj bi združeval prednosti obeh obstoječih sistemov. Rezultat (slika 8) je bila naprava s kratko kokilo, trdno vgrajeno v delovni podest, s spuščajočim dnom in z menja-



Slika 8

Shema visokotokovne zanke EPŽ naprave z menjavo elektrod in s spuščajočim dnom ob uporabi drsnih tokovnih kontaktov

Fig. 8

Scheme of high-current loop of ESR equipment with electrode change and with the retractable baseplate using the sliding high current shoes.

vo elektrod. S tem je bila dana možnost za proizvodnjo dolgih ingotov neodvisno od kokile in dolžine elektrode.

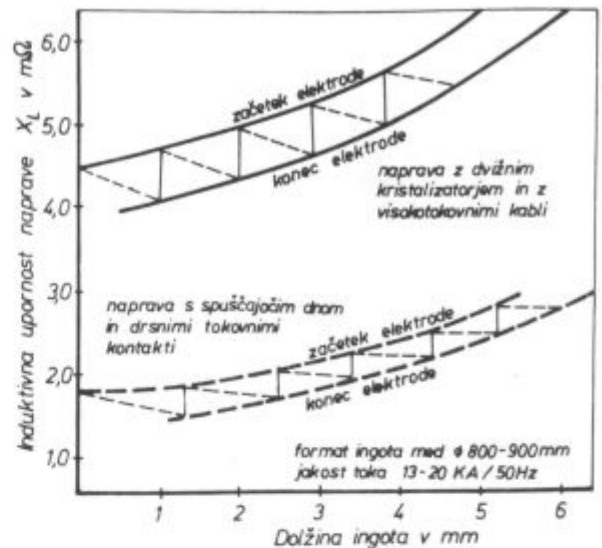
Za izboljšanje visokotokovnega dovoda in odvoda smo razvili sistem iz vodnohlajenih drsnih cevi in visokotokovnih drsnih kontaktov, ki omogočajo dovod in odvod paralelno k elektrodi oziroma ingotu.

Ta novo razviti koncept naprave je bil prvič uresničen v Železarni Ravne za ingote do 1000 mm \varnothing in 6 m dolžine. Naprava, ki je bila dana v obratovanje pred približno letom dni, je v celoti izpolnila pričakovanja, pri čemer pa je bilo še posebno v pogledu induktivnih upornosti naprave (slika 9) doseženo znatno izboljšanje proti znanim konceptom naprav z menjavo elektrod. Induktivna upornost naprave po novem konceptu znaša približno 40 % vrednosti, ki jih je bilo možno pričakovati pri doslej običajnih konceptih. Tako je omogočeno obratovanje takih naprav do jakosti toka okrog 40–50 kA z mrežno frekvenco.

3. STANJE REGULACIJSKE TEHNIKE

Poleg teh izboljšav v dovodu toka visoke jakosti je naprava opremljena tudi z izboljšanim regulacijskim in kontrolnim sistemom, ki zajema elektronsko regulacijo globine potapljanja elektrode, pa tudi računalniško krmiljeno regulacijo hitrosti pretaljevanja. Delovanje tega regulacijskega sistema bomo na kratko pojasnili.

Konvencionalni EPŽ regulacijski sistemi so bili izdelani praviloma na osnovi tokovno-napetostne ali impedančne regulacije, pri čemer so bili obratovalni parametri izbrani na osnovi obstoječih izkušenj. Ko je talil-



Slika 9

Primerjava induktivne upornosti EPŽ naprav z različnim razporedom visokotokovnih dovodov in odvodov

Fig. 9

Comparison of inductance of ESR equipment with various arrangements of high-current inputs and outputs

na hitrost prekoračila vnaprej določene meje, je bilo potrebno pretaljevalne pogoje ponovno nastaviti, kar je opravil talilec ali pa vgrajeni regulacijski sistem.

Izkušnje so pokazale, da so bili doseženi rezultati glede kvalitete površine in strukture bloka različni od ingota do ingota tudi pri razmeroma enakih količinah žlindre in pretaljevalnih parametrih, kot je hitrost pretaljevanja, moč, jakost toka itd.

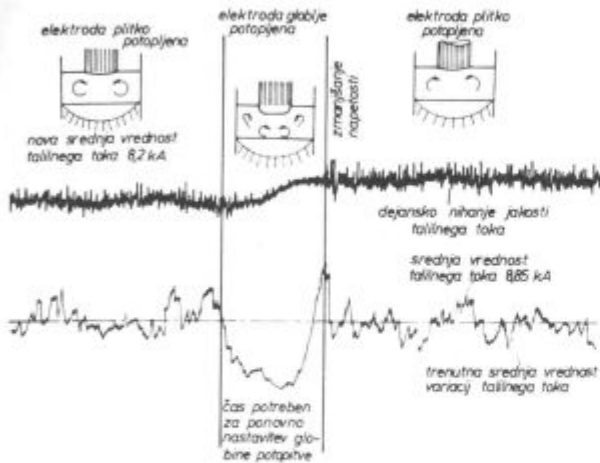
To smo povezali z dejstvom, da globina potapljanja elektrode ni bila ustrezno kontrolirana, če talilec gladine žlindre ni neprestano nadzoroval. Kvaliteta pretaljenega ingota je bila zaradi tega veliko odvisna od pazljivosti in spretnosti talilca.

Spremembe globine potapljanja elektrode lahko nastopajo zaradi naslednjih okoliščin:

- spremembe specifične prevodnosti žlindre na osnovi sprememb sestave žlindre med pretaljevanjem,
- spremembe globine žlindrine kopeli, ob izgubah žlindre zaradi strjevanja žlindrine obloge na površini ingota ali pa zaradi dodatkov v žlindrino kopal med pretaljevanjem,
- spremembe premera elektrod, kadar pretaljujemo konične elektrode,
- spremembe padca napetosti v žlindrini kopeli zaradi sprememb induktivne upornosti naprave ali napetosti transformatorja.

Danes tovrstne spremembe globine potapljanja elektrode preprečujemo z vgrajenim regulatorjem globine potapljanja elektrode, ki deluje na osnovi dejstva, da kažeta napetost in jakost toka med pretaljevanjem v odvisnosti od globine potapljanja bolj ali manj periodična nihanja. Amplituda tega nihanja je pri tem toliko manjša, kolikor globlje je konica elektrode potopljena v žlindrino kopal. Regulator tekoče meri poprečno vrednost amplitude tega nihanja in jo primerja z vnaprej nastavljenimi željenimi vrednostmi. V primeru odstopanja regulator avtomatično popravi vnaprej nastavljenimi vrednostmi za vodenje podajanja elektrode.

Kako deluje regulator v praksi, je za primer prikazano na sliki 10.



Slika 10

Primer delovanja avtomatske regulacije potapljanja elektrode

Fig. 10

Example of operation of an automatic regulation of the electrode dipping

Prednosti, ki jih lahko dosežemo z vgraditvijo regulatorja za avtomatično krmiljenje potapljanja elektrode, so naslednje:

- enakomerno odtaljevanje elektrode,
- dobra struktura ingota,
- preprečitev prekomernih izgub s škajenjem in z odgorom oksidirajočih elementov,
- izboljšanje površine ingota in zmanjšanje nevarnosti izliva iz kristalizatorja,
- avtomatičen potek procesa brez neprestane kontrole talilca.

Z vgraditvijo regulatorja za avtomatično krmiljenje globine potapljanja elektrode lahko skupaj s sistemom za kontinuirno tehtanje in zajemanje podatkov o teži elektrode s pomočjo procesnega računalnika v realnem času avtomatično izpolnjujemo naslednje kontrolne funkcije:

— Prednastavljanje pogojev za potek procesa, kot so napetost transformatorja, talilni tok, globina potapljanja elektrode pri željeni hitrosti pretaljevanja za določeno vrsto jekla pri določenih presekih kokile in elektrode ter pri določeni sestavi žilindre.

— Po začetni fazi pretaljevanja kontinuirno primerjamo dejansko doseženo hitrost pretaljevanja z željeno in z neposrednim posegom procesnega računalnika v spremembo napetosti transformatorja ustrezno krmilimo dovod energije v žilindrino kopel.

— Vsaka sprememba napetosti izzove spremembo globine potapljanja elektrode. Nanjo se odziva regulator globine potapljanja neposredno brez zakasnitve s spremembo željene vrednosti za jakost toka, tako da lahko enakomerno globino potapljanja elektrode zagotavljamo v času celotnega postopka pretaljevanja.

Z vgraditvijo sistema poteka celoten pretaljevalni postopek za vso dolžino ingota praktično popolnoma avtomatsko, pri čemer obdržimo željeno hitrost pretaljevanja s pogoji, ki zagotavljajo optimalno površino in strukturo ingota. Sistem se avtomatično odziva na vse spremembe v sestavi žilindre, globini žilindrine kopeli, premeru elektrode itd., ki bi mogle nastopiti med pretaljevanjem.

Tak sistem je bil prvič vgrajen v EPŽ napravo železarne Ravne in deluje povsem zadovoljivo.

4. RAZVOJNE SMERI

Poleg že opisanih izboljšav in razvoja v zvezi s konvencionalnim EPŽ postopkom bomo obravnavali še nekaj dodatnih razvojnih trendov, ki bi lahko postali v zvezi z uporabo EPŽ postopka v bližnji prihodnosti še pomembnejši.

Sem spadajo:

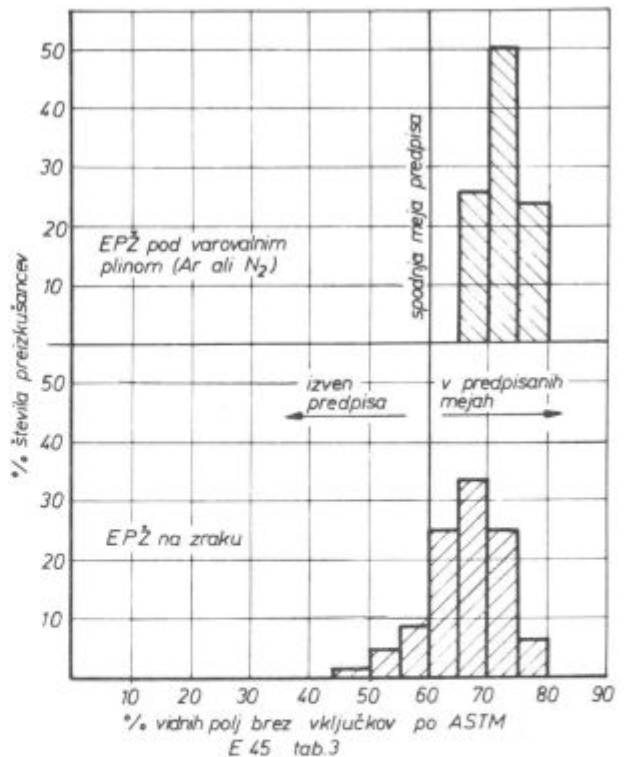
- pretaljevanje v varovalni atmosferi
- pretaljevanje s povečanim plinskim tlakom nad žilindrino kopeljo,
- izdelava oblikovanih EPŽ teles.

4.1 Pretaljevanje v varovalni atmosferi

Pretaljevanje v suhem zraku se danes že uporablja pri vrsti naprav, ker preprečuje navzemanje vodika med pretaljevanjem, ne da bi posebej upoštevali sposobnost žilindre za odžvepljanje. Pretaljevanje v atmosferi argone je bilo prav tako uporabljeno pri izdelavi zlitin, ki vsebujejo elemente, ki hitro oksidirajo, kot npr. aluminij in titan.

V zadnjem času že pretaljujemo tudi nizkolegirana jekla v varovalni atmosferi, da bi zmanjšali prehod kisika v žilindro, da bi se tako v nadaljnjem postopkuboljšala stopnja čistosti z manjšo količino nekovinskih vključkov. Čeprav daje EPŽ postopek odlične možnosti za izboljšanje čistosti jekla glede nekovinskih vključkov, bi bilo morda potrebno za posebej stroge specifikacije uvesti še dodatne ukrepe.

Tak primer je prikazan na sliki 11, iz katere razberemo, da je bilo za posebno kritično zahtevo potrebno



Slika 11

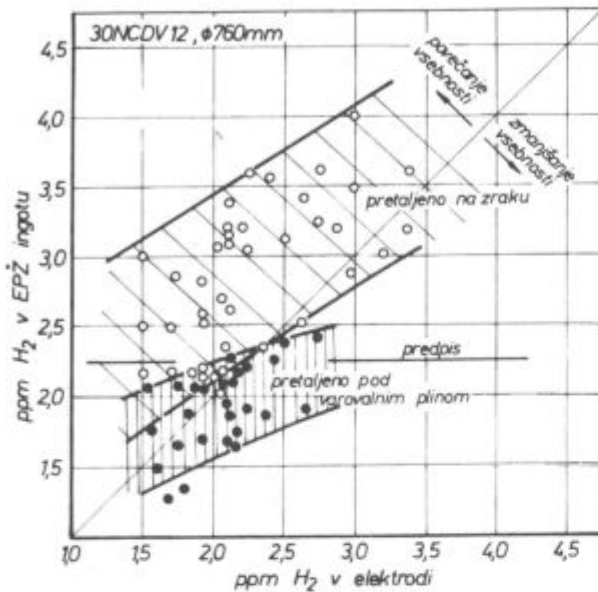
Vpliv atmosfere nad žilindro na čistost jekla 30NiCrMo12

Fig. 11

Influence of atmosphere above the slag on the purity of 30NiCrMo12 steel

pretaljevanje v varovalni atmosferi, tako da bi bilo izključeno vsako tveganje izmečka zaradi stopnje čistosti.

Slika 12 ponazarja, kako lahko pri pretaljevanju vakuumiranih elektrod v varovalni atmosferi skorajda po-



Slika 12

Obnašanje vodika pri EPŽ postopku v odvisnosti od atmosfere nad žilindrino kopeljo

Fig. 12

Behaviour of hydrogen in ESR process depending on the atmosphere above the slag pool

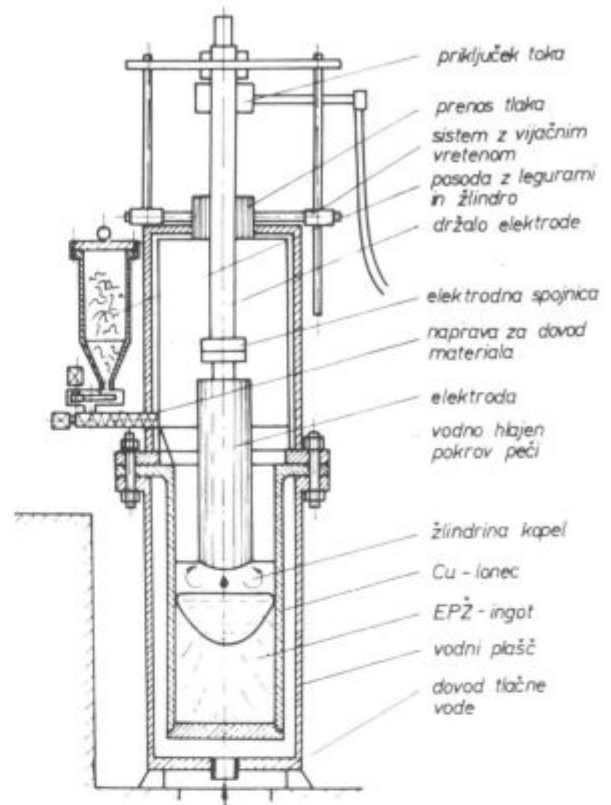
polnoma preprečimo navzemanje vodika. Nasprotno pa ugotavljamo pri pretaljevanju na zraku navzem od 1–1,5 ppm.

4.2. Pretaljevanje pot tlakom

Topnost plinov v tekoči kovini je odvisna od parcialnega tlaka plina nad površino kovine. Dušik je kot plin v železu in železnih zlitinah topen in predstavlja enega najmočnejših znanih vplivnih elementov, ki stabilizirajo avstenit. Zato je EPŽ pretaljevanje s povečanim tlakom zanimivo, ker s tem lahko povečamo topnost dušika v kovini. V preteklem obdobju je bila predlagana vrsta postopkov za izdelavo zlitin z vsebnostjo dušika nad mejo topnosti pri atmosferskem tlaku, kot je npr. tlačno indukcijsko pretaljevanje, oblačno plazma pretaljevanje pod tlakom in EPŽ pretaljevanje pod tlakom.

Medtem ko so bile izdelane tlačne indukcijske peči le v laboratorijskem merilu in so bili izdelani tlačni plazma ingoti le do teže ca. 1 t, pa je bilo tlačno EPŽ pretaljevanje v zadnjih letih razvito v proizvodni postopek. Shema take naprave je prikazana na sliki 13. Proizvodna naprava, ki more proizvajati ingote do premera 1000 mm in 14 t teže pod tlakom do 42 bar, že obratuje od leta 1980 v Zahodni Nemčiji. S to napravo je omogočeno zvišati vsebnost dušika v pretaljeni kovini na nekajkratno topnost pri atmosferskem tlaku.

Glavni razlog za uporabo dušika kot legirnega elementa predstavlja njegova sposobnost, da znatno zviša mejo razteznosti in trdnost avstenitnih jekel. Za primer kaže slika 14 vpliv vsebnosti dušika na mehanske lastnosti nerjavnega jekla X 6 CrNi 18 10.

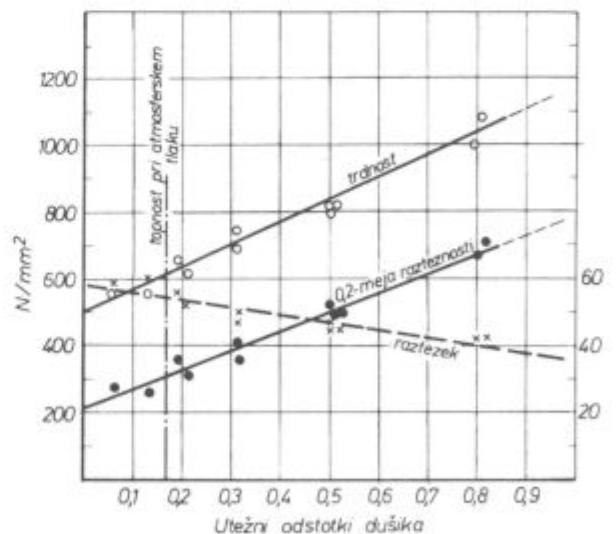


Slika 13

Shema tlačne EPŽ naprave

Fig. 13

Scheme of pressurised ESR equipment



Slika 14

Vpliv vsebnosti dušika na mehanske lastnosti jekla X6CrNi 18 8

Fig. 14

Influence of nitrogen content on mechanical properties of X6CrNi18 8 steel

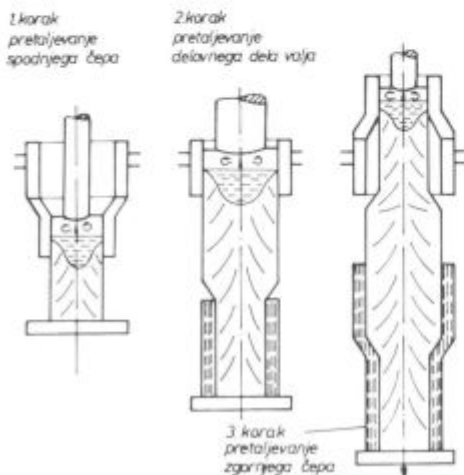
Iz tega lahko povzamemo, da zvišanje vsebnosti dušika na 0,8 % t. j. na vsebnost, ki se jo da doseči le s tlačnim pretaljevanjem, omogoči znatno zvišanje meje raz-

teznosti za 200% od 200 na 600 N/mm². To zvišanje meje razteznosti je toliko bolj zanimivo, ker je povezano le z neznatnim zmanjšanjem raztezka.

4.3 EPŽ pretaljevanje oblikovanih teles

V bližnji prihodnosti lahko pričakujemo, da bo izdelava oblikovanih teles po EPŽ postopku pridobila pomen. Pri tem naj posebej omenimo izdelavo EPŽ oblikovanih surovcev za valje.

Posamezne faze izdelave valjev po EPŽ postopku so prikazane na sliki 15 za EPŽ napravo s spuščajočim dnom in menjavo elektrod. Pri izdelavi takega surovca

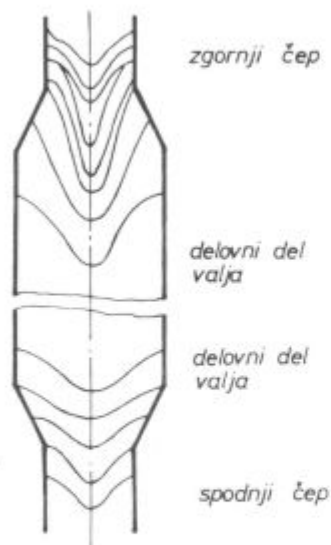


Slika 15

Tehnološke faze postopka pri izdelavi EPŽ blokov z obliko valja na napravi s spuščajočim dnom

Fig. 15

Technological stages of process in manufacturing ESR blocks with the shape of roll on the equipment with the drop bottom



Slika 16

Spreminjanje profila kovinske kopeli pri izdelavi EPŽ blokov z obliko valja

Fig. 16

Variation of the metallic-bath profile in manufacturing ESR blocks with the shape of a roll

za valj je treba posebej paziti, da je pri prehodu od manjšega na večji premer potrebno povečati količino žlindre kopeli, kar je možno brez težav s počasnim dodajanjem žlindre. Ob prehodu od delovnega dela valja v gornji čep pa je potrebno del žlindre odstraniti, za kar je potrebna posebna naprava za odsesanje žlindre.

Glede izoblikovanja strukture ingota ne obstajajo nikakršne težave pri prehodu od spodnjega čepa na delovni del valja. Oblikovanje globine kopeli poteka pri povečanju premera brez težav, kar je razvidno s slike 16. Ob prehodu od delovnega dela valja k zgornjemu čepu je potrebno hitrost pretaljevanja kontrolirano zmanjševati, tako da ne pride do zapiranja tekočega jekla, kar bi povzročalo sekundarne lunke. Tipične profile kopeli, ki se izoblikujejo pri taki izdelavi valja, prikazuje slika 16.

Po takem postopku je bilo izdelanih doslej 30 predoblikovanih valjev s premerom delovnega dela med 630 in 740 mm. Čepi na surovcu so imeli vsakokrat premer 400 mm. Ultrazvočne preiskave tako proizvedenih valjev so pokazale, da v notranjosti ni bilo nikaršnih nedopustnih napak.

5. POVZETEK

Izhajajoč iz razvoja EPŽ postopka v zadnjih 25 letih so bili navedeni vzroki, ki so bili odločilni za razvoj naprav z menjavo elektrod in s kratko dvižno kokilo ali s spuščajočim dnom. Menjava elektrod in spuščajoče dno ali dvižna kokila so omogočili proizvodnjo dolgih EPŽ blokov, neodvisno od dolžine elektrode ali kokile. S proizvodnjo dolgih EPŽ blokov je bila zmanjšana specifična poraba žlindre, medtem ko je porastla produktivnost naprave in izkoristek dobrega materiala iz enega EPŽ ingota. Hkrati je možno variranje razmerja premera med elektrodo in ingotom v širših mejah.

Za naprave s kratko kokilo in menjavo elektrod, kakršne so bile zgrajene po letu 1967, so bile zaradi osnovnega koncepta značilne tokovne zanke visoke induktivne upornosti. Nasprotno pa so naprave, koncipirane s stabilno kokilo in brez menjave elektrod, lahko dosegle pri koaksialnem odvodu nizke induktivne upornosti.

Na EPŽ napravi, postavljeni v železarni Ravne, je bil uresničen koncept naprave z menjavo elektrod in s spuščajočim dnom. Zaradi vgraditve paralelnih povratnih vodov z visokotokovnimi drsnimi kontakti je bilo mogoče znatno izboljšati induktivno upornost naprave. Naprava je opremljena s sodobnim regulacijskim sistemom, s katerim je mogoče hitrost pretaljevanja držati v ozkih mejah s pomočjo računalniško krmiljenega sprotnega nastavljanja transformatorske napetosti. Poseben regulator stalno nadzoruje in zagotavlja pravilno globino potopitve elektrode. Ta sistem predstavlja osnovo za popolno avtomatizirano obratovanje EPŽ naprave z menjavo elektrod tudi pri zaprtih napravah za pretaljevanje.

Obravnavani so bili razvojni trendi, ki bodo verjetno v bodoče še pridobili pomen, kot je pretaljevanje v varovalni atmosferi, pretaljevanje pod tlakom in pretaljevanje oblikovanih teles, pri čemer se za vse te postopke predpostavlja brezhibna funkcionalnost opisanih regulacijskih sistemov.

Pretaljevanje v varovalni atmosferi je potrebno, kadar je treba zagotoviti najnižje vsebnosti vodika in zadovoljiti najstrožje zahteve po stopnji čistosti izdelka.

Tlačno pretaljevanje omogoča proizvodnjo avstentnih jekel z vsebnostjo dušika nad mejo toplotnosti pri atmosferskem tlaku. Ker pa dušik v trdni raztopini zvi-

šuje trdnost avstenita, lahko izdelamo nemagnetne materiale z visoko trdnostjo, kot jih zahteva izgradnja energetskih naprav. S tem postopkom lahko danes že izdelujemo ingote do 1000 mm premera in teže 14 t pri tlaku do 42 barov.

Proizvodnja predoblikovanih surovcev za valje po EPŽ postopku, ki jih ni potrebno kovati, je lahko ekonomsko zelo zanimiva. Prikazane so bile značilne faze

postopka za proizvodnjo takih oblikovanih EPŽ teles in tudi praktična izvedba postopka.

Končno lahko ugotovimo, da je bil po splošnih ocenah glavni razvoj EPŽ postopkov zaključen že pred približno 10 leti. V zadnjih desetih letih pa je bil le dosežen nadaljnji razvoj z izboljšavami tehnike delovanja in regulacije naprav, ki šele prav omogoča uvedbo posebnih postopkov, katerih uporaba bo v bodoče še pridobila pomen.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Übersicht über die Entwicklung von der Einführung der ersten ESU Anlagen bis zu dem heutigen Stand mit den Haupteigenheiten der Entwicklungsstufen wird gegeben. Die wichtigsten Parameter des Schlackenverbrauches, des Energieaufwandes, des Ausbringens, so wie die technologischen Grundparameter der Umschmelzung werden angegeben. Besondere Betonung gilt der Beschreibung der Entwicklung der Anlagen mit der charakteristischen elektrischen Ausführung, der heutigen Technik der ESU Anlagen und dem Stand der Regeltechnik. Von besonderer Bedeutung sind die wasserge-

kühlten Hochstromschleifkontakte. Das neue Konzept war das erstmal im Hüttenwerk Ravne angewendet. Auserdem ist eine Neuheit auch die elektronische Regelung der Eintauchtiefe der Elektrode und die rechnerische Steuerung der Umschmelzgeschwindigkeit was von entscheidender Bedeutung für die Güte der ESU Blöcke ist. Angezeigt werden die Entwicklungsrichtungen und zwar die Umschmelzung in einer Schutzgasatmosphäre, unter höherem Gasdruck und die Erzeugung forgielter ESU Blöcke. Diese Richtungen werden in den nächsten Jahren bestimmt an Wichtigkeit gewinnen.

SUMMARY

The review of development from the introduction of the first ESR set-ups till today is given with the basic characteristics of the development stages. The principal parameters of slag and energy consumptions, yields and basic technological parameters of remelting are presented. A special emphasis is given to the development of the equipment with a characteristic electrical design, to the present techniques of the ESR equipment and the state of control techniques. Specially important are the water-cooled high-current slide contacts. The

new concept was for the first time applied in the Ravne Ironworks. Besides, the novelty is also the electronic regulation of the electrode dipping depth and the computer control of the remelting rate which is the decisive parameter for the quality of ESR ingots.

Also the development trends of remelting in protective atmosphere, under increased gas pressure, and making of shaped ESR sections are presented. These trends will in the future gain the importance.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подан обзор развития и введение первых устройств ЭШП-а до теперешнего состояния, взяв во внимание главные характеристики отдельных фаз этого развития. Приведены основные указатели расхода шлака, энергии, выхода, а также основные технологические параметры переплава.

Особенное внимание уделено развитию устройств с характерным выполнением электрического сооружения, теперешней конструкции устройств ЭШП-а и техники автоматического регулирования. Существенное значение имеют мощные токопроводящие скользящие контакты. Со-

временный проект был первый раз применен в металлургическом заводе Железарна Равне. Кроме уже упомянутого, следует обратить внимание также на электронную регулировку глубины погружения электрод, а также управлению быстроты переплавки с применением счётчика, что представляет собой существенный параметр для качества слитков ЭШП-а. Также рассмотрены направления развития при переплаве в атмосфере защитного газа, при увеличении давления газа и изготовлению сформованных изделий ЭШП-а. Эти направления наверно получат в течение ближайшей будущности более выдающее значение.

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.

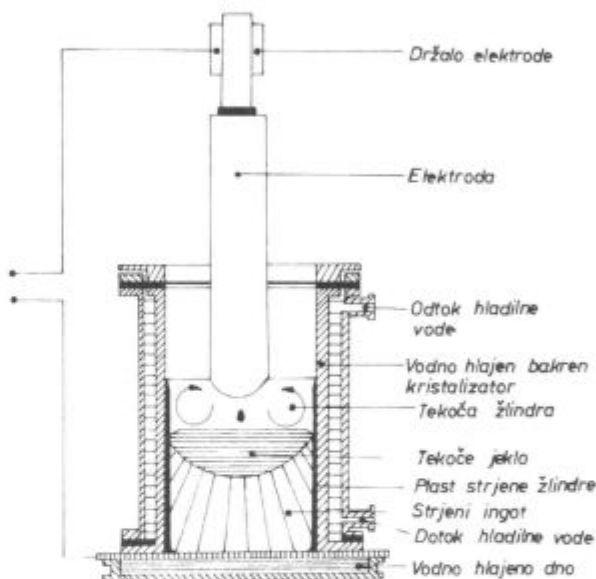
Postopek električnega pretaljevanja jekel pod žlindro je bil uveden v redno proizvodnjo Železarne Ravne¹ v letu 1973 z manjšo EPŽ napravo za ingote do 2 t, ki je bila kanseje rekonstruirana za proizvodnjo ingotov do 4 t. V letu 1983 je začela obratovati nova najmodernejša EPŽ naprava za ingote do 36 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

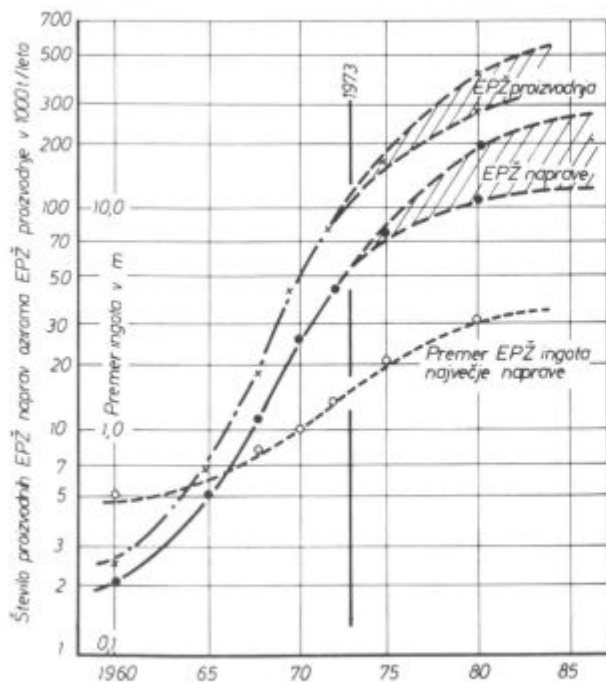
pek še najpomembnejše zagotavljanje čistosti in močnega odžveplanja jekla. Danes to v veliki meri skoraj enakovredno omogočajo najmodernejši jeklarski postopki ponovne metalurgije, ki so bistveno cenejši in produktivnejši. Zato pa postaja posebno pri večjih ingotih vse bolj odločilnega pomena kontrolirana 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.

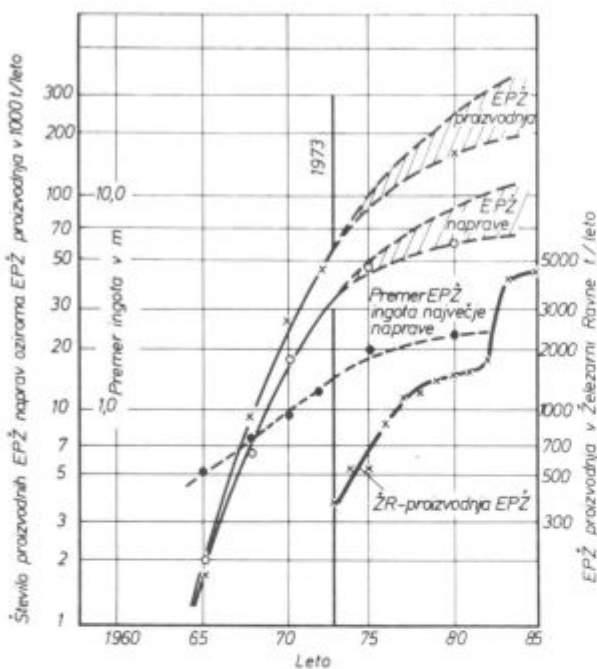
Dr. Jože Rodič, dipl. inž. metalurgije je vodja službe za razvoj in raziskave v SOŽD Slovenske železarne, Ljubljana.



Razvoj EPŽ-postopka v svetu brez upoštevanja vzhodnih držav¹

Fig. 2

Development of ESR process in the world without eastern countries¹



Razvoj EPŽ-postopka v zapadni Evropi¹

Fig. 3

Development of ESR process in Western Europe¹

- 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 Ravne¹. 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 m³/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 %

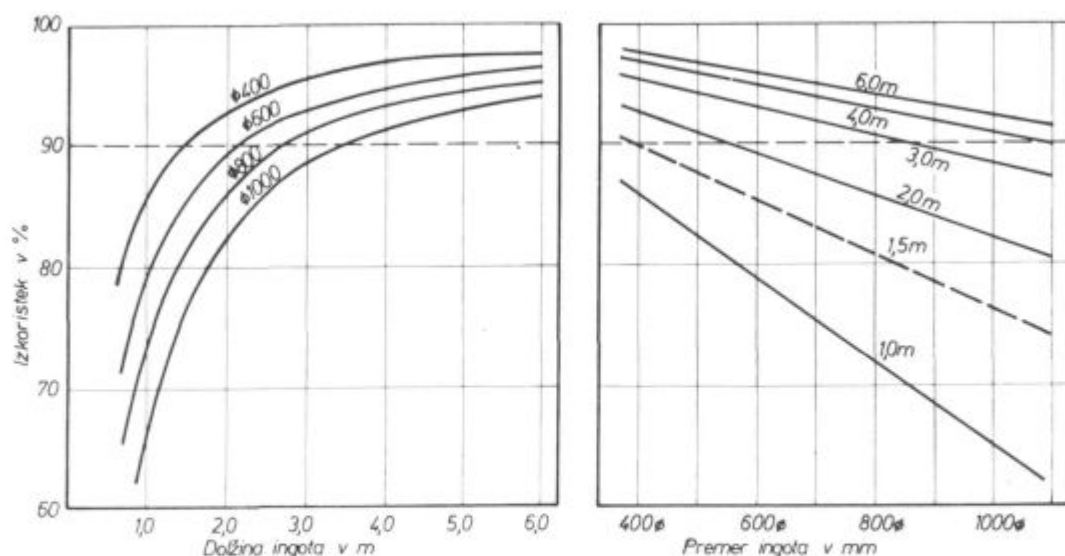
Skupine jekel

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.

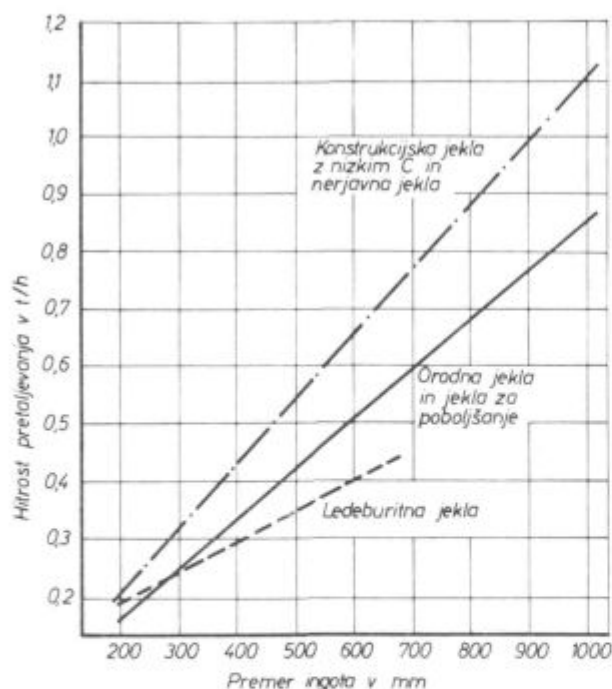
Na tem mestu naj opozorimo, da planiranje EPŽ proizvodnje in analize izkoriščenosti EPŽ kapacitet niso preprosta zadeva. Hitrost pretaljevanja je odločilni



Slika 4
Izkoristki EPŽ ingotov v odvisnosti od premera in dolžine EPŽ ingotov¹

Fig. 4
Yields of ESR ingots depending on their diameter and length¹

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 jekel¹

Fig. 5
Relation between the melting rate and the ESR-ingot diameter for various steel groups¹

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 hitrosti². 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-

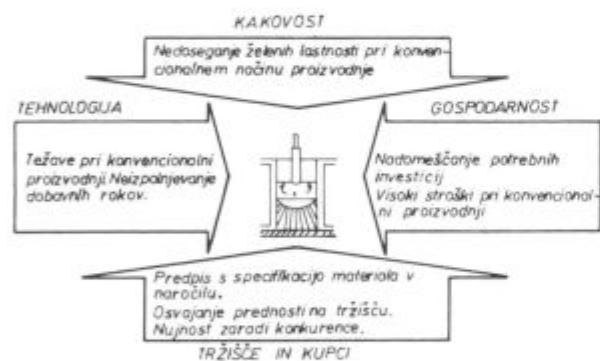
zlitin in posebnih kovin do težkih odkovkov iz nelegiranih in malolegiranih jekel za specialne namene.

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	← x)		← ← ←	← ← ← ←
Mehanske lastnosti Trdnost Meja razteznosti Žilavost Izotropnost			← ← ←	← ← ← ←

x) Napake pretaljevanja

Slika 6
Vpliv EPŽ postopka na lastnosti jekla³
Fig. 6
Influence of ESR process on steel properties³



Slika 7
Razlogi za uporabo EPŽ postopka³
Fig. 7
Reasons for the application of the ESR process³

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 boljšo 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 boljšo 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 žlindre³. 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.

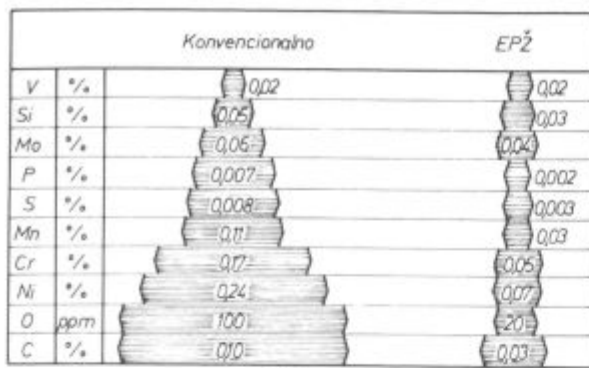
Posebno pri velikih ingotih so vse pogostejše utemeljene zahteve, da mora biti jeklo za elektrode vakuumirano, saj se vsebnost vodika med pretaljevanjem povečuje.

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 literarnih 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 brzorezanih 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 boljše. 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.

ROTORJI³

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 koloti:

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/mm² višjo mejo razteznosti oz. približno 100 N/mm² 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/mm² pri 400° C in 56 N/mm² 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 trakovost 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 teže 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 ostrejšje 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 1000×500 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 стали, 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.

Računalniško podprto krmiljenje EPŽ procesov in proizvodnje

UDK: 669.187; 861.142

ASM/SLA: D8p X14k

Šegel Jože (1) s sodelavci (2):

Velike možnosti uporabe mikro računalniške tehnike so segle tudi na področje krmiljenja EPŽ procesov in proizvodnje. V okviru mednarodnega projekta je železarna Ravne na osnovi know-how tehnologije firme Inteco in lastnih izkušenj izdelala več programskih paketov za področje krmiljenja, proizvodnje in razvoja EPŽ tehnologije. Že uporaba osnovnega programskega paketa ESR-BASIC nekajkrat izboljša enakomernost hitrosti taljenja in s tem homogenost posameznega EPŽ ingota, kakor tudi več ingotov iste kvalitete. V prakso uvedeni programi se prilagajajo različnim vrstam in velikostim EPŽ peči.

UVOD

Predstavljeni bodo rezultati mednarodnega projekta AUTO-ESR, pri katerem sta sodelovali avstrijska firma INTECO in železarna Ravne. Projekt je bil zasnovan po dobrih izkušnjah pri uvajanju in uporabi procesnih računalnikov in EPŽ peči v železarni Ravne, »know-how« firme Inteco in pripravljenosti obeh partnerjev za organizacijo in izvedbo mednarodnega projekta. Od projekta smo pričakovali znatne kakovostne in ekonomske učinke v EPŽ obratu železarne Ravne in prve izkušnje to potrjujejo.

Izdelana računalniška rešitev je primerna za inštalacijo na ključ.

Železarna Ravne ima v EPŽ obratu dve peči:

EPŽ1: To je peč ruske izdelave (1973), tip R-951U, ki je namenjena za proizvodnjo ingotov v stabilnem kristalizadorju kv. 400 mm, in teže 2 toni. Z uvedbo dvižnih kristalizadorjev in z manjšimi rekonstrukcijami danes izdelujejo ingote premera od 220 mm do 500 mm in teže do 4 ton.

EPŽ2: INTECO peč (1982) za ingote, premera od 500 do 1000 mm in nazivne teže do 36 ton.

Na obeh pečeh se v praksi pretaljuje preko 100 zelo različnih vrst jekla z vrsto različnih elektrod in kristalizadorjev.

Računalniško podprto krmiljenje proizvodnje EPŽ procesov predstavlja razmeroma samostojni segment uporabe računalnika v jeklarni železarne Ravne, kjer se postopoma gradi računalniški hierarhični sistem.

Na sliki 1 je prikazan močnejši mikro računalnik za dve EPŽ peči z industrijskim vmesnikom, konzolnim terminalom in 10 MB magnetnim diskom, ki krmili procese in proizvodnjo v EPŽ obratu železarne Ravne.



Slika 1

Mikro računalnik za krmiljenje procesov in proizvodnje dveh EPŽ peči

Fig. 1

Micro computer for process production control of two ESR furnaces

NAMEN UPORABE RAČUNALNIKA PRI KRMILJENJU PROIZVODNJE

Izboljšanje nivoja in enakomernosti kakovosti izdelkov iz EPŽ jekla

Hitrost pretaljevanja ima neposreden vpliv na izzeje in dendrite EPŽ ingotov ter s tem na homogenost in kakovost izdelkov iz EPŽ jekla.

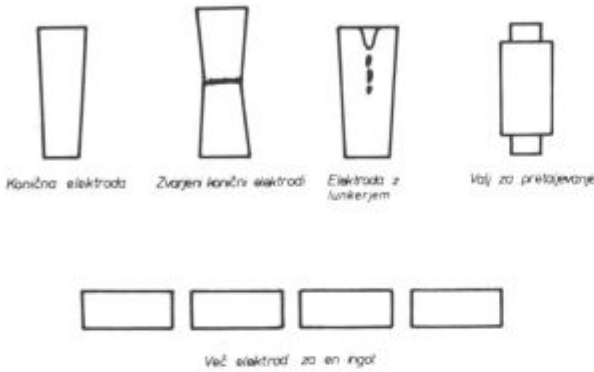
Iz EPŽ procesa želimo dobiti v prvi vrsti VISOKO KAKOVOST IZDELKA. Za kupce je pomembna poleg enakomerne kakovosti posameznega izdelka enakomerna kakovost med izdelki iste vrste. Kadar se presek elektrode po dolžini spreminja ali kadar je potrebno za en EPŽ ingot pretaliti več elektrod, je potreben dinamičen izračun električnih parametrov. Izračun upošteva

(1) — Jože Šegel, dipl. inž. metalurgije je vodja službe za avtomatizacijo proizvodnih procesov v Železarni Ravne.

(2) — V projektu so sodelovali:

P. Ranc, W. Holzgruber, J. Rodič, M. Živič, M. Švajger, I. Cigale.

številne medsebojno odvisne vplivne parametre in metalurške reakcije, tako da je hitrost pretaljevanja med taljenjem konstanta. Kakovost je močno odvisna od pogojev strjevanja. Tipični primeri elektrod, pri katerih je treba električne parametre dinamično prilagajati, so prikazani na sliki 2. Pri večjem številu elektrod upoštevamo poznano stopničasto spreminjanje omske in induktivne upornosti. Sproti se mora registrirati teža in dolžina elektrode ter izračunavati trenutna in poprečna hitrost taljenja.



Slika 2

Nekateri tipični primeri EPŽ elektrod, pri katerih je treba dinamično spreminjati električne parametre

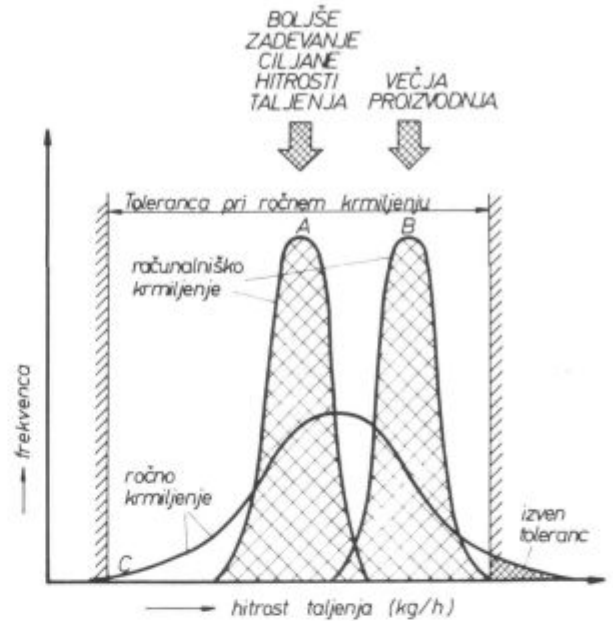
Fig. 2

Some typical examples of ESR electrodes where electrical parameters must be dynamically controlled

Subjektivni vpliv posadke na vodenje procesa se z uvedbo računalnika postopoma zmanjšuje. Z uporabo računalnika se poenoti način določitve električnih parametrov, poveča se nadzor nad delom in zmanjšujejo človeške napake, kar ugodno vpliva na enakomerno kakovost iste vrste izdelkov. Topilcu je v vsakem trenutku na razpolago najboljše poznana tehnologija in tehnološki predpis. Tako dosežemo boljše zadevanje željene načrtovane hitrosti taljenja (Slika 3).

Odločilna je težnja, da s čim višjo produktivnostjo in čim manjšo specifično porabo energije zagotovimo proizvodnjo EPŽ ingotov z dobro površino, enakomerno strukturo, dobro čistostjo in visokim izkoristkom. Zmanjšan je riziko izmečka. Pri klasičnem vodenju EPŽ procesov brez uporabe računalnika je toleranca hitrosti pretaljevanja več kot $\pm 10\%$ od načrtovane hitrosti med šaržami istega izdelka, pri vodenju s procesnim računalnikom lahko realno pričakujemo zmanjšanje te tolerance na ± 2 do 3% . To bi npr. pomenilo zmanjšanje nihanja hitrosti taljenja od ± 50 kg/h na ± 15 kg/h, kar se močno odraža v kakovosti in homogenosti EPŽ ingotov. Predpis željene hitrosti taljenja v tolerancah velja predvsem za hitrost taljenja med procesom, to je med izdelavo enega ingota. Dejanski podatki brez uporabe računalnika kažejo velika nihanja hitrosti taljenja v teku izdelave ingota in ostopanja od predpisane hitrosti. To neposredno vpliva na neenakomernost lastnosti po višini ingota. Primerjava nihanja hitrosti taljenja pri ročnem in računalniškem krmiljenju EPŽ procesa na sliki 4 kaže izredno izboljšanje enakomernosti hitrosti taljenja. Izboljša se tudi krmiljenje moči ob zamenjavi elektrod in zaključevanju taljenja («hot topping»).

S pomočjo računalnika torej dosežemo večjo enakomernost kakovosti jekla znotraj ene šarže in med šaržami iste kvalitete.

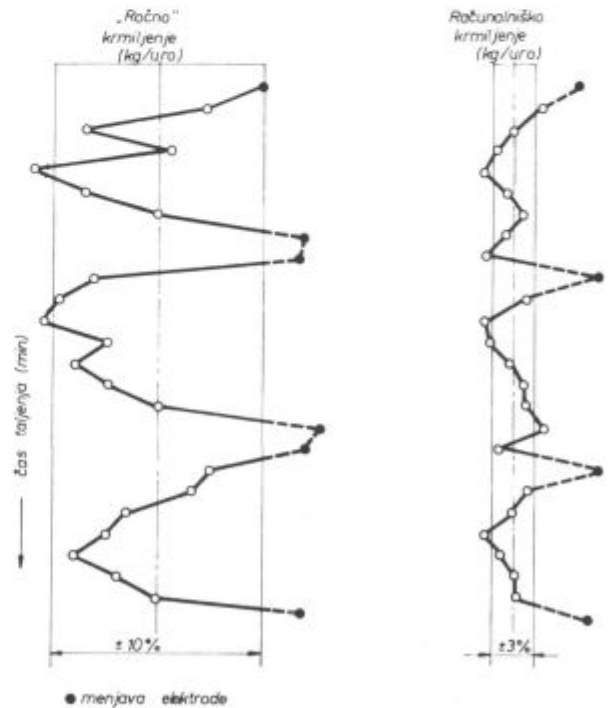


Slika 3

Kvaliteta računalniško in »ročno« krmiljenih EPŽ procesov

Fig. 3

Quality of computer and manual controlled ESR processes



Slika 4

Primerjava nihanja talilne hitrosti pri ročnem in računalniškem krmiljenju EPŽ procesov

Fig. 4

Comparison of variation of melting rate in manual and computer control of ESR processes

EKONOMSKI UČINKI RAČUNALNIŠKEGA VODENJA EPŽ PROCESOV

Povečanje produktivnosti

Produktivnost se poveča zaradi boljše organiziranosti dela in zaradi povprečnega povečanja hitrosti taljenja znotraj predpisanega območja. Na sliki 3 je prikazan tudi princip doseganja višje povprečne hitrosti taljenja.

Za »ročno« vodenje procesa je značilna razmeroma velika standardna deviacija hitrosti taljenja med šaržami enega tehnološkega predpisa. S pomočjo računalnika in ustreznega modela vodenja procesa lahko deviacijo zožimo in povprečje premaknemo k višjim načrtovanim vrednostim, ne da bi bilo ogroženo odstopanje od tehnološkega predpisa. Enakomernejšo hitrost taljenja med šaržami istega izdelka pričakujemo zaradi enotnega načina odločitve parametrov pretaljevanja, enotnih izkušenj, ki so vgrajene v računalniški model, izključevanja človeških napak in boljšega sistema nadziranja. Topilci bodo imeli na razpolago v računalniku vgrajeno najboljšo poznano tehnologijo. Pričakuje se 8–12 % povečanje produktivnosti.

Znižanje specifične porabe električne energije

Teoretično se za taljenje jekla porabi okoli 450 kWh/t, poraba energije pri EPŽ procesu pa znaša, odvisno od velikosti ingota, 900–1800 kWh/t. Torej je izkoristek energije zelo majhen; kakšen bo dejanski, pa je odvisno od vrste vplivnih dejavnikov:

- količino in sestavo žlindre,
- polnilnega faktorja,
- fizikalnih in kemičnih lastnosti elektrodnega materiala,
- površino elektrode,
- atmosfero nad žlindro,
- hitrosti taljenja,
- razmerja električnih parametrov.

Vodenje procesa na minimalno specifično porabo energije pomeni znatno zmanjšanje proizvodnih stroškov in tako enega od ekonomskih ciljev uporabe računalnika. Z računalnikom lahko vplivamo predvsem na zadnja dva vplivna dejavnika, to je hitrost taljenja in razmerje električnih parametrov.

Izkoristek in poraba žlindre

Ker je z računalniškim vodenjem omogočena kontrola kakovosti žlindre, bo mogoče postopoma (in previdno) povečati količino povratne žlindre od normalnih 20–30 % na skrajno mejo 50–60 %.

Povečanje izkoristkov

Velika prednost računalniškega vodenja v primerjavi s programsko regulacijo je v tem, da računalniškemu vodenju lahko prepustimo tudi fazo starta in začetka pretaljevanja ter fazo zaključevanja z dinamično optimizacijo in programskim vodenjem. Prav v teh fazah pa so največje rezerve za povečanje izkoristkov.

Izboljšanje organizacije in vodenja EPŽ proizvodnje

V železarni Ravne gradimo integralen računalniško podprt informacijski sistem na področju poslovanja, vodenja laboratorijev, operative in proizvodnih procesov. Že več let je v uporabi centralni računalnik za:

- sprejemanje naročil,
- izdajo delovne dokumentacije,
- materialno poslovanje,
- obračun proizvodnje,
- finančno poslovanje,
- integralno krmiljenje kakovosti,
- druge sorodne obdelave podatkov.

Poleg centralnega računalnika IBM 4341 uporabljamo v železarni Ravne za računalniško podprto krmiljenje proizvodnje in procesov še 13 mini in mikro računalnike ter preko 90 terminalov. V ta razvejen računalniški informacijski sistem se vgrajuje razmeroma samostojen nov segment za EPŽ obrat. Posredno ali neposredno je povezan z ostalimi računalniškimi sistemi v jeklarni, kemijskem laboratoriju in pri internih naročnikih EPŽ ingotov.

Računalniški sistem AUTO-ESR delno nadomesti običajno delovno dokumentacijo in način registriranja poteka šarže. V računalniku so podatki organizirani v taki obliki, da so mogoče učinkovite analize in sistem povratnih informacij.

Računalniška dokumentacija zamenjuje subjektivno odčitavanje, merjenje in beleženje. Še posebej pomembna je avtomatska registracija vseh alarmnih signalov, ki se kasneje analizirajo in uporabljajo pri ugotavljanju zaporedja dogodkov in vzrokov za nastalo alarmno situacijo.

Banka podatkov o pretaljevanju daje številne možnosti korelacijskih in regresijskih analiz, ki vodijo k zanesljivejšemu in kvalitetnejšemu vodenju procesa. Identificirajo se lahko mrtvi časi v toku obratovanja.

Sistem omogoča tekoče ali občasno izpopolnjevanje s spremembami tehnoloških pogojev na osnovi povratnih informacij iz proizvodnje (pretaljevanja in predelave). To področje tehnološke in kontrolne dokumentacije, obdelave podatkov in izkoriščanje povratnih informacij je izredno pomembno za izboljšanje kakovosti in zagotavljanje enakomernosti procesa in kakovosti izdelkov.

Računalniško podprt je tudi informacijski sistem vodenja proizvodnje. Računalnik daje operativnemu osebju pregled nad aktualnimi naročili, zalogami in nabavo EPŽ elektrod, kar omogoča lažje terminiranje in planiranje kapacitet proizvodnje EPŽ obrata.

FUNKCIJE IN VSEBINA UPORABE RAČUNALNIKA

Značilnosti celega programskega paketa

Predhodno poglavje o smernicah in ciljih je osnova za opredelitev primarnih in sekundarnih nalog uporabe računalnika. Nekatere naloge in funkcije so v predhodnem poglavju že opisane.

Celotno področje je tako široko in kompleksno, da je razdeljeno v dva programska paketa:

- bazični programski paket za primarne naloge in
- razširjen programski paket.

Bazični paket pomeni izhodiščne programske module, ki so osnova tudi za razširjen programski paket. Upoštevati je treba, da razširjen programski paket zahteva večjo aparaturno in programsko opremo in se nudi kot opcija ali alternativa k bazičnemu paketu.

V vsakem primeru je mogoče programske pakete uporabiti za eno ali več EPŽ naprav. Bazični paket je izdelan za eno EPŽ napravo. Razdelitev bazičnega in razširjenega programskega paketa AUTO-ESR je prikazana na sliki 5.



Slika 5

Bazični in razširjen programski paket za krmiljenje procesov in proizvodnje EPŽ obrata

Fig. 5

Basic and extended program pack for controlling processes and the production of ESR plant

Naloga bazičnega programskega paketa (primarne naloge):

- a.) Zbiranje podatkov in prikaz stanja
- b.) Formiranje in vzdrževanje matičnih datotek
- c.) Krmiljenje taljenja z dinamičnim računanjem:
 - hitrosti taljenja
 - globine potopitve elektrode
 - moči, napetosti in toka
 - dodatka legur in dezoksidantov ter
 - dajanje know-how navodil na zaslon terminala pri peči.
- d.) Poročila in izpis šaržnega protokola

Naloga razširjenega programskega paketa (sekundarne naloge):

- a.) Priprava tehnologije za nove vrste izdelkov in vložkov
- b.) Vodenje knjige naročil za EPŽ obrat
- c.) Vodenje evidence nabave EPŽ elektrod
- d.) Vodenje zalog elektrod, ingotov in ostalega materiala
- e.) Direktna povezava z nadrejenim računalnikom
- f.) Matematično statistične analize
- g.) Vodenje in optimiranje naročil za EPŽ obrat
- h.) Parcialni obračun proizvodnje
- i.) Obdelava podatkov s področja kontrole kakovosti, neuspele proizvodnje in laboratorijev

DINAMIČNO KRMILJENJE PRETALJEVANJA

Ključnega pomena je vodenje hitrosti taljenja in globine potopitve elektrode. V obeh primerih računalnik zbira podatke, prikazuje stanje na zaslonu terminala in posredno ali neposredno dinamično nastavlja željene vrednosti za hitrost taljenja in globino potopitve elektrode. Pri spreminjanju hitrosti taljenja se spremeni samo napetost in temu se glede na razmerje U/I prilagodi električni tok. Na ta način se spremeni tudi elektri-

čna moč. Pri regulaciji globine potopitve elektrode se nastavi velikost nihanja toka, ki se spreminja s polnilnim faktorjem. Pri pomičnem dnu in merjenju hitrosti taljenja s pomočjo meritev dolžine elektrode mora biti urejena regulacija in sinhronizacija hitrosti pomika dna s hitrostjo taljenja elektrode.

V komandni kabini EPŽ obrata je inštaliran video industrijski terminal, s pomočjo katerega topilec (operator) komunicira z računalnikom. Topilec spremlja na zaslonu prikazano sliko stanja EPŽ procesa. V obliki histograma in številčnih podatkov, kot jih prikazuje slika 6, dobi topilec naslednje aktualne informacije:

- vrednost in nihanja hitrosti taljenja za preteklih 60 minut
- prikaz predpisane tolerance in odstopanja
- poprečne hitrosti taljenja zadnjih 5 minut (ali kakšnega drugega časovnega intervala)
- poprečno hitrost taljenja za ca. 1 uro taljenja
- oznako morebitnega alarmnega ali drugega pomembnega signala
- aktualna dolžina elektrode in ingota,
- moč (kW), sekundarni tok in napetost.
- V primeru, da je hitrost taljenja zunaj predpisane tolerance, pošlje računalnik zvočni signal in izpiše opozorilo na zaslon terminala. Poleg opozorila izpiše še obvestilo, da je treba moč in napetost zmanjšati ali povečati ter informativno še druge aktualne podatke.



Slika 6

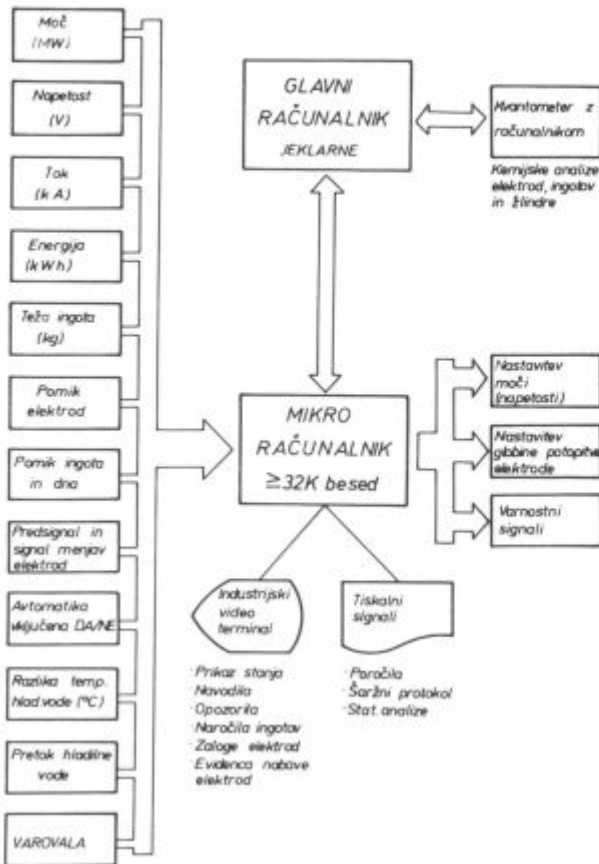
Topilec pri uporabi računalnika

Fig. 6

Smelter using the computer

Za delovanje računalnika pri krmiljenju EPŽ procesov so odločilnega pomena vhodne in izhodne informacije krmiljenega sistema.

Na sliki 7 so prikazane te informacije vezane na mikro računalnik s pomočjo primerne vmesnika in terminalov. Pri peči je inštaliran industrijskim pogojem prilagojen video terminal, v pripravi dela pa je običajen video in tiskalni terminal. Mikro računalnik je lahko povezan z glavnim računalnikom jeklarne. Ta povezava služi za prenos informacij o kemijskih analizah, naročilih za EPŽ obrat, spremljanju proizvodnje in polnjenju banke podatkov o dejanskem poteku EPŽ šarž.



Slika 7

Vhodne in izhodne informacije AUTO-ESR sistema

Fig. 7

Input and output informations of the AUTO-ESR system

Programski paket je razvit tako, da so v računalniškem sistemu shranjeni in na razpolago podatki o najbolj poznani tehnologiji in zadnjih veljavnih tehnoloških predpisih.

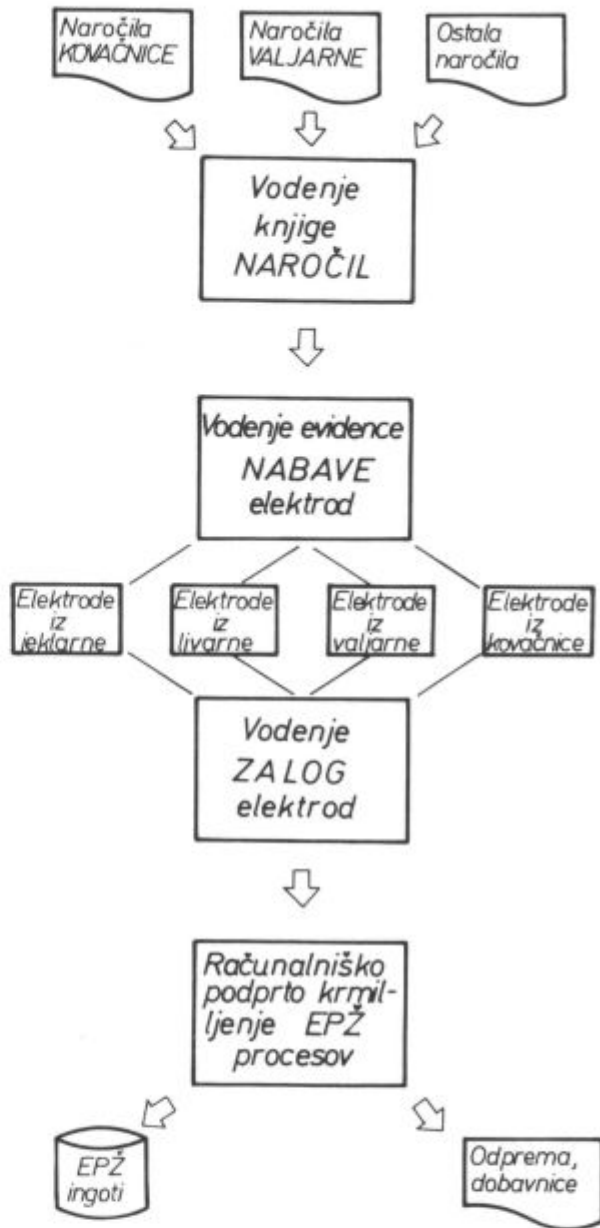
V prvi fazi razvoja in uvajanja računalniškega krmiljenja taljenja priporočajo odprto zračno krmiljenje, ki mu sledi zaprto zračno krmiljenje.

RAČUNALNIŠKO PODPRTO KRMILJENJE PROIZVODNJE

Osrednji programi za računalniško podprto krmiljenje proizvodnje v EPŽ obratu so prikazani na sliki 8.

Računalnik vodi knjigo naročil in s tem ob vsaki odpremi odpiše izvršena naročila, obenem pa tudi odpiše iz zaloge porabljene elektrode. Na terminalu v EPŽ obratu imajo tekoč pregled nad celotno situacijo glede naročil in zalog elektrod. Na razpolago imajo »menu«, kot ga kaže slika 9. Med drugim so izračunane tudi zasedene kapacitete ene ali več EPŽ peči, kar se uporablja pri planiranju kapacitet in terminiranju proizvodnje.

S pomočjo posebnih programov se vodijo zaloge in nabave elektrod. Planer tekoče vnaša dobave in porabe elektrod. Po potrebi se izpiše stanje zalog na video ali tiskalni terminal. Kot se na sliki 10 vidi, vsebuje izpis



Slika 8

Programi za računalniško podprto krmiljenje proizvodnje v EPŽ obratu

Fig. 8

Programs for the computer-supported production control in the ESR plant

stanja zalog podatke o: vrsti jekla, šarži, tipu elektrode, teži elektrode, morebitni rezervaciji elektrod, številu kosov in teži elektrod.

MATEMATIČNO STATISTIČNE ANALIZE

Za potrebe kontrole kakovosti EPŽ izdelkov, razvoja, raziskav in tehnologije pridejo do veljave matematično statistične analize. Poleg matematično statistične obdelave podatkov posamezne šarže so koristne obdelave podatkov večjega števila šarž ene vrste jekla, elektrode in kristalizatorja.

EPŽ-01.0 PROGRAM ZA VODENJE KNJIGE NAROČIL EPŽ OBRATA 11:50 19-JUN-83

```
*****
*           G L A V N I   M E N I           *
*****
```

- 1 - VNAŠANJE NOVIH NAROČIL
- 2 - IZPISOVANJE NAROČIL
- 3 - SPREMINJANJE NAROČIL
- 4 - BRISANJE NAROČIL

K A J Ž E L I Ž J E C I R T U R N I

```
*****
*           M E N I           *
*****
```

- 1 - EHD NAROČILO
- 2 - STANJA NAROČIL
- 3 - NAROČENA JEKLA
- 4 - POTRABNE ELEKTRODE
- 5 - ZASLEDENOST KAPACITET

Slika 9

Možnosti uporabe programa za vodenje knjige naročil

Fig. 9

Possibility of applying the program for bookkeeping the orders

ZAKLJUČEK

Računalniško odprto krmiljenje EPŽ procesov omogoča povečanje nivoja in enakomernosti kakovosti produktov EPŽ peči. Zaradi 2—4 krat boljše enakomernosti hitrosti taljenja ene šarže in več šarž iste kvalitete se dože visoka kakovost EPŽ izdelkov.

Za predstavljeno računalniško rešitev je značilna modularnost in celovitost obravnave EPŽ procesov in obrata. S pomočjo strukturno grajene programske opreme se za posamezno peč ali več EPŽ peči pripravi ra-

EPŽ

EPŽ-01.0 --- PROGRAM ZA VODENJE ZALOG ELEKTROD EPŽ OBRATA 11:59 12-DEC-83

```
*****
*           M E N I           *
*****
```

- 1 - Dobava elektrod
- 2 - Poraba elektrod
- 3 - Stanje zalog

K A J Ž E L I Ž J E

Želiš izpis na terminal ali printer C T/F J Y T

STANJE ZALOG ELEKTROD 11:59 12-DEC-83

JENLO	ŠARŽA EL.	TIP EL.	KG/KOS	REZERVIRANO KOSOV	TEŽAKA
BR3	11457	LD16	436.	9	3924.
	11674	LD16	436.	9	3924.
	11830	LD16	436.	9	3924.
	11842	LD16	428.	9	3852.
	11983	LD16	390.	9	3510.
	12010	LD16	390.	12	4680.
				57	23814.

Slika 10

Primer izpisa stanja zalog elektrod ene vrste jekla

Fig. 10

An example of the copy of stock of electrodes of one steel type

ZUSAMMENFASSUNG

Die grossen Möglichkeiten der Mikrorechner haben sich auch auf dem Gebiet der Steuerung der ESU Prozesse durchgesetzt. Im Rahmen eines internationalen Projektes hat Hüttenwerk Ravne auf Grund der Know-how Technologie der Firma Inteco und der eigenen Erfahrungen mehrere Programmpakete für das Gebiet der Steuerung der Produktion und der Entwicklung der ESU Technologie ausgearbeitet. Schon die

Anwendung des Grundprogrammpaketes ESU-BASIC verbessert einige Male die Gleichmässigkeit der Schmelzgeschwindigkeit und damit die Homogenität der ein zelnen ESU Blöcke wie auch mehrerer Blöcke derselben Stahlsorte. In die Praxis eingeführten Programme sind verschiedenen Arten und grössen der ESU Anlagen angepasst.

SUMMARY

Great possibilities in application of micro-computer techniques reached also the control of ESR processes and the production. In the frame of an international research project the Ravne Ironworks prepared some program packs for control, production and development of ESR technology being based on the know-how of the Inteco company and own experiences.

Already the application of the basic program pack ESR-BASIC improves for few times the uniformity of the remelting rate and thus the homogeneity of a single ESR ingot and of group of ingots of the same quality. Into the practice introduced programs are adapted to various types and sizes of ESR furnaces.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широкое применение вычислительной техники достигла также область управления процессом ЭСП-а и производства стали. В рамках международного проекта в металлургическом заводе Железарна Равне разработаны на основании know-how технологии фирмы Inteco и собственных опытов пакеты для области управления, производства и развития технологии электрошлакового переплава (ЭСП).

Уже применение основного программного пакета ESR-BASIC на несколько раз улучшила равномерность быстроты плавки и, таким образом, гомогенность отдельного слитка ЭСП переплава, а также многих слитков одного и того же качества стали. Введенные в промышленной практики программы соответствуют различным сортам стали и величине печи ЭСП переплава.

Gospodarjenje z električno energijo v Železarni Ravne

UDK: 621.316.003

ASM/SLA: U7C, W11

Janez Bratina

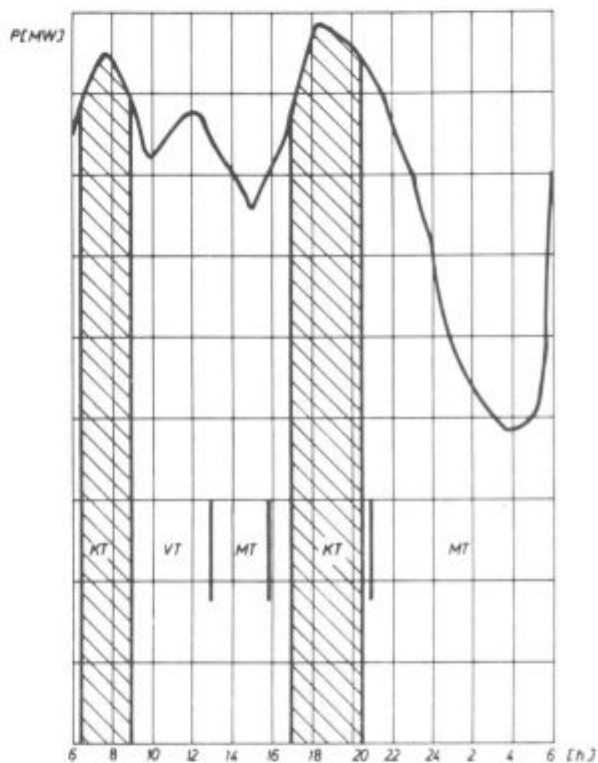
UVOD

Kot posledica eksplozivnega večanja cen energije prihaja v metalurški proizvodnji vse bolj do pomembne veljave energetskega menagementa, ki kot oblika vodenja in upravljanja procesov v industriji izpolnjuje naloge in cilje, ki so v neposrednih ekonomskih učinkih proizvodnje, pa tudi v posrednih učinkih ohranjanja narodnega bogastva in okolja, v katerem živimo. Obravnavana sta dva vidika elektroenergetskega menagementa, ki ga zajemata pojma racionalna raba električne energije kot način porabe električne energije z doseganjem njene najnižje cene in racionalna izraba električne energije kot način vodenja proizvodnje z doseganjem najnižje specifične porabe električne energije na enoto proizvoda. Na področju gospodarjenja z električno energijo smo v železarni Ravne realizirali nekaj načel energetskega menagementa, ki so v članku prikazana kot poizkus optimiranja tehniških parametrov s pomočjo ekonomskih vrednosti in kot poizkus izpeljave optimalnih elektroenergetskih odnosov v elektroobločnih pečeh za proizvodnjo jekla.

I. VODENJE ELEKTRIČNE MOČI ŽELEZARNE

O racionalni rabi električne energije tako velikega porabnika energije, kot je železarna Ravne, lahko govorimo le v okviru elektroenergetskega sistema Slovenije, o racionalni izrabi električne energije pa je znotraj delovne organizacije mogoče govoriti predvsem na področju metalurške elektrotermije. Racionalno rabo električne energije zahteva elektroenergetski proizvodno-prenosni sistem Slovenije, in sicer s težnjo, da bi vsakokratna poraba električne energije v sistemu omogočala njeno najcenejšo proizvodnjo. Neposredni odjemalci električne energije (TGA Kidričevo, TD Ruše, Slovenske železarne) prevzamejo letno več kot 25 % proizvedene električne energije in s svojim gospodarjenjem z njo bistveno pripomorejo k znižanju njenih proizvodnih stroškov. Intenzivnost porabe električne energije v elektroenergetskem sistemu Slovenije se v teku dneva spreminja: najnižja je v nočnem času, mnogo večja pa je v dopoldanskem času, ko obratuje večina industrije. Kot je s slike 1 razvidno, nastopajo znotraj dneva pasovi izrazito velikih obremenitev (konic obremenitve), ki so predvsem posledica navad in razvad gospodinjskih odjemalcev, katerih poraba nastopa v času kuhanja obrokov, v času nizkih temperatur, z nastopom mraka, itd.

Janez Bratina, dipl. inž. elektrotehnike, je ravnatelj TOZD ETS Železarne Ravne



Slika 1

Obremenilni diagram električne moči za SRS

Fig. 1

Load diagram of electric power in SR Slovenia

ter tiste industrije, ki proizvaja v eno ali dvoizmenskem ciklusu. Praviloma nastopata v zimskem času dve konici (jutranja in večerna), v letnem času pa le večerna. Celodnevna zimska poraba električne energije je v sistemu višja kot celodnevna letna, tudi dnevne konične obremenitve so v zimskem času višje kot v dnevnem. Zaradi znanega vsakokratnega ravnotežja med porabo električne energije in njeno proizvodnjo so zaradi takega načina odjema električne energije proizvodne in prenosne zmogljivosti v elektroenergetskem sistemu neenakomerno izrabljene, saj morajo biti grajene (upoštevajoč še nujne rezervne kapacitete) za maksimalno moč, ki nastopi le enkrat v teku 24 ur oz. le enkrat v teku 365 dni celega leta. Vsak posamezni porabnik električne energije ima svoj lasten obremenilni diagram, ki kaže, kako intenzivno porablja energijo v teku dneva, meseca, leta. Če delimo porabljeno količino električne energije (kWh) v nekem obdobju z največjo močjo (kW), s kate-

ro smo porabljali električno energijo v tem obdobju, dobimo tako imenovane obratovalne ure (h), ki so neposredno merilo enakomernosti (intenzivnosti) porabe. Če bi imeli na pr. mesečne obratovalne ure 720 h (24 ur \times 30 dni), bi to pomenilo, da smo porabljali električno energijo skozi ves mesec absolutno enakomerno. Industrijski porabniki električne energije z enozmenskimi ali z dvozmenskimi delom dosegajo na pr. 100–300 obratovalnih ur, posamezno gospodinjstvo okrog 20 obratovalnih ur na mesec.

Proizvodnja električne energije v elektroenergetskem sistemu Slovenije je tako popolnoma v rokah porabe, uporaba proizvodnih in prenosnih zmogljivosti je odvisna od vsote obratovalnih karakteristik vseh porabnikov v sistemu. V vsaki proizvodnji pa so stroški proizvodnje bistveno odvisni od obratovalne izkoriščenosti naprave: čim več ur naprava obratuje, tem nižji so njeni specifični fiksni stroški. Kapitalno intenzivne gospodarske panoge (elektrogospodarstvo, metalurgija) nastopajo z velikimi deleži fiksnih stroškov v skupnih stroških poslovanja: če upoštevamo za gibljive stroške le stroške energetskega goriva (ter stroške neposredno vezane na gorivo), dobimo kljub podcenjenim osnovnim sredstvom elektrogospodarstva in skoraj tržnim cenam goriva razmerje med celoletnimi fiksnimi in gibljivimi stroški, ki je večje od ena. Podobna visoka razmerja (tudi preko 2) dosegajo tudi druga zapadno-evropska elektrogospodarska podjetja.

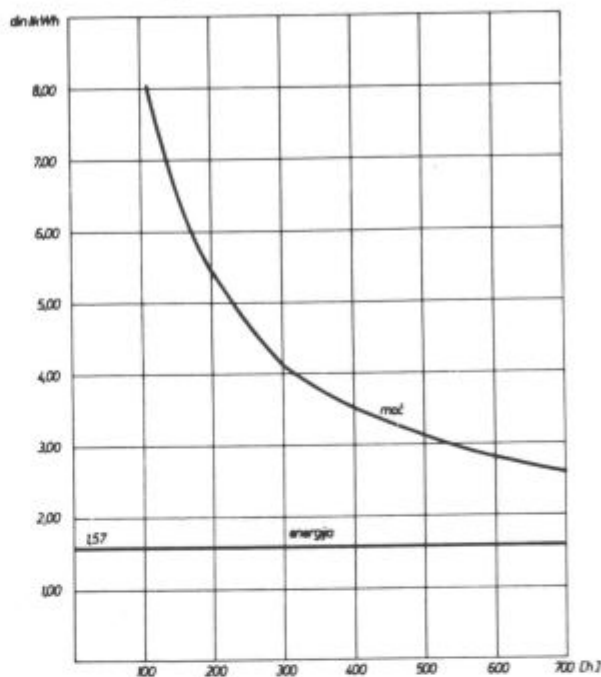
Upoštevajoč ekonomske zakonitosti, po katerih naj kupec krije stroške za prevzeto in porabljeno električno energijo, se iz navedenega dajo izluščiti elementi tarifnega sistema za prodajo električne energije:

- postavka za električno energijo (din/kWh) naj pokriva gibljive stroške (gorivo),
- postavka za angažirano moč (din/kW) naj pokriva fiksne stroške.

Postavke pa se ločijo po sezonah: v času zimske sezone, ko nastopa v sistemu višja poraba, je potrebno angažirati termoelektrarne z dražjim gorivom, imamo višje sezonske postavke; v času poletne sezone, ko je poraba manjša in obratujejo elektrarne z najnižjimi proizvodnimi stroški, kot napr. hidroelektrarne, pa imamo nižje sezonske postavke tako za moč kot energijo. Postavke se ločujejo tudi v odvisnosti od ur dneva: manjša tarifa traja v času noči ter v času popoldanske energetske doline (13 h do 16 h), višja tarifa traja v času dneva, za določene kategorije odjemalcev pa je določena tudi tako imenovana konična tarifa, ki traja v času, ko nastopajo v elektroenergetskem sistemu najvišje obremenitve (glej sl. 1). Ker se vse omenjene postavke (kakor tudi postavke za jalovo energijo) ločujejo tudi po napetostnih nivojih, kjer so porabniki priključeni na omrežje, se iz množice postavk na kraju obračunskega obdobja (mesec, leto) dobi sestavljena povprečna cena za kWh električne energije, ki je (poleg splošnega nivoja) odvisna predvsem od obratovalnih karakteristik posameznega industrijskega odjemalca. Gospodinjstva po veljavnem tarifnem sistemu še nimajo sezonskih postavk, značilnost sedanjega tarifnega sistema pa je tudi tako imenovani poseben odjem na 110 kV napetostnem nivoju, ki izloča porabo električne energije v elektrokemičnih in elektrometalurških pečeh kot posebno kategorijo odjema.

Racionalna raba električne energije mora torej zagotavljati najnižje stroške za njeno proizvodnjo, istočasno pa bi ob doslednem izpeljanem stroškovnem načelu tarifiranja morali s tako rabo električne energije dosegati porabniki zase najnižjo ceno.

Če gledamo odnos cene za kWh iz postavke za moč in iz postavke za energijo v odvisnosti od obratovalnih ur, so razmere enostavne in jasne. Kot je razvidno s sl. 2, se z večanjem obratovalnih ur delež moči v skupni



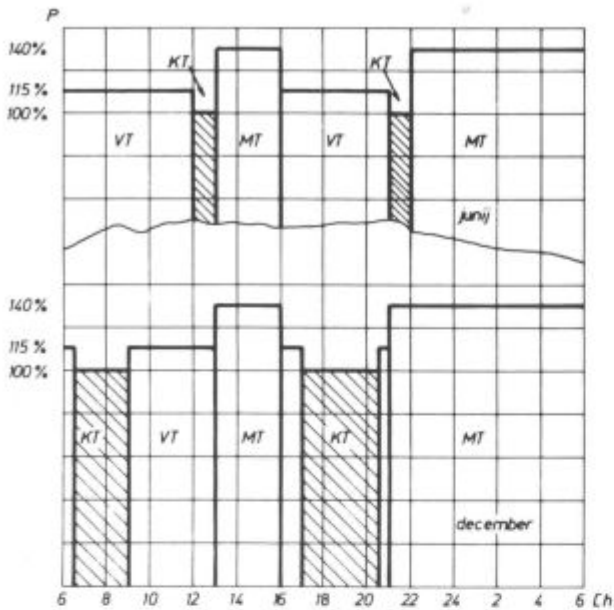
Slika 2

Cena električne energije v odvisnosti od obratovalnih ur

Fig. 2

Price of electric energy depending on operational hours

ceni za električno energijo zmanjšuje, čeprav ne postane nepomemben. Porabnik, ki kontinuirano obratuje vse leto s konstantno močjo (kot napr. elektroliza aluminija), doseže izredno visoke obratovalne ure in s tem nizko povprečno ceno. Visoke obratovalne ure pa se ne dosežejo le z enakomernim, temveč tudi s takoimenovanim inverznim obratovanjem, ki ga na podlagi tarifnega sistema omogočajo v posebnih pogojih neposredni dogovori med Elektrogospodarstvom in velikimi porabniki električne energije. Osnovni pogoj za tako obratovanje je poleg tehniških možnosti porabnika ustreznost registracija porabe oz. moči. Obračunska moč se namreč meri kot povprečna četrturna poraba in jo je potrebno s posebnimi napravami registrirati vsakih 15 minut. Tako inverzno obratovanje je prikazano na sl. 3. V času trajanja višje tarife (podnevi) obratujemo na pr. s 100 % močjo. Ker smo se obvezali, da bomo v kritičnem času konične obremenitve sistema obratovali z zmanjšano močjo (na pr. za 15 %), smemo v času trajanja manjše tarife (ponoči) obratovati s 40 % višjo močjo. Tako inverzno obratovanje razbremenjuje elektroenergetski sistem v času sistemskih konic in ga obremenjuje v času, ko je v sistemu na razpolago dovolj moči. Obratovalne ure takega porabnika pa se zvišujejo zaradi tega, ker je pri tem obračunska moč, iz katere sledijo obratovalne ure, tista moč, ki je bila dosežena v času konične tarife, in ne moč, dosežena v času višje tarife (podnevi), ali celo moč, dosežena v času manjše tarife (ponoči). Čas trajanja konične tarife je različen glede na mesec: v zimskih mesecih traja do 6 h na dan, v poletnih mesecih pa do najmanj 2 h na dan. Začetek oz. konec konične tari-



Slika 3
Inverzno obratovanje
Fig. 3
Inverse operation

fe se spreminja v glavnem od dolžine dneva oz. od nastopa svetlobe in je vnaprej določen za posamezne mesece leta.

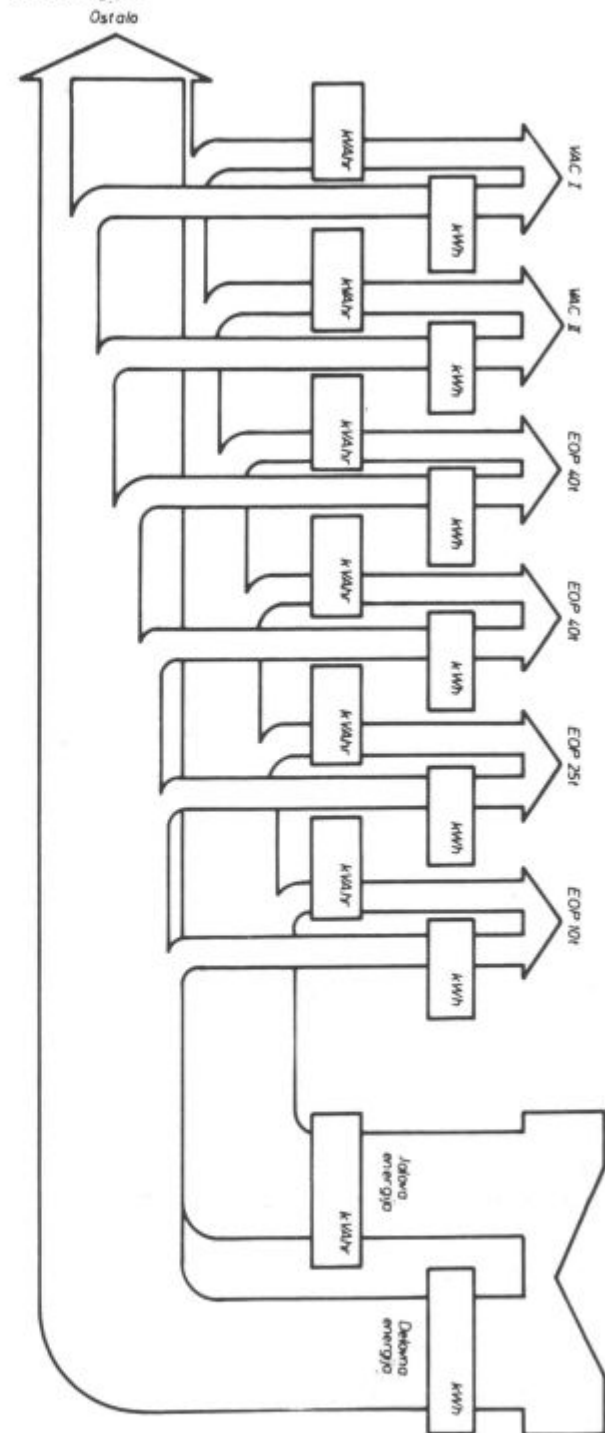
Prednosti porabnikov, ki lahko prilagajajo svojo porabo razmeram v elektroenergetskem sistemu, se ne kažejo zgolj v višjih lastnih obratovalnih urah (in s tem v višjih obratovalnih urah proizvodnih in prenosnih naprav elektrogospodarstva), temveč služijo tudi kot rezervna proizvodna kapaciteta v elektroenergetskem sistemu. Prilagajanju imamo več vrst in je s posebnimi kriteriji tudi različno ovrednoteno:

— takojšnje nenapovedano prilagajanje poteka s pomočjo samodejnega izklopa velikih porabnikov (elektroobločnih peči, elektroplavžev, elektroliz) s podfrekvenčnimi releji. Ob motnjah v elektroenergetskem sistemu, ko grozi njegov razpad, pade frekvenca napetosti pod 50 Hz; sistem se s samodejno razbremenitvijo, ki jo omogoča tako prilagajanje, lahko ujame in ponovno uravnovesi;

— napovedano prilagajanje nastopa ob večjih okvarah proizvodnih ali prenosnih enot ali pa ob pomanjkanju moči ali energije v sistemu, ko so angažirane že vse proizvodne kapacitete in druge možnosti oskrbe. Tako prilagajanje, ki ga zahteva republiški dispečer na podlagi dogovora oz. sporazuma, ima več stopenj različne intenzivnosti redukcije porabe. Pogoj za tako prilagajanje porabe je seveda možnost, da se dispečerjeva zahteva v določenem času pri porabniku izvede, za kar je potrebna neprekinjena stikalničarska služba.

Kako voditi porabo električne energije železarne, da bo izpolnjevala opisane zahteve (po sl. 3), je elektrotehniški, pa tudi ekonomski problem. Največji porabnik električne energije v železarni Ravne so elektroobločne peči in srednjefrekvenčne talilne peči na katerih temelji celotna proizvodnja surovega jekla. Naloga je toliko zapletenejša, ker ima železarna pet elektroobločnih peči različnih velikosti in različnih moči transformatorjev ter dve vakuumski napravi, ki sta nameščeni v dveh elektrojeklarnah, in nastopa poleg naštetih porabnikov

električne energije še obremenitev ostalih metalurških in mehanskih obratov. Shemo pretoka električne energije kaže sl. 4, ki ponazarja tudi sistem merjenja porabe el. energije.

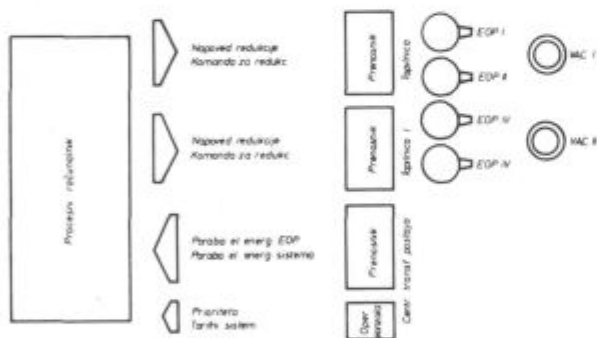


Slika 4
Merjenje električne energije v železarni Ravne
Fig. 4
Measuring electrical energy in the Ravne Ironworks

Kot je znano, ima elektroobločna peč karakteristični obremenilni diagram, po katerem je obremenitev v času taljenja zelo visoka (20 % do 30 % višja od moči trans-

formatorja) in je prekinjena v času ponovnega zalaganja peči z vložkom, obremenitev v času raztaljenega vložka (čas rafinacije oz. oksidacije) pa je 1/3 nazivne obremenitve ali še manj in je prav tako pogosto prekinjena zaradi različnih posegov v peč. Proces izdelave jekla v peči je tipičen diskontinuirni proces, ki se razlikuje od šarže do šarže, odvisno od vložka in od kvalitete izdelanega jekla. S postavitvijo vakuumskih naprav, ki s pomočjo električne energije prav tako dogrevata tekoče jeklo kot v obločni peči in kamor se prenese končna faza izdelave jekla, se elektroenergetske razmere še zaostrijo: čas izdelave jekla v elektroobločni peči se skrajša, povprečna obtežba peči se povečuje, istočasno pa se v izrazitih elektroenergetskih blokkih nepredvideno pojavi obremenitev vakuumske naprave.

Dokler smo neposredni porabniki električne energije ugotavljali maksimalno konično obremenitev v razdobju enourne porabe, je stikalec v centralni transformatorski postaji še mogel spremljati gibanja obeh kazalcev »čuvaja konic«, od katerih je eden kazal dejansko vrednost obremenitve, drugi pa dopustno, in ukrepati z zahtevo za zmanjšanje moči pri peči ali pa z odklopom peči. Z uvedbo četrtturnega ugotavljanja konice pa je postal čas za odločanje in ukrepanje zelo kratek. Ker je za vodenje obremenitve celotne železarne potrebna še vrsta drugih informacij o stanju peči, je bilo jasno, da te naloge človek ne zmore zanesljivo opravljati 24 h na dan, temveč le računalnik. Procesni računalnik opravlja to delo v železarni že 6 let. Za program vodenja za obremenitve potreben pretok informacij je razviden s sl. 5. Pripomniti je treba, da smo zmogljivosti

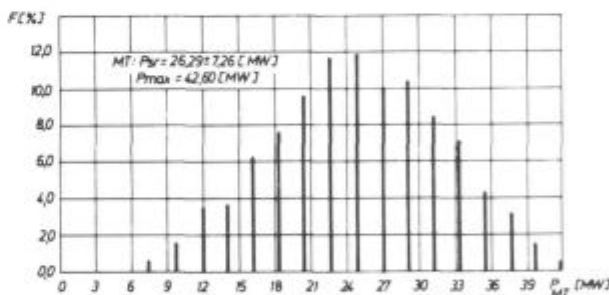
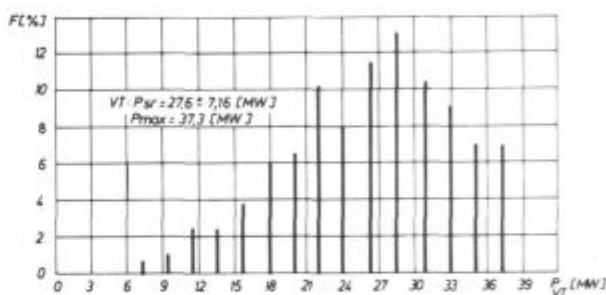
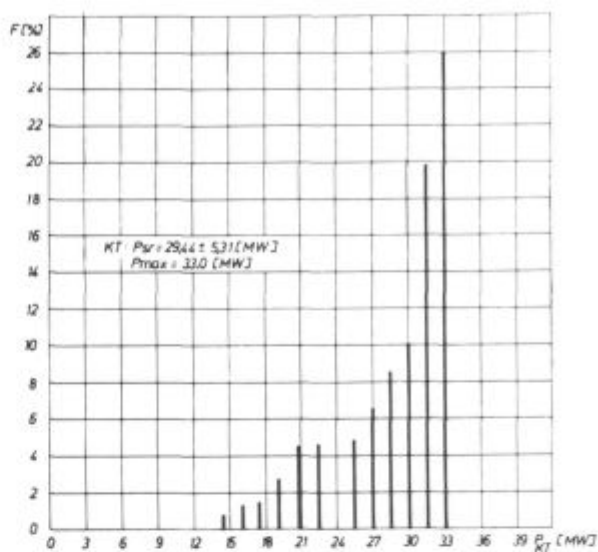


Slika 5
Pretok informacij EOP — procesni računalnik

Fig. 5

Flow of informations between arc furnaces and process computer

računalnika izkoristili tudi za evidenco vseh dogodkov na elektroobločni peči, kakor tudi za zapis alarmnih signalov, ki omogočajo nadzor nad obratovanjem peči. Elektroobločnih peči ni mogoče voditi po voznem redu tako, da bi se faze taljenja enih peči prekrivale s fazami raztaljenega stanja drugih peči in da bi nam tako dobljene vsote obremenitev zagotavljale konstantno obremenitev v vsakem 15-minutnem razdobju. Pri zelo malo reduciranem obratovanju, kakor ga imamo na pr. v času manjše tarife (ponoči, nedelje), se četrtturne obremenitve porazdele po tipični normalni distribuciji (sl. 6), kar dokazuje naključnost nastanka razredov moči. Celotno moč, s katero železarna prevzema iz električnega omrežja energijo, je možno po programu posameznih tarifnih nivojev (po sl. 3) voditi le tako, da se znotraj vsakega 15-minutnega merilnega obdobja ustrezno zmanjšuje električna moč posamezne obločne peči ali



Slika 6

Porazdelitev 15-minutne moči v posameznih tarifnih obdobjih

Fig. 6

Distribution of 15 minute-power in single tariff periods

več peči istočasno. Zmanjševanje moči peči je možno izvesti z neposrednim posegom v elektrodno regulacijo obločne peči ali pa z odklopom (dvigom elektrod). Ker je proizvodnemu procesu najmanj škodljiva prekinitve v času taljenja in ker so efekti zaustavitve obratovanja peči v tej fazi zaradi velikih moči taljenja največji, se peči načeloma izklapljuje le v času taljenja, v odvisnosti od prioritete po principu last in — first out: najnižjo prioriteto ima peč, ki je zadnja pričela taliti, najvišjo pa ima tista, ki je v zaključni fazi izdelave jekla. Efekti takega načina vodenja so razvidni s sl. 6, kjer so moči nad določenimi vrednostmi enostavno odrezane. Ker se vrednosti na sl. 6 nanašajo na isto mesečno obdobje, je razvidna razlika v največji moči, ki jo je železarna prevzela v času konične tarife in v času manjše tarife in ki

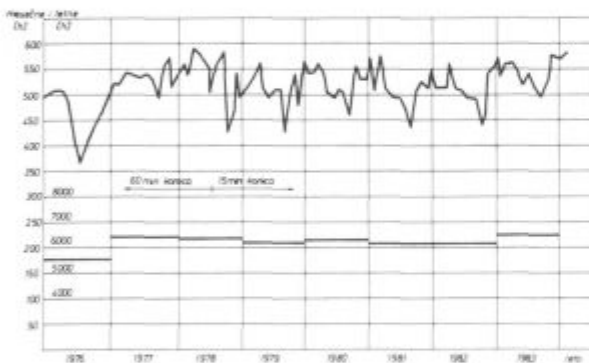
znaša za ta mesec 9,2 MW oz. 27,5 % od v konični tarifi doseženih vrednosti.

O stopnji izkoriščenosti proizvodnih naprav železarne v posameznem času trajanja tarif govore dosežene obratovalne ure v teh obdobjih. Ker je čas trajanja posameznih tarifnih obdobj različnih, nam absolutne obratovalne ure povedo manj kot njihove relativne vrednosti, ki jih dobimo tudi iz razmerja med srednjimi in maksimalnimi vrednostmi moči posameznega tarifnega obdobja.

V naslednji preglednici so za enomesečno obdobje prikazane srednje dosežene in maksimalne dosežene 15-minutne moči ter izkoriščenosti te moči za posamezno tarifno obdobje.

Tarifno obdobje	Psr (MW)	Mmax (MW)	Izkoriščenost
MT («ponoči«)	26,29	42,6	61,8
VT («podnevi«)	27,66	37,3	74,1
KT («v konici«)	29,44	33,4	88,1

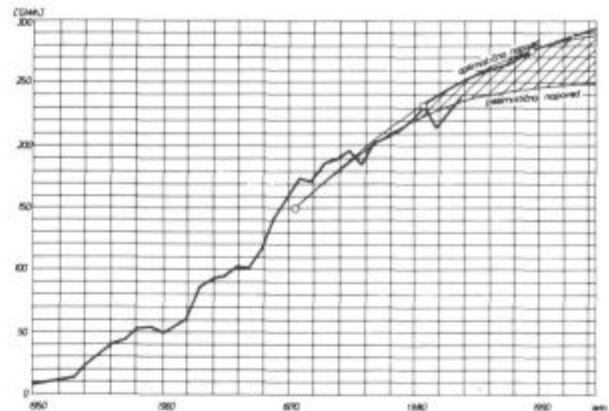
Mesečne obratovalne ure železarne Ravne, izračunane iz moči v KT, prikazuje za nekaj let sl. 7. Na sl. 8 pa je prikazana poraba električne energije v preteklosti in poizkus prognoze do leta 2000.



Slika 7
Mesečne obratovalne ure
Fig. 7
Operational hours per month

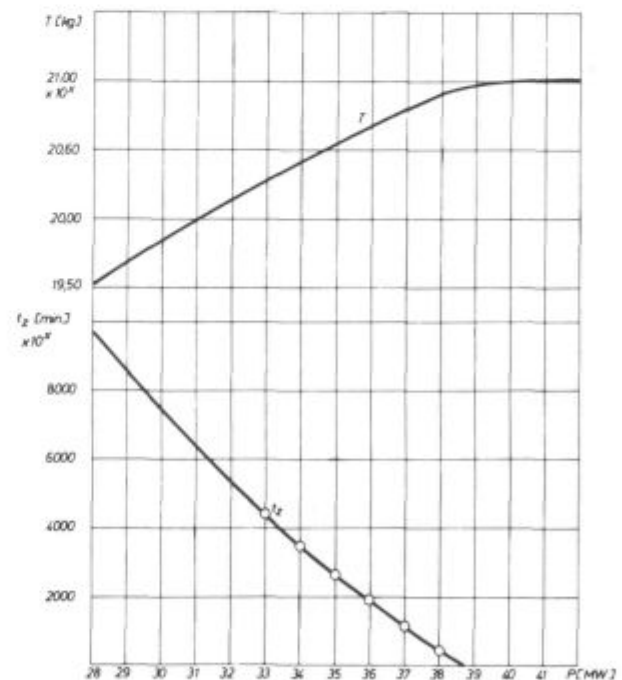
Ko se postavlja vprašanje, kako nizko naj vodimo obremenitve v posameznih tarifnih obdobjih, se reducira paleta problemov na iskanje optimalnih vrednosti. Če odmislimo organizacijske prijeme, s katerimi lahko vplivamo na vrstni red obratovanja elektroobločnih peči, in s tem na nivo električne moči, s katero prevzema delovna organizacija električno energijo, je edina preostala možnost zniževati električno moč, izklapljati obločne peči znotraj 15-minutnega obdobja, tako da 15-minutna vrednost porabe ne preseže vnaprej določene vrednosti. To opravlja računalnik, upošteva prioriteto, in tudi vsakokratni trend celotne porabe. Računalnik nekaj prvih minut 15-minutnega obdobja le opazuje rast porabe, s tem da obračunava vsako minuto vse vrednosti: ukrepa pa zadnjih 12 minut.

Vsakokratna zaustavitve taljenja v elektroobločni peči pomeni nekajminutni zastoj proizvodnje, in s tem seveda njeno zmanjšanje. Število zaustavitve taljenja in trajanja teh prekinitev je predvsem odvisno od različne-



Slika 8
Poraba električne energije
Fig. 8
Consumption of electric energy

ga sovpadanja obratovanja elektroobločnih peči, saj predpostavljamo, da je preostala obremenitev železarne mnogo bolj konstantna; razne energetske doline preostale proizvodnje (napr. zaradi malic) samodejno zapolnijo obločne peči z zmanjšanjem časa čakanja. Skupen čas zastojev elektroobločnih peči zaradi takšnih internih redukcij je neposredno obratno sorazmeren nivoju električne moči v času konične tarife oz. v času višje tarife ter seveda od časa trajanja konične obremenitve, ki pa je v posameznih mesecih različna. Čas zastojev in proizvodnje elektroobločnih peči v odvisnosti od konične obremenitve železarne prikazuje za določen mesec sl. 9: razvidno je, da od neke moči naprej omejitev

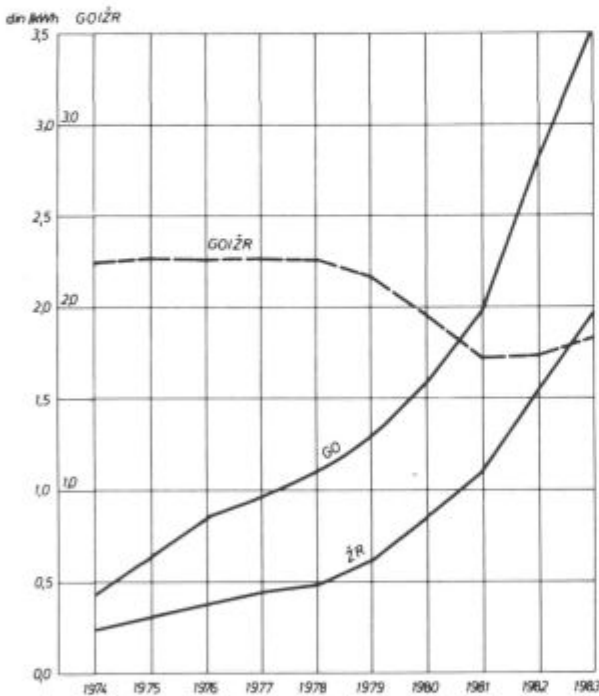


Slika 9
Zastoji zaradi internih redukcij in proizvodnja surovega jekla
Fig. 9
Stillstands due to internal reductions and the production of raw steel

obratovanja peči ni več (dosežena je maksimalna proizvodnja), saj razpoložljiva električna moč zadošča vsem kombinacijam obratovanja elektroobločnih peči. Ob obravnavi časa trajanja redukcij je potrebno upoštevati, da je elektroobločna peč proizvodni agregat, ki obratuje sicer letno več kot 8600 h, proizvaja pa le 80 % tega časa. Ca. 20 % razpoložljivega časa odpade na razne tehnološko pogojene zastoje, kot so: obnova obzidave, menjava obokov in elektrod, popravila, čiščenje, čakanje itd. Iz letnih podatkov povzemamo, da je pripisana le ena desetina vseh zastojev omejevanju obratovanja zaradi redukcij el. energije. Pri tem seveda ni znano, koliko takega časa je bilo izkoriščenega za posege, ki bi sicer povzročili zastoj obratovanja, kakor tudi ni znano, kolikšen del tehnoloških zastojev je bilo izkoriščenih za čas redukcij.

Elektrotehniške možnosti, ki nam jih za vodenje obremenitve elektroobločnih peči daje procesni računalnik, so le potreben pogoj za doseganje optimalnih obratovalnih režimov. Očitno pa je, da so zadosten pogoj za doseg željenega obratovanja optimalna razmerja, ki jih določajo stroški, katerih del pada z zmanjšanjem električne moči in drugi del raste, ker jih manjša proizvodnja več ne pokriva v celoti.

Rast cene električne energije prikazuje sl. 10. V prikazano ceno so vključeni le prispevki, ki so vezani na kWh.



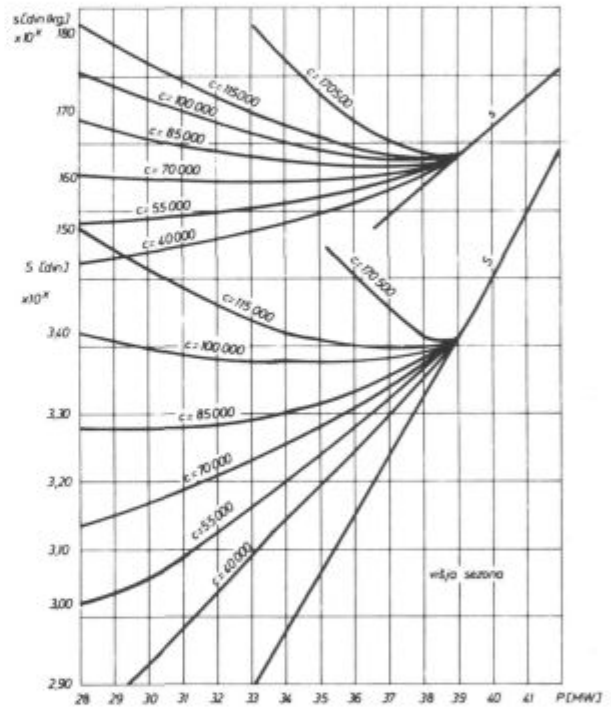
Slika 10
Cena električne energije
Fig. 10
Price of electric energy

Upoštevajoč še preostale dogovorjene obveznosti, bi bila cena kWh še višja. Zanimivo je, da sledi časovni potek rasti cene zelo dobro eksponentni funkciji (korelacijski faktor $R^2 = 0,99$) in da je čas podvojitve cene električne energije kot karakteristični podatek, za ŽR : $t_2 = 2,94$ let (ZJ : $t_2 = 2,72$ let, ŽŠ : $t_2 = 2,77$ let). Podatki so za obdobje 1974—1983, medtem ko podvojitve cene električne energije v letu 1984 popolnoma izsto-

pa iz dosedanjih gibanj. Za primerjavo je na sl. 10 prikazana tudi cena električne energije za gospodinjstva, ki sicer ob višjem nivoju izkazuje mnogo počasnejšo rast (GO : $t_2 = 3,40$ let). Cene gotovih proizvodov železarne Ravne so se gibale po enakih eksponentnih zakonitostih, vendar počasneje, saj je čas podvojitve za isto 10-letno obdobje : $t_2 = 3,05$ let. Razmerje med povprečno letno kg ceno gotovih izdelkov in povprečno letno ceno kWh se je v istem obdobju gibalo med 47 kWh/kg in 37 kWh/kg.

Pravilneje bi bilo prikazati cene in ustrezna razmerja iz surovega jekla, vendar nas tu bolj zanima, kako se gibljejo stvarna razmerja. Cena surovega jekla pa je planska postavka, saj železarna s surovim jeklom ne nastopa na trgu. Znotraj desetletnega obdobja so se cene električne energije in cene proizvodov sicer različno hitro gibale, vendar ne tako različno, da ne bi mogli ugotavljati letnih optimalnih obratovalnih stanj.

Rezultati stroškovne analize so prikazani na slikah 11 in 12, in sicer so vsi podatki naneseni v odvisnosti od



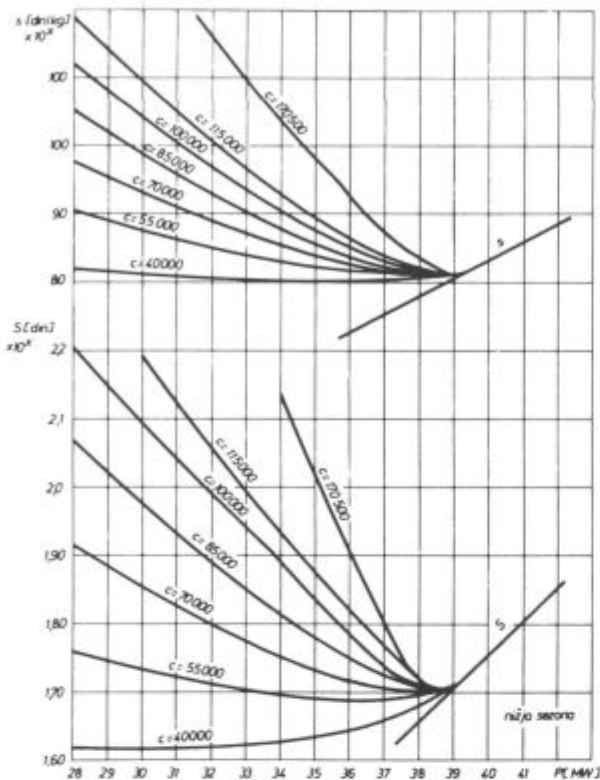
Slika 11
Optimalni obratovalni režimi železarne za čas visoke sezone
Fig. 11
Optimal operational regimes in the ironworks for the period of high season

moči v konični tarifi, tj. od takoimenovane obračunske moči. Strošek za moč je premica (1) in je enak:

$$S_k = s_k \cdot P,$$

pri čemer je s_k (din/MW) tarifna postavka za moč. Stroški zaradi zastojev peči (internih redukcij) so sorazmerni času trajanja teh redukcij (po sl. 9), izračunani pa so na osnovi podatka, kolikšni so fiksni stroški (s_2), (amortizacija, investicijsko vzdrževanje, obresti, režija) na minuto obratovanja. Celotni strošek zastoja peči je:

$$S_z = s_2 \cdot t_z,$$



Slika 12

Optimalni obratovalni režimi železarne za čas nizke sezone

Fig. 12

Optimal operational regimes in the ironworks for the period of low season

pri čemer je t_z (min) čas zastoja peči v obračunskem obdobju.

Vrednost izpadlega dohodka izračunamo na osnovi podatka o izpadu proizvodnje peči i_p (kg/min) in o vrednosti dohodka v enoti proizvoda v_p (din/kg). Celo ten izpad dohodka je:

$$S_d = i_p \cdot v_p \cdot t_z$$

Vsota nepokritih stroškov in izpada dohodka je sorazmerna s časom zastoja peči:

$$S = S_z + S_d = s_z \cdot t_z + i_p \cdot v_p \cdot t_z = c \cdot t_z,$$

pri čemer je c (din/min) specifična vrednost nepokritih stroškov in izpadlega dohodka. Na sl. 11 in 12 je prikazan karakterističen potek stroškov za razne vrednosti stroškovne konstante c .

Matematična obravnava stroškovnih odnosov je bistveno odvisna od funkcijskega poteka zastojev t_z v odvisnosti od nivoja zahtevane konične moči P . Na sl. 9 je prikazan iz evidence zastojev potek teh vrednosti, ki pa ni linearen. S pomočjo statističnih regresijskih odnosov obdelanih podatkov smo ugotovili, da nastopa najvišji korelacijski faktor pri logaritmičnem odnosu med časom zastojev t_z in pripadajočim nivojem moči P :

$$t_z = a + b \ln P$$

Če vzamemo, da je P_0 moč, pri kateri zastojev ni več ($t_z = 0$) oz. da imamo pri neki moči P_1 velikost zastojev t_{z1} , lahko iz pogojev:

$$0 = a + b \ln P_0$$

$$t_{z1} = a + b \ln P_1$$

dobimo vrednosti konstant tudi brez statistične obdelave.

$$b = - \frac{t_1}{\ln P_0 / P_1}$$

$$a = t_1 \frac{\ln P_0}{\ln P_0 / P_1},$$

pri čemer lahko dobi konstanta a fizikalni smisel kot vrednost zastojev pri moči 1 MW. Jasno je tudi, da ima relacija smisel samo pri vrednosti $t_z \geq 0$ oz. pri močeh $P < P_0$.

Skupni fiksni stroški so torej:

$$S = S_k + S_z + S_d = (s_z + i_p \cdot v_p) t_z + s_k \cdot P = c \cdot t_z + s_k \cdot P$$

Upoštevaje časovni potek zastojev t_z pa:

$$S = s_k P + b c \ln P + a c$$

Šop ustreznih krivulj na spodnjem delu sl. 11 in 12 prikazuje potek teh stroškov. Vidimo, da visoke vrednosti za c (fiksni stroški + izpad dohodka) potiskajo minimum teh stroškov proti konični moči P_0 torej k obratovanju z majhnimi zastoji oz. zahtevajo manjše vrednosti fiksnih stroškov večje redukcije oz. ustrezno manjšo konično obremenitev. Minimum skupnih fiksnih stroškov nastopa pri pogoju, da je

$$\frac{dS}{dP} = 0, \quad \text{kar dobimo pri moči:}$$

$$P_s = - \frac{b \cdot c}{s_k}$$

Enačba seveda velja le za moči, pri katerih je $t_z \geq 0$, ker so negativni zastoji nesmiselni oz. pri pogoju, da je $P \leq P_0$, saj pri večjih močeh stroškov zastojev ni več. Za proizvodnjo pa niso interesantni le skupni stroški, temveč predvsem specifični stroški proizvodnje na enoto proizvoda. Ti so

$$s = \frac{S}{T} = \frac{S}{T_1 - i_p \cdot t_z} \quad (\text{din/kg}),$$

pri čemer je T (kg) dejanska proizvodnja v obravnavanem obdobju, T_1 (kg) pa skupna proizvodnja brez zastojev. Z upoštevanjem že prej izpeljanih odnosov lahko zapišemo končno obliko specifičnih stroškov:

$$s = \frac{s_k \cdot P + b \cdot c \cdot \ln P + a \cdot c}{T_1 - a \cdot i_p - b \cdot i_p \cdot \ln P}$$

Ustrezne krivulje so prikazane na zgornjem delu sl. 11 in 12. Prva značilnost je podobnost s spodnjimi krivuljami skupnih stroškov: čim višji so stroški (večja vrednost za c), tem bolj se minimumi (najcenejša proizvodnja) približujejo vrednosti moči P_0 , tj. k močem, ki zahtevajo malo zastojev. Z nižanjem stroškov zastojev (c) pa se optimalno obratovanje premika k manjšim koničnim močem oz. k večjim redukcijam. Nasprotno stroškom zastojev deluje cena za prevzeto moč (s_k). Višja cena moči zahteva optimum pri nižjem nivoju moči, če je strošek zastoja enak. To se lepo vidi iz primerjave med skupnimi stroški S , sl. 11, ki je izdelana za ceno moči visoke sezone, in sl. 12, ki je izdelana za ceno moči nižje sezone. Najnižje skupne stroške za visoko sezono pri $c = 70.000$ dobimo pri konični moči 24,2 MW, za nizko sezono pri enaki vrednosti za c pri 38,5 MW. Po

tek specifičnih stroškov pa ni enak poteku skupnih stroškov, čeprav je podoben. Posebno se razlikujejo vrednosti moči, pri katerih nastopajo minimalne vrednosti. Najinteresantnejše so seveda minimalne specifične vrednosti stroškov oz. obratovalna področja koničnih moči, kjer ti stroški nastopajo. Dobimo jih pri pogoju, da je

$$\frac{dS}{dP} - B = 0$$

Rešitev zgornjega odvoda nam da enačbo za moč:

$$\ln P_1 - \frac{A}{P_1} - B = 0,$$

pri čemer so konstante

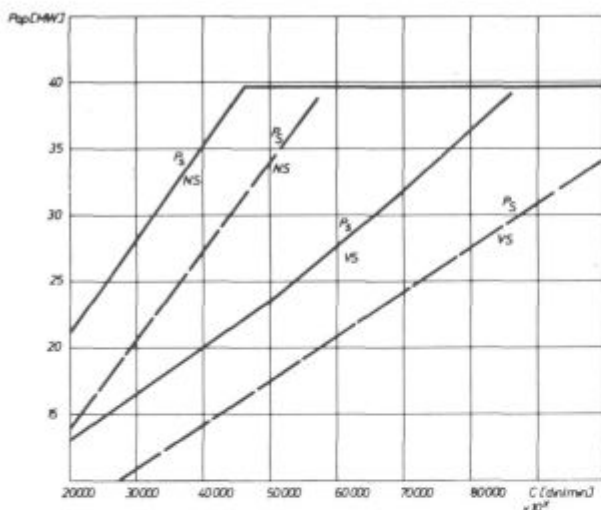
$$A = \frac{c \cdot T_i}{s_k \cdot i_p}$$

$$B = \frac{b - a}{P} + \frac{T_i}{b \cdot i_p}$$

P_1 pa je moč z najnižjimi specifičnimi stroški.

Enačba ima svoj smisel le pri pogoju, da je $t_s \geq 0$, oziroma da je $P < P_0$.

Potek minimalnih ekstremnih vrednosti je iz zgornjih delov obeh slik razviden: pri nižjih stroških za izpadlo proizvodnjo leže minimalne vrednosti pri nizkih koničnih obremenitvah in obratno, vendar se vrednosti moči, pri katerih nastopajo minimalni specifični stroški, razlikujejo od vrednosti moči, pri katerih nastopajo najnižji skupni stroški. Tudi ekstremi pri specifičnih stroških niso tako izraziti kot pri celotnih stroških. Pri vrednostih stroškov zastoja iz prejšnjega primera ($c = 70.000$) dobimo najnižje specifične stroške pri konični moči 32,4 MW za visoko sezono, za nizko pa pri 38,5 MW.



Slika 13

Optimalne konične moči in njih odvisnosti od stroškov zastojev

Fig. 13

Optimal peak powers and their dependence on the standstill costs

Na sl. 13 so iz logaritmичne enačbe izračunane vrednosti za P_1 , tj. moč, kjer nastopajo najmanjši specifični proizvodni stroški v odvisnosti od specifičnih stroškov

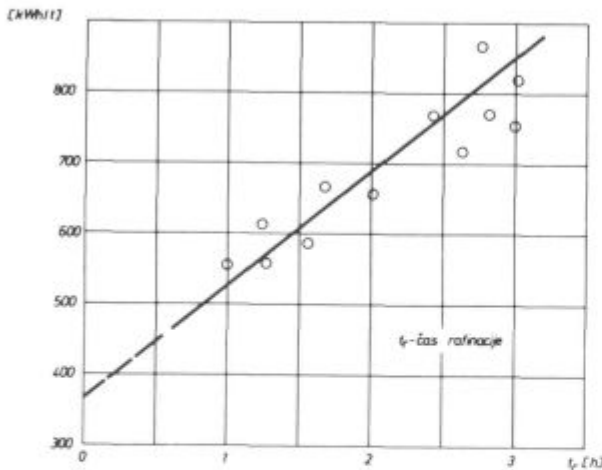
zastojev (c) ter od stroškov moči (s_p) v posamezni sezoni ter vrednosti za P_s , tj. moč, kjer nastopajo najnižji skupni stroški. Slika daje jasen odgovor na vprašanje, kako spreminjati konično moč glede na sezonske cene energije.

V teh izvajanjih niso bili upoštevani direktni stroški substance jekla (vložek, legure) niti ostali variabilni stroški proizvodnje. Visoke cene električne energije oz. visok delež moči v ceni električne energije zahteva posebno v visoki sezoni zaostreno prilagajanje moči obločnih peči razmeram v elektroenergetskem napajalnem sistemu, kar pomeni visoke interne redukcije. Zahteva proizvodnje, da naj se jeklo proizvaja z najnižjimi specifičnimi proizvodnimi stroški pa bo ob ceneni energiji ter pri velikih fiksnih stroških zastojev in velikega izpada dohodka zaradi zgubljene proizvodnje pomenila obratovanje s čim manj zastoji in relativno velikimi močmi.

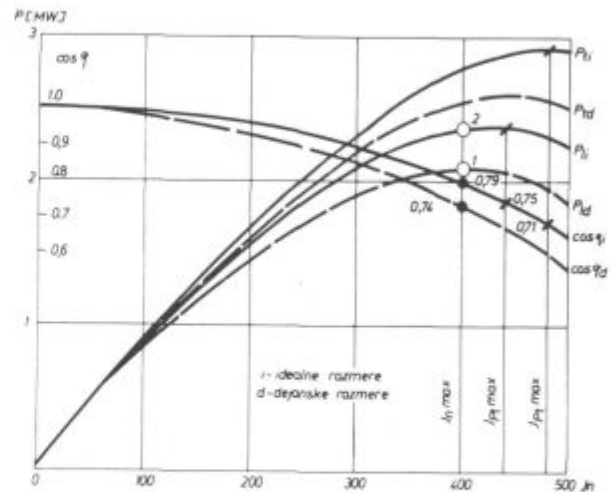
II. VODENJE SPECIFIČNE PORABE ELEKTRIČNE ENERGIJE OBLOČNE PEČI

O racionalni izbiri električne energije govorimo kot o kazalcu, ki nam pove, kaj nam je uspelo ustvariti s kWh električne energije v proizvodnem procesu ali pogosteje: koliko električne energije smo porabili na enoto proizvoda. Specifična poraba električne energije (kWh/t) je torej nekakšna elektroenergetska produktivnost. Zakaj nam včasih uspe izdelati tono odlitega jekla s porabo 530 kWh, drugič pa za enako tono jekla potrebujemo 800 kWh ali skoraj 50 % več? Ker je za raztalitev tone starega železa teoretično potrebno 340 kWh energije, pomeni, da vodimo proizvodni proces s 65 % izkoristkom, drugič pa le s 43 %. Kje so skrajni dosegi največjih energetskih izkoristkov v elektroobločni peči, ki so že tehniško izvedljivi in ekonomsko opravičljivi, nam govore podatki o doseženih vrednostih v japonskih jeklarnah. V domačih razmerah, kjer ne poznamo zelo velikih peči z UHP transformatorji, ki bistveno pripomorejo k ugodnim rezultatom, lahko razpravljamo le o praktično izvedljivih ukrepih in vplivnih dejavnikih. V osnovi delimo te v dve skupini: organizacijske in tehniško-tehnološke.

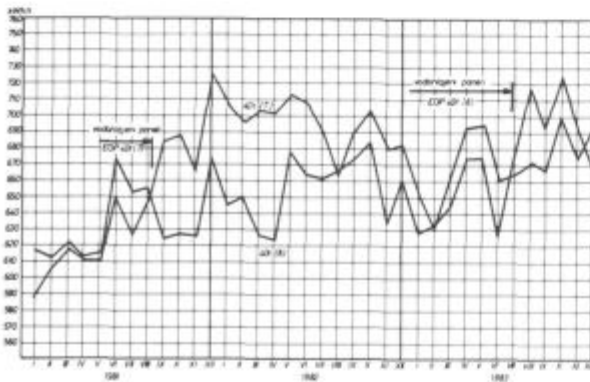
Organizacijski vplivni dejavniki, ki vplivajo na velikost specifične porabe električne energije v obločni peči, so pravladujoči. Ker obratuje obločna peč z relativno velikimi toplotnimi izgubami, ca. 30 % v času raztaljenega vložka (temperature okrog 1600 °C), je prvi vplivni dejavnik čas trajanja šarže od preboda do preboda. Pogosto objavljene relacije (glej sl. 14) samo dokazujejo znano dejstvo, da z večjo produktivnostjo (t/h) pada specifična poraba energije: vsak zastoj v obratovanju elektroobločne peči pomeni le nepotrebno dodatno pokrivanje izgub; energija, ki jo dovajamo v peč z raztaljenim vložkom, služi le za ohranjanje temperature. Posebno izrazit in boleč je ta odnos pri obločnih pečeh, ki imajo namesto ognjevzdorne obzidave vgrajene vodohlajene panele. Ti so se sicer razvili iz UHP obločnih peči, ko klasične obzidave peči niso več vzdržale silnih toplotnih obremenitev v času taljenja, vendar so prodrli zaradi svoje velike trajnosti tudi v področje HP peči ali pa tudi običajnih elektroobločnih peči, predvsem onih, ki so namenjene bolj taljenju in katerih rafinacijski del se prenaša v vakuumsko napravo. Sl. 15 kaže povečanje specifične porabe električne energije za 40-t obločno peč za obdobje, ko se je v njej izdelovalo jeklo v celotnem tehnološkem postopku. Povečanje porabe za 8 % do 10 % je v skladu s podatki drugih jeklarn in potrjuje podatek, da pri vodohlajenih panelih pomeni podaljša-



Slika 14
Specifična poraba električne energije
Fig. 14
Specific consumption of electric energy



Slika 16
Obratovalni diagram 5 t EOP
Fig. 16
Operational diagram of 5 t arc furnace



Slika 15
Specifična poraba električne energije 40 t EOP
Fig. 15
Specific consumption of electric energy for 40 t arc furnace

nje rafinacijskega časa za 30 minut povečano specifično porabo za 25 kWh/t. Pričakuje se, da bi specifična poraba teh peči s prenosom rafinacije v vakuumsko napravo morala biti nižja od one pred uvedbo vodohlajenih panelov.

Malo premalo upoštevanimi organizacijskimi dejavniki je tudi premajhna skrb za hitro zalaganje peči, menjavo oboka, elektrod ter seveda skrbna priprava vložka, ki je v domačih razmerah eden glavnih vzrokov za doseganje slabših rezultatov. Tipa vložka, ki bi omogočal enkratno ali dvakratno zalaganje peči, skoraj ne poznamo. Kratek čas od preboda do preboda, posebno pa še kratek čas raztaljenega vložka je zagotovilo za dobre rezultate. Med organizacijske vplivne dejavnike, ki lahko bistveno vplivajo na znižanje specifične porabe električne energije v obločni peči, je tudi potrebno znanje in izkušnje poslužujočega osebja.

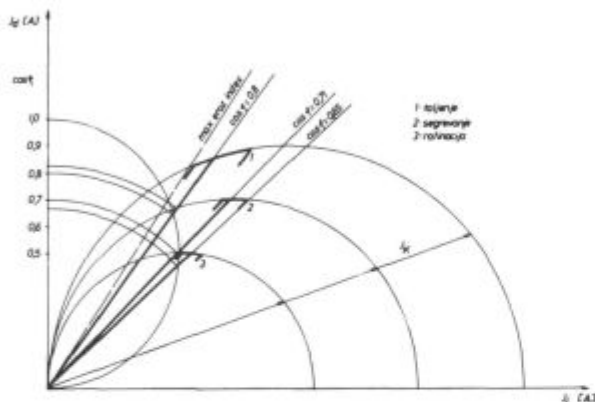
Elektrotehniške in tehnološke vplivne dejavnike moramo iskati v pogojih, s katerimi dosegamo optimalne elektroenergetske razmere v obločni peči. To je predvsem obratovanje z maksimalnimi energetskimi izkoristki, ki je poleg območij z maksimalno produktivnostjo med najzanimivejšimi obratovalnimi stanji. Na sl. 16

so ta območja prikazana. Iz njih lahko zaključimo, da je za območje taljenja enostavno določljivo:

- območje največje delovne moči na transformatorju (fazni faktor 0,71): $J_{P_{II} \max}$
- območje največje delovne moči na loku (fazni faktor 0,77—0,74): $J_{P_{I} \max}$
- območje največjih energetskih izkoristkov (fazni faktor 0,78—0,75): $J_{\eta \max}$

Karakteristike obratovalnega diagrama na sl. 16 so po znanih relacijah določene z napetostjo, tokom ter induktivno upornostjo transformatorja, dušilke in visokotokovnih dovodov k peči. Kako z najrazličnejšimi možnimi kombinacijami teh vrednosti izvesti fazo taljenja, upoštevajoč pri tem še razmere v peči, da bo opravljeno najhitreje in s čim manj izgub, je problem, pred katerega sta z enako težo postavljena konstrukter in projektant obločne peči kot njen upravljalec. Običajno se projektant izogne obratovalnim pastem tako, da predvidi nemogoče širok razpon napetostnih in tokovnih stopenj ter dušilko z več odcepi, češ, imate vse možnosti izbire! Zanesljivo pa te mnoge možnosti bolj pripomorejo k slabemu obratovanju kot k optimalnemu: slabih kombinacij je mnogo, dobrih pa je, razmeram v peči ustrezno, le nekaj. V tej zvezi je zanimiv podatek, da je običajno število stopenj pečnih transformatorjev v ZDA 6 do 8, v Evropi pa imamo običajnih 16 ali celo preko 20 napetostnih stopenj.

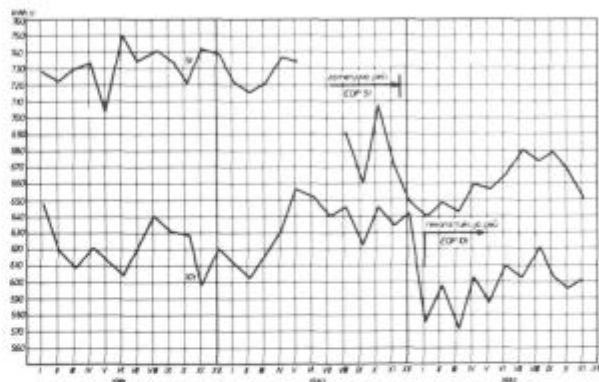
Taljenje vložka naj poteka s konstantno močjo in z največjo možno preobremenitvijo transformatorja. To splošno načelo zahteva takšno induktivno upornost v pečnem krogu, da lahko električni lok gori enakomerno kljub slabim jonizacijskim pogojem, ki vladajo v peči zaradi nizkih temperatur. Pri UHP obločnih pečeh dosegamo te zahteve z izredno velikimi elektrodnimi tokovi. Kazalec toka na krožnem diagramu obločne peči na sl. 17 leži skoraj točno pod faznim kotom 45° oz. s faznim faktorjem 0,71. Pri večjih pečeh dosežemo take razmere že brez posebne dušilke, saj predstavljajo visokotokovni vodi na peč že dovolj veliko oz. preveliko induktivno upornost. UHP peči zagotavlja tudi v času taljenja zelo čist sinusni potek toka, čeprav ima sicer električni lok tipično nelinearno uporabno karakteristiko in je povzročitelj popačenj toka in napajalne napetosti. Taljenje vložka v UHP peči je zaradi svoje visoke specifi-



Slika 17
Krožni diagram karakterističnih obratovalnih območij
Fig. 17
Circle diagram of characteristic operational regions

čne moči (600–800 kVA/t) transformatorja in zaradi vodohlajenih panelov okarakterizirano kot surovo oz. divje, saj talimo od prvega trenutka do skoraj dokončne raztalitve z maksimalno napetostjo in maksimalnim tokom. Bojazni zaradi obzidave ni, saj je pri modernih pečeh tudi že obok vodohlajen. Pri srednjih in manjših pečeh pa so omejitve za doseg optimalnega taljenja številnejše. Ker velikost toka ne zadošča za doseg faznega faktorja 0,71, moramo v tokokrog vključiti ustrezno induktivno upornost (dušilko), ki nam zagotavlja stabilno gorenje loka in s tem enakomeren dovod moči v peč. Ker s tem pri največji možni napetosti in največjem možnem elektrodnem toku z večanjem dušilke večamo fazni kot (slabšamo fazni faktor), se nam zmanjšuje v peč dovedena delovna moč. Kompromis pri taljenju z nekaj večjim faznim faktorjem, kot je 0,71, je očiten in utemeljen tudi s tem, ker dobimo maksimalno moč, ki nam jo pokažejo instrumenti, pri faznem faktorju okrog 0,76 (glej sl. 16). Pri običajnem preveč voluminoznem vložku se elektrode takoj prebijajo v notranjost peči in ni nevarnosti, da bi zaradi direktnega sevanja električnega loka poškodovali ali obok ali obzidavo. Zaradi tega tudi niso neobičajni višji fazni faktorji v času taljenja (0,80 ali več), bistveno je, da imamo stabilen električni lok. Tega zagotavljata poleg naštetih električnih parametrov vložek in elektrodna regulacija, ki ima nelahko nalogo, da zagotavlja loku v času obratovanja konstantno impedanco. Elektrodna regulacija mora s hitrim pozicioniranjem položaja elektrod nasproti vložku skrbeti, da se lok ali ne trga ali pa da ne prihaja do kratkih stikov. Odziv elektrodne regulacije na izmerjene spremembe v peči ter mehanska togost pozicionirnega izvršnega organa regulacije imata odločilno vlogo pri kvaliteti elektrodne regulacije. Kaj pripomore sodobna elektrodna regulacija k zmanjšanju specifične porabe električne energije, prikazuje sl. 18, kjer so prikazane mesečne specifične porabe za 10-t in 5-t elektroobložno peč v železarni Ravne pred rekonstrukcijo in po njej. Pri 10-t peči je bila zamenjana stara amplidinska elektromotorna regulacija s sodobno elektronsko-hidravlično, sistem Demag – Rade Končar, elektroenergetski del vključno s transformatorjem pa je ostal isti.

Rekonstrukcija, ki je zajemala tudi mehaniko elektrodnih ročic (in ki je bila opravljena v 20. dneh), je prinesla poleg 5 % povečane produktivnosti tudi 6 % znižanje specifične porabe. 5-t elektroobložna peč je bila zaradi dotrajanosti zamenjana. Stara peč je imela trans-

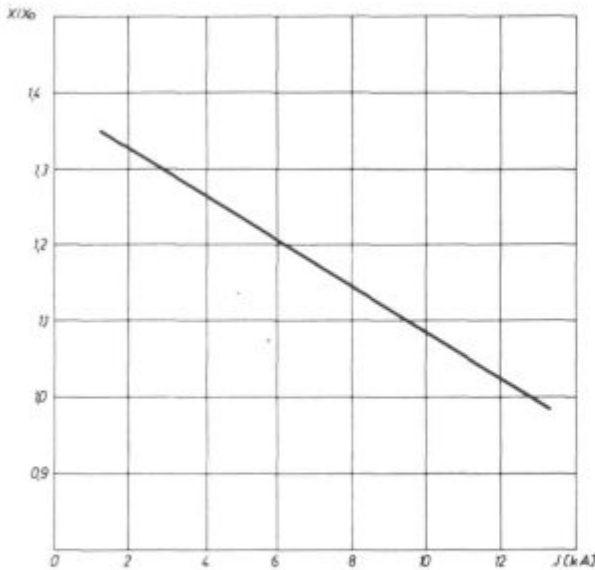


Slika 18
Specifična poraba električne energije 10 t EOP in 5 t EOP
Fig. 18
Specific consumption of electric energy for 10 t and 5 t arc furnaces

formator moči 4,5 MVA in Tirilov regulator za elektromotorsko pozicioniranje elektrod, nova pa transformator moči 3/3,6 MVA in elektronsko-hidravlično regulacijski sistem Demag – Rade Končar. Efekti so vidni na sl. 16, kjer se vidi, da se je znižala specifična poraba za 11 %, povečala pa se je tudi produktivnost. Povečanje produktivnosti je tu izrazitejše kot pri 10-t peči, ker je bil spremenjen tudi način zalaganja peči.

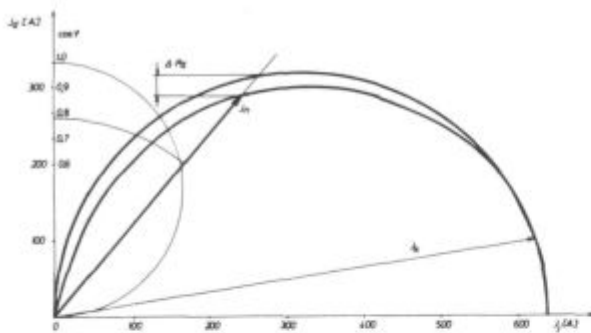
Ali pričeti taljenje z znižano napetostjo oz. z manjšim tokom, ni samo vprašanje vložka v peči, ampak predvsem razmerij v peči, ki določajo takoimenovano obratovalno impedanco peči. Vse meritve namreč dokazujejo, da je dejanska obratovalna impedanca mnogo višja kot kratkostična, tj. ona, ki smo jo izmerili pri preizkusu kratkega stika. Razlaga pojava je v tem, da nam popačitve toka, ki so posledice nelinearne upornosti loka, dajo višje harmonske tokove, ki z delom višjih frekvenc dodatno povečujejo induktivno upornost v pečnem tokokrogu. Meritve dokazujejo, da se obratovalna impedanca približuje dejanski sorazmerno porabljeni energiji: ob raztaljenem vložku so jonizacijski pogoji za gorenje loka idealni, tok je mnogo manj popačen, dodatnih induktivnih upornosti zaradi višje harmonskih tokov ni. Za fazo taljenja odločujoča pa je z meritvami dokazana povezava med obratovalno induktivno upornostjo in razmerjem napetost/elektrodni tok. Z rastočim razmerjem raste obratovalna induktivna upornost (sl. 19), kar pomeni, da pri majhnih tokovih z večanjem napetosti ne bomo dosegli efektne zvečanja moči taljenja: praktiki vedo, da je začetna moč taljenja skoraj neodvisna od višine napetosti. Zniževanje toka v začetni fazi taljenja ima torej dvakrat negativne posledice. Primernejše bi bilo pričeti taljenje z nižjo napetostjo, kar ima dvojni pozitiven efekt: zaradi poslabšanja faznega faktorja se poveča stabilnost gorenja loka, zmanjša pa se tudi obratovalna impedanca, kar omogoča večji dovod moči v peč. Vendar se tak način začetnega taljenja redko izvaja, predvsem zaradi nezaželenih pogostih preklopov napetostnih stopenj transformatorja in zaradi slabega efekta: slab vložek ima namreč to prednost, da so elektrode hitro »na dnu« peči, kar pomeni ob predpostavki, da smo dno dobro založili, da dobimo kmalu stacionarnejše razmere v peči. To pa seveda povzroči zmanjšanje obratovalne impedance in enak efekt povečanja moči taljenja kot z znižanjem napetosti.

Ker je pri konstantni napetosti obratovalna induktivna upornost odvisna neposredno od toka, se nam kro-



Slika 19
Obratovalna induktivna upornost EOP
 Fig. 19
Operational inductance of arc furnace

žni diagram obločne peči spremeni v ovalni diagram obločne peči. Konstrukcija je razvidna s sl. 20, kjer je tudi prikazano, da obratovalna induktivna upornost postane enaka kratkostični šele pri kratkem stiku. S slike je tudi razvidno, kolikšen tok oz. moč smemo pričakovati pri določenem razmerju omenjenih upornosti oz. kakšno zmanjšanje moči pri tem dobimo.



Slika 20
Realni krožni diagram EOP
 Fig. 20
Real circle diagram of arc furnace

Če zaključimo razpravo o fazi taljenja v obločni peči, lahko za večino primerov rečemo, da talimo pri določeni napetosti (ne vedno najvišji) z regulatorjem toka, nastavljenim na največjo vrednost. Tok in moč bosta postopoma naraščala, dokler ne bosta v prvi tretjini faze taljenja dosegla maksimalne vrednosti. Tako postane vprašanje izteka taljenja mnogo kritičnejše in problematičnejše kot njegov začetek. Zamujeno zmanjšanje moči taljenja ob raztalitvi vložka pomeni lahko nevarno posledico za ognjevzdržno obzidavo pečne kadi in oboka, saj lok ni več zakrit z vložkom, ampak neposredno seva na obzidavo. Ni pa potrebno samo zmanj-

šanje moči, lok pri raztaljenem vložku ne potrebuje več dodatne dušilke. Izklopljena dušilka pomeni večji krog krožnega diagrama (pri isti napetosti), zato višji fazni faktor, skratka nesporejmljivo stanje za obzidavo peči. Tu se pokažejo prednosti vodohlajenih panelov proti občutljivi klasični obzidavi, zato je vodenje izteka tu temvažnejše.

Toplotnotehniške razmere v peči v stanju raztaljenega vložka opisujejo z erozijskim indeksom kot številom za toplotno obremenitev obzidave. Indeks je enak produktu med napetostjo in močjo. Avtor članka je dokazal, da maksimalni erozijski indeks nastopa vedno pri faznem faktorju 0,82, zato se je treba temu stanju v peči pri raztaljenem vložku izogibati. Elektrotehniško so razmere v obločni peči v fazi raztaljenega vložka ugodne. V peč dovedena moč je potrebna le za kritje toplotnih izgub peči oz. za dogrevanje taline na določeno temperaturo. Električni lok gori mirno, popačenje toka je minimalno. Edina omejitev je sevanje na obzidavo, definirano z erozijskim indeksom, ter tehnološka zahteva, da elektroda ne sme biti potopljena v talino (zaradi nevarnosti neogljčenja). Zaradi relativno majhnih moči obratujemo z nizkimi napetostmi in s tokovi, ki zagotavljajo fazni faktor, ki je nižji od onega, pri katerem nastopa maksimalni erozijski indeks. Že pri pogledu v peč vidimo, da pomeni majhen tok oz. dober fazni faktor relativno dolg električni lok, ki ga žilindra nad talino ne more zaslanjati, da pa pomeni povečevanje toka istočasno skrajševanje električnega loka. Povečevanje toka daleč preko faznega faktorja 0,71 je seveda tehniški nesmisel, ker prične padati delovna moč na loku. Zato je pravilno izbrana za določeno moč tista kombinacija napetosti in toka, ki da fazni faktor od 0,66 do 0,74 in predvsem zagotavlja takšno dolžino loka, da lok lepo odriva žilindro od elektrode in da žilindra zaslanja sevanje loka na obzidavo. Ustreznih napetostnih stopenj ni potrebno dosti: ena do dve višji napetostni stopnji za hitro segrevanje kopeli ter ena ali dve nižji napetostni stopnji z različnimi tokovnimi kombinacijami za obdržanje tekočega jekla na potrebni temperaturi. Optimalno vodenje obločne peči v raztaljeni fazi ima torej dva cilja: energetski, da spravimo čimveč toplotne energije v kopel in ne v obzidavo, tehnološki pa, da obzidavo s prevelikim direktnim sevanjem električnega loka ne preobremenjujemo. Za vsako fazo izdelave jekla so karakteristični elektrotehniški parametri obločne peči, prikazani na sl. 17, in sicer za vsako proizvodno fazo po eno stanje. Iz že povedanih razlogov potrebujemo za vsako fazo obratovanja vsaj dve kombinaciji, skupaj torej nekako 6 do 8 napetostnih stopenj s točno ustreznimi velikostmi elektrodnih tokov. Klasična elektrodna regulacija je zahtevala vsakokratno ročno prilaganje elektrotehniških parametrov razmeram v peči, kar je pomenilo, da je optimalno vodenje obločne peči stvar znanja in vestnosti posluževalcev. Tu smo dosegli precejšen napredek s takoimenovanim optimaltom, tj. z zmožnostjo elektrodne regulacije, da se vsaki napetostni stopnji prej nastavi ustrezni elektrodni tok: posluževalec izbira le napetostne stopnje, tokovne se mu prilagode same oz. jih ne more po svoje spreminjati. Poizkušali so tudi z neposrednim računalniškim vodenjem elektroobločnih peči, posebej še fazo taljenja, vendar je prevelika diskontinuiranost procesa, različnost vhodnih parametrov in njih premalo zanesljivo obvladovanje bil vzrok, da računalnik še ne more prevzeti vseh nalog vodenja elektroobločne peči.

Za določitev elektrotehniških parametrov obločne peči in za nastavitve nakazanih optimalnih vrednosti je potrebno te meriti in nastaviti. Najenostavnejša je meri-

tev s pomočjo regulatorja delovne in jalove moči ali pa s pomočjo števec delovne in jalove energije. Ker je zaradi posebno nestacionarnega stanja v fazi taljenja uporaba klasičnih merilnih instrumentov nemogoča, se da fazni faktor iz zgornjih povprečkov najzanesljiveje ugotavljati. Registrirni kW in kVAR-meter je postal obvezen instrument obločne peči in če je ustrezno dušen, je nepogrešljiv pripomoček. Z meritvijo kratkega stika določimo induktivne in omske upornosti. Spreminjanje obratovalne induktivne upornosti je možno meriti le s posebnimi registrirnimi napravami. V železarni Ravne smo zgradili mikroprocesorsko merilno napravo, ki omogoča merjenje vseh faznih napetosti, tokov, delovnih in jalovih moči v enominutni povprečni vrednosti, izračunavanje vseh elektrotehniških parametrov ter njih kontinuirni izpis. Tako lahko zasledujemo celotno obratovanje obločne peči v vseh fazah obratovanja, spreminjanje obratovalnih upornosti, tokovno in ener-

gijsko simetričnost obremenitev posameznih elektrod itd.

Določanje elektroenergetskih parametrov, kontrola nastavljenih zaščitnih vrednosti, vrednosti parametrov, regulacijskega kroga, vzdrževanje pravilne funkcionalnosti posameznih sklopov obločne peči, nadzor nad do-gajanjem v topilnici, analiza rezultatov in ukrepanje za izboljšanje stanja je vrsta spremljajoče proizvodne dejavnosti, ki poleg ustrezne organiziranosti in opremljenosti zahteva tudi posebna tehnološka znanja. Le tako je mogoče krčiti poti racionalne rabe in izrabe električne energije: doseči za enako količino porabljene energije nižjo ceno za kWh in izdelati enako količino jekla z manj porabljene energije.

Opomba: Pri razreševanju problematike poglavja I Gospodarjenje z električno energijo v železarni Ravne je sodeloval Bertalanč Anton, inženir elektrotehnike — Vodja odd. za elektroenergetske naprave železarne Ravne.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Beitrag wird die Bewirtschaftung der Elektrischen Energie so wie die im Hüttenwerk Ravne ausgeführt wird aus zwei Standpunkten dargelegt und zwar: als Führung der Belastung des Hüttenwerkes bzw. deren elektrischen Kraft mit dem Ziel möglichst niedrigen Preis für die verbrauchte kWh zu erreichen, was als rationelle Verwendung der elektrischen Energie genannt wird, und als Führung der Lichtbogenöfen mit dem Ziel den Stahl mit möglichst niedrigem Aufwand der Elektrischen Energie zu erzeugen, was als rationelle Ausnützung dieser Energie genannt wird.

Die Methoden der optimalen Führung der Belastung des Hüttenwerkes, wo der Stahl in Lichtbogenöfen erzeugt wird werden beschrieben, und die höchstökonomischen Betriebsregime auf Grund der technischen und Kostenaufwandparametern werden bestimmt. Die wachsenden festen Kosten für die Störungen wegen der internen Einschränkung und die wach-

senden Kosten des ausgefallenen Einkommens verschieben den optimalen Betrieb zu höheren Spitzenkräften; umgekehrt aber verlangen die immer höheren Preise für die Elektrische Energie bzw. deren Kraft das verschieben dieser Betriebsführung zu kleineren Spitzenbelastungen. Der analytische Zutritt zu der Lösung des Optimierens und die Ergebnisse dieser Methode werden angegeben.

Die Optimierung der elektroenergetischen Betriebsregime des Lichtbogenofens für die Stahlerzeugung ist der Inhalt des zweiten Teiles dieses Betrages wo der Betrieb des Lichtbogenofens in der Einschmelz und in der Raffinationsphase behandelt wird. Die Einflüsse der elektrotechnischen Parameter auf das energetisch günstigste Betreiben des Ofens werden beschrieben und die Ergebnisse solcher Betriebsführung am Beispiel der Lichtbogenöfen im Hüttenwerk Ravne werden gezeigt.

SUMMARY

The paper presents two viewpoints of power management being used in the Ravne Ironworks, i. e: control of the load of ironworks or its electric power with the aim to achieve the lowest possible price for the consumed kWh, which can be described as rational use of electric energy; control of electric arc furnaces with the aim to manufacture steel with the lowest possible consumption of electric energy which can be described as rational yield of this energy.

The methods for optimal control of load of such ironworks are described where steel is manufactured in arc furnaces, and the most economic operational regimes based on technical and cost parameters are determined. Increasing fixed costs of

standstills due to internal reductions and the increasing costs of lost income shift the optimal operation towards higher peak powers, on the other hand the increasing prices of electric energy or its power demand the shift of operation to lower peak loads. Analytical approach to the solution of optimizing and the results obtained by this method are presented.

Optimizing the operating power regimes of arc furnaces for steelmaking is the content of the second part of the paper in which the operation of arc furnace is treated by stages of smelting and refining. Influences of electrotechnical parameters on the energetically most suitable operation of the furnace are described and the results of such operation are illustrated by the examples of the arc furnaces in the Ravne Ironworks.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены два вида экономии в области электроэнергетики, которые выполняют в металлургическом заводе Железарна Равне а именно: управление нагрузкой завода отн. её электрической силой с целью, чтобы стоимость расходуемой квт. этой энергии была чем ниже- это значит рациональное использование электрической энергии и управление электродуговыми печами с целью, чтобы для изготовленной стали утратили чем меньше электрической энергии — это значит рациональный расход этой энергии.

Описаны методы оптимального управления нагрузки завода, который занимается с производством стали в дуговых электродуговых печах, также определение наиболее экономических режимов взяв во внимание технические и экономические параметры. Повышение постоянных расходов на застой вследствие внутренних редуций и повыше-

ные расходы вследствие выпадения дохода сдвинули оптимальную работу в направлении к более высоким пикам мощностям, наоборот же постоянное повышение стоимости электрической энергии отн. её мощности в направлении меньших пик нагрузки.

Предложен аналитический подход к решению оптимизации, а также результаты, которые получены применением этого метода. Оптимизация отн. установление оптимальных электроэнергетических работы дуговой печи для производства стали приведена во второй части этой статьи где действие дуговой печи рассматривается по фазам плавления и рафинирования.

Описано влияние электротехнических параметров на энергетически наиболее благоприятную работу печи, а также приведены результаты такой работы, полученные при дуговых печах металлургического завода Железарна Равне.

Odpadna energija v Železarni Štore

UDK: 620.97
ASM/SLA: W11

Zoran Veber
Zvone Markovič
Viktor Logar

Opisani so rezultati in ugotovitve izdelane študije odpadnih energij z opisom kombiniranega rekuperatorja za kupolki, ki smo ga razvili zaradi tehnoloških potreb, rezultatov omenjene študije in njegove ekonomske upravičenosti.

1. UVOD

Večletna intenzivna razvojna aktivnost v železarni Štore na področju energetike, katere sestavni del je racionalna proizvodnja, kvalitetna distribucija, pretvorba in poraba energije, obsega:

- energetska oskrba železarne Štore in vodenje energetike glede na tarifne sisteme,
- razvoj in izdelavo metalurških naprav,
- izkoriščanje odpadne energije in zmanjševanje porabe energije.

Rezultati dela na tem področju so razvidni s sl. 1 in sl. 2, saj se poraba energije od leta 1981 kljub povečani proizvodnji zmanjšuje.

2. Odpadne energije železarne Štore

Izdelava študije odpadnih energij je bila nadaljevanje raziskovalnega dela, ki je bilo opravljeno z izdelavo materialnih in toplotnih bilanc metalurških naprav in dveh katastrov odpadnih toplot.

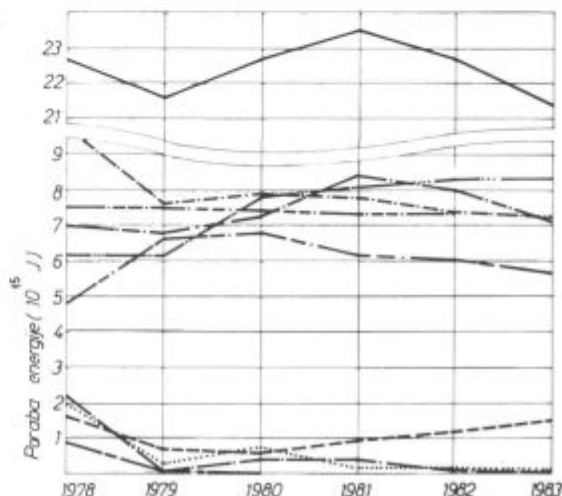
Študija obsega:

- analizo stanja,
- urno povprečno razpoložljivo odpadno energijo,
- temperaturne nivoje nosilcev odpadne energije,
- kontinuiteto razpoložljivosti odpadne energije,
- tehnične rešitve za uporabo odpadne energije,
- višino doseženih prihrankov pri uvedbi obdelanih tehničnih rešitev,
- ukrepe za racionalnejšo porabo energije brez finančnih vlaganj.

Ugotovili smo, da se v železarni Štore vrača energija, pridobljena iz odpadnih toplot in delne porabe plavžnega plina, v višini 4 % celotne dovedene primarne energije.

Stanje na toplotnih izmenjevalcih, ki so instalirani v železarni, je zaskrbljujoče, saj so starejši od 10 let, dotrajani, v nekaterih primerih pa obratujejo z nepravilnim režimom.

Obdelali smo metalurške naprave v tistih TOZD, ki porabijo 93 % energije v železarni Štore. V tabeli 1 je



Slika 1
Poraba energije v Železarni Štore
Fig. 1
Energy consumption in the Štore Ironworks

prikazana povprečna urna razpoložljiva odpadna energija.

Ekonomska opravičljiva pridobljena energija iz odpadnih energij je v višini 35,15 %. Letno bi pridobili $327,75 \cdot 10^{12}$ J energije. Ta količina pa predstavlja že 15,23 % porabe primarne energije železarne v letu 1983.

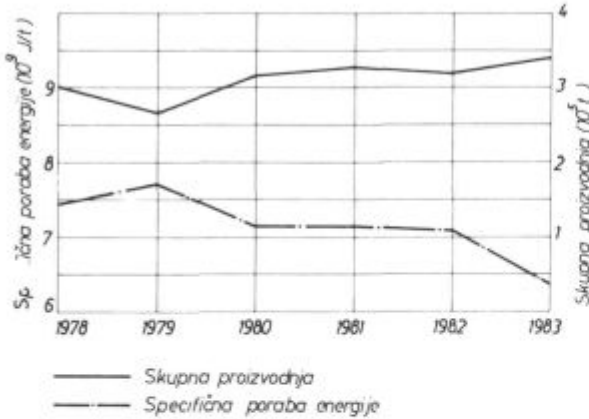
Veliko energije pa se lahko prihrani tudi z ukrepi, za katere ni potrebno investicijskih vlaganj.

Ti ukrepi so:

- dvigati izobrazbeni in tehnični nivo delavcev in jim pri izobraževanju prikazati ekonomski smisel pravičnega in vestnega ravnanja z napravami.
- dodatno stimulirati tista delovna opravila, ki vplivajo na zmanjševanje specifične porabe energije.
- stalen nadzor agregatov proizvodnih in vzdrževalnih TOZD, takojšnje obveščanje o nastalih pomanjkljivostih ter njihova odprava,

Avtorji članka so:

Zoran Veber, dipl. inž. met. — tehnolog v livarni II
Zvone Markovič, dipl. inž. str. — vodja projektivnega oddelka
Viktor Logar, dipl. inž. met. — vodja TOZD energetike



Slika 2

Specifična poraba energije in proizvodnja v Železarni Štore

Fig. 2

Specific energy consumption and the production in the Štore Ironworks

Razpoložljiva toplota po TOZD	10 ⁹ J/h
Elektroplavž	57,82
Jeklarna	33,67
Valjarna I	10,22
Valjarna II	16,87
Livarna I	4,60
Livarna II	4,67
Jeklvlek	1,80
Ogrevanje DO	1,76
Skupaj	131,41

— tromesečni pregled agregatov in njihova optimizacija,

— pred vsako novo investicijo (izdelavo investicijskega programa) in med njeno izgradnjo najtesnejše sodelovanje med proizvodnimi TOZD, ustreznimi službami in vzdrževalnimi TOZD,

— izvesti optimizacijo naprav po kakršnikoli njihovi rekonstrukciji ali pa pred začetkom obratovanja novih naprav,

— pri načrtovanju in nabavi novih naprav izbira ali izdelava takšnih, ki imajo čim manjše specifične porabe in kompleksne rešitve.

3. SEVALNI IN KONVENCIJSKI REKUPERATOR Z DODATNIM IZKORIŠČANJEM TOPLOTE PRI KUPOLKI NA VROČI ZRAK

TOZD livarna strojne litine ima v svojem obratu instalirani kupolki s svetlim premerom 650 mm in storilnostjo 4 t/h. Kupolki imata skupni sevalni rekuperator, ki zaradi dotrajanosti ne obratuje. S tem rekuperatorjem smo ogreti zrak za podpih do 320°C pri 70% porabi proizvedenih kupolnih plinov in stalnim dodatnim kurjenjem s plinskim gorilnikom, zmogljivosti 450.

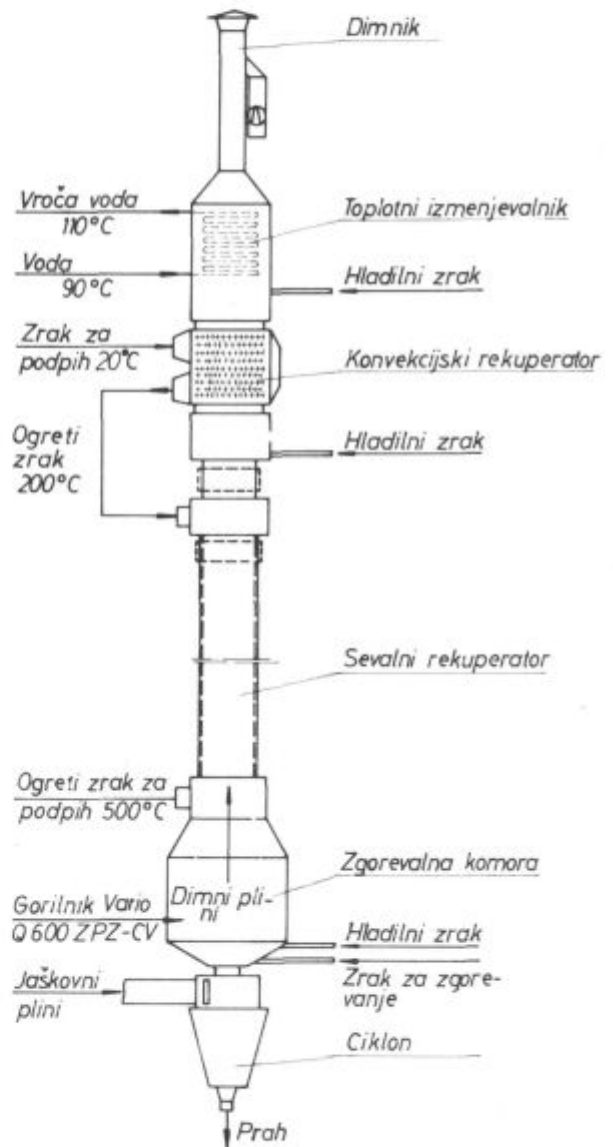
10⁶J/h. Varovanje sevalnega rekuperatorja je bilo le na max. dovoljeno temperaturo v zgorevalni komori (900°C). Kupolni dimni plini, ki so neuporabljeni izhajali na prosto s temperaturo cca 460°C in pa plini iz rekuperatorja (temperatura 650–700°C) so onesnaževali okolico s prašnimi delci.

Zaradi tehnoloških potreb, velikih izgub obstoječe naprave z onesnaževanjem okolice, smo pristopili k izdelavi takšne naprave, ki bo odpravila te pomanjkljivosti.

Na podlagi spoznanj iz študije odpadnih energij je bil izdelan elaborat in projekt za izvedbo novega rekuperatorja.

Glavna vodila pri razvoju in projektiranju rekuperatorja so bila:

- varnost obratovanja,
- velika zanesljivost obratovanja,



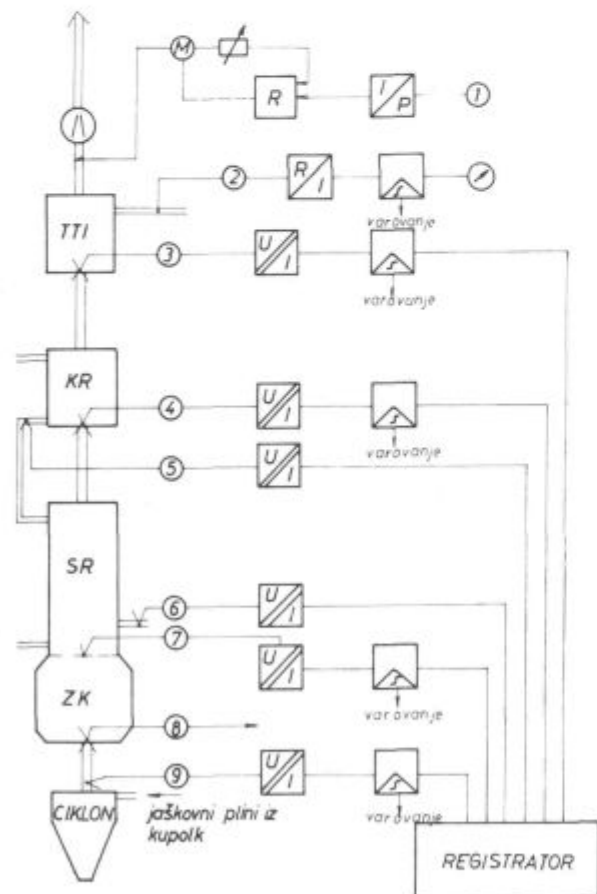
Slika 3
Shema rekuperatorja
Fig. 1
Scheme of recuperator

- maksimalna dopustna velikost delavcev v dimnih plinih pri izstopu iz rekuperatorja 0,004 mm,
- uporaba celotne količine kupolnih plinov,
- ogretje zraka iz 20 °C na 500 °C,
- maksimalna izstopna temperatura dimnih plinov iz rekuperatorja 250 °C,
- maksimalna zunanja temperatura sklopov rekuperatorja (razen toplotnih mostov) 70 °C,
- dodatno kurjenje rekuperatorja samo v začetku obratovanja,
- temperatura vstopne vode v tekočinski izmenjevalnik 90 °C,
- temperatura izstopne vode iz tekočinskega izmenjevalnika 110 °C.

Shema rekuperatorja je vidna na sl. 3

Zaradi spreminjajočih se obratovalnih pogojev (neenakomerna višina vsipa, neenakomeren odvzem taline, spreminjajoča kosovnost vložka in različna kvaliteta koks) se med obratovanjem spreminja sestava, količina in temperatura kupolnih plinov. Te spremembe pa povzročajo termične preobremenitve naprave. Na sl. 4 je prikaz varovanja.

Od razpoložljive odpadne energije kupolk in dodatno dovedene energije v rekuperator (5.955.554.000 J/h) se je pri starem rekuperatorju uporabilo le 21,5 %. Tok energije novega rekuperatorja pa je prikazan na sl. 5.

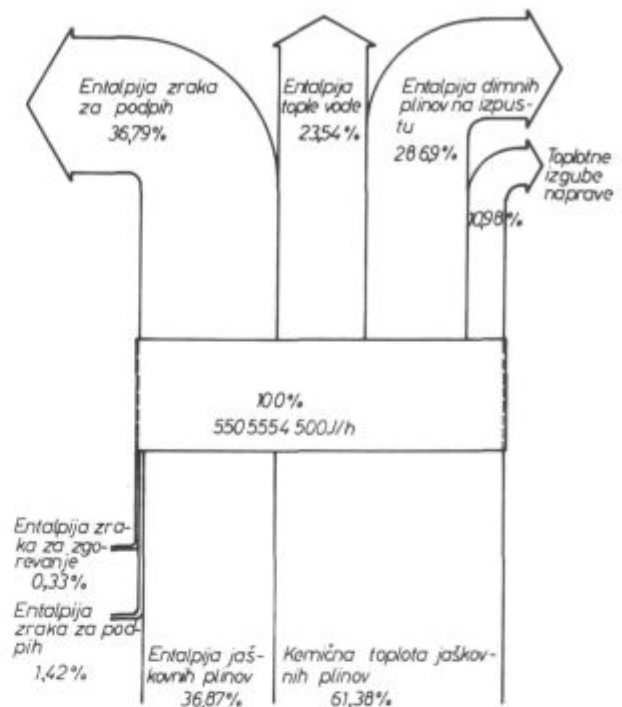


Slika 4

Varovalno regulacijska blokovna shema

Fig. 4

Protection-control block scheme of recuperator



Slika 5

Toplotni tok rekuperatorja

Fig. 5

Heat flow of the recuperator

ZAKLJUČEK

V Železarni Štore je urna količina odpadne energije $131,41 \cdot 10^9$ J. Ekonomsko opravičljivo vrnjena energija na uro je $46,19 \cdot 10^9$ J, kar predstavlja letno $327,75 \cdot 10^{12}$ J energije, kar je 15,23 % porabljene primarne energije v letu 1983. S postavitvijo novega rekuperatorja se bo letna poraba energije zmanjšala za $28,803 \cdot 10^{12}$ J, kar je 1,34 % porabljene primarne energije leta 1983 v Železarni Štore.

Literatura

1. Kataster odpadnih toplot I del — MI Ljubljana — 1978
2. Kataster odpadnih toplot II del — MI Ljubljana — 1980
3. Optimizacija žarenja v kontinuirani peči — MI Ljubljana — 1980
4. Materialna in energetska bilanca TH peči Železarne Štore I in II del — MI Ljubljana — 1963, 1966
5. Toplotna bilanca peči z dvižno mizo za ogrevanje gredic — MI Ljubljana — 1972
6. Vpliv mešanega plina — propan-butan-zrak na kvaliteto valjanega materiala — MI Ljubljana — 1971
7. Energetska bilanca kupolk v livarni II I in II del — MI Ljubljana — 1976

8. Werner Heiligenstaedt — Wärmetechnische Rechnungen für Industrieöfen — 4 Auflage Düsseldorf — 1966
9. Metalurški priročnik — ZTS Ljubljana — 1972
10. Strojnarstvo 2 — Školska knjiga Zagreb — 1973
11. Strojniški priročnik — St. Vestnik Ljubljana — 1981
12. Parni kotlovi — Mašinski Fakultet Beograd — 1980
13. Vpliv prehodne funkcije toplotnega agregata na porabo energije — FNT Ljubljana — 1981
14. Izkoriščanje odpadnih toplot metalurških in pirotehničnih agregatov — MI Ljubljana — 1982
15. Termodinamika — Školska knjiga Zagreb — 1980
16. Anhaltzahlen für die Wärmewirtschaft in Eisenhüttenwerken — 6 Usflage Düsseldorf — 1968
17. Z. Veber, Z. Markovič, V. Logar — Odpadne toplote v Železarni Štore in možnosti izkoriščanja — 1982
18. B. Sicherl s sodelavci — Sevalno-konvekcijski rekuperator pri kupolkah na vroč zrak — FNT Ljubljana — 1982

ZUSAMMENFASSUNG

Die allgemeine Energiewirtschaftskrise hat einen durchaus qualitativen Zutritt zu der Lösung der Energetischen Probleme, die die Verminderung aller Energiesorten umfassen verursacht. Das Energiesparen muss deshalb an langfristigen und klaren Zielen und überlegenen Effekten basieren. Im Hüttenwerk Štore ist eine Studie über die Abfallenergie und die Mög-

lichkeit der Ausbeutung derselben ausgearbeitet worden. In der Studie werden die Mengen der Abfallenergie mit den technischen Lösungen für die wiederholte Anwendung behandelt. Eine von der technischen Lösungen aus dieser Studie war die Entwicklung des Rekuperators für die Kuppelöfen.

SUMMARY

Tense energy situation caused a better and a more complete approach to solving the energetis problems which include the reduction in consumption of all kinds of the energy. Thus the energy economy must be based on longterm clear aims and well considered effects. In the Štore Ironworks a

study of waste energy and the possibility of its use was made in which the amount of waste energy was presented together with the technical solutions for its use. One of the technical solutions presented in the study was the development of a recuperator at cupola furnaces.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обостренные обстоятельства в области энергетики вызвали к более качественному и комплексному решению энергетических проблемов с целью уменьшить расход всех видов энергии. Поэтому мероприятия в целях экономии должны быть разработаны на основании ясных долгосрочных целях с обдуманым действием.

В металлургическом заводе Железарна Шторе разработаны исследования о побочной энергии и возможности её использования. Приведено количество побочной энергии и указания на техническое решение её применения. Одно из технических решений в этом исследовании представляет развитие рекуператора при вагранках.

Vsebina XVIII. letnika *Železarskega zbornika*

	stran		stran
Švajger Milan, I. Ranc — Železarna Ravne		Todorović G., J. Lamut, B. Dobovišek — Metalurški inštitut Ljubljana	
Možnosti sprememb kemične sestave jekla med procesom električnega pretaljevanja pod žlindro	1	I. Šketa, M. Tolar, D. Gregorič — Železarna Jesenice	
Vodopivec Franc, M. Kmetič — Metalurški inštitut Ljubljana		Študij uporabe ljubijskega siderita za izdelavo sintra	69
A. Rodič — Železarna Ravne		Smajič Nijaz — Metalurški inštitut Ljubljana	
O zadrževanju rekristalizacije, avstenita pri vročem valjanju cementacijskih jekel v več vtičkih pri padajoči temperaturi	9	Pomen in vloga silicija pri izdelavi nerjavnega jekla	75
Kmetič D., F. Vodopivec — Metalurški inštitut Ljubljana		I. del: Termodinamično ravnotežje Si-C v EO peči	
F. Vizjak, F. Haler — Železarna Štore		Pelhan C., J. Lamut, R. Kotlica — Metalurški inštitut Ljubljana	
Vpliv stopnje predelave na lastnosti konti jekla	17	Oksidacija litin legiranih z bakrom, nikljem in kromom	81
Uranc Franc — Železarna Ravne		Kveder A., J. Žvokelj — Metalurški inštitut Ljubljana	
Vpliv toplotne obdelave na žilavost bainita Cr-W-V jekel	27	F. Legat — Veriga Lesce	
Macur Vlado, J. Bratina — Železarna Ravne		Visokotrdne kvalibrirane verige za dvigala in elevatorje	89
Razvoj in uvedba vakuumske ponovčne peči v Železarni Ravne	39	Tehnične novice	
Petovar Stanko, A. Rozman, A. Lesnik — Železarna Štore		Prešern V., M. Debelak	
Opis, zagon in tehnološki rezultati VAD naprave v jeklarni II. Železarne Ravne	45	Tretje posvetovanje o kontinuirnem vlišanju jekel z naslovom: »Continuous casting conference 1984 Linz« 9. do 12. april	101
Šegel Jože, A. Rozman — Železarna Ravne		Holzgruber Wolfgang — Inteco	
Uporaba računalnika na EO peči in VAD napravi	49	Današnje stanje razvoja in razvojne smeri postopka električnega pretaljevanja pod žlindro	105
Žlof Jože — Železarna Ravne		Rodič Jože — Železarna Ravne	
Kemijska problematika ob uvajanju ponovčne metalurgije v Železarni Ravne	35	Razvoj električnega pretaljevanja jekel pod žlindro v Železarni Ravne	113
Tehnične novice		Šegel Jože — Železarna Ravne	
Macur Vlado — Železarna Ravne		Računalniško podprto krmiljenje EPŽ procesov in proizvodnje	125
Specifične prednosti uporabe težkega paletnega transporta v jeklarni Železarne Ravne	65	Bratina Janez — Železarna Ravne	
		Gospodarjenje z električno energijo v Železarni Ravne	131
		Veber Zoran, Z. Markovič, V. Logar — Železarna Štore	
		Odpadna energija v Železarni Štore	143

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. 800 — Tisk: TK »Gorenjski tisk«, Kranj

VSEBINA

<p>UDK: 669.162.263 ASM/SLA: D8n</p> <p>Metalurgija — Sekundarna rafinacija</p> <p>W. Holzgruber</p> <p>Današnje stanje razvoja in razvojne smeri postopka električnega pretaljevanja pod žlindro Železarski zbornik 18 (1984) 4 s 105—112</p> <p>Podan je pregled razvoja od uvedbe prvih EPŽ naprav do današnje stopnje z glavnimi značilnostmi razvojnih stopenj. Podani so ključni kazalci porabe žlindre, energije, izplenov ter osnovni tehnološki parametri pretaljevanja. S posebnim poudarkom je opisan razvoj naprav z značilno električno izbedbo, današnja tehnika EPŽ naprav in stanje potapljanja elektrode ter računalniško krmiljenje hitrosti pretaljevanja, kar je odločilni parameter za kakovost EPŽ ingotov.</p> <p>Prikazane so tudi razvojne smeri s pretaljevanjem v varovalni atmosferi, pod povečanim plinskim tlakom in izdelava oblikovanih EPŽ teles. Te smeri bodo prav gotovo v naslednjih letih še pridobile na pomenu.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izvleček</p>	<p>UDK: 669.162.263 ASM/SLA: D8n</p> <p>Metalurgija — sekundarna rafinacija</p> <p>J. Rodič</p> <p>Razvoj električnega pretaljevanja jekel pod žlindro v Železarni Ravne Železarski zbornik 18 (1984) 4 s 113—123</p> <p>Opisan je desetletni razvoj proizvodnje in raziskav na področju električnega pretaljevanja jekel pod žlindro v Železarni Ravne z dvema napravama (EPŽ I, za ingote Ø 220—500 mm do največje teže 4 t in EPŽ II, za ingote Ø 500—Ø 1000 mm in brame 1000 mm × 500 mm, največje dolžine 6 m in največje teže 36 t) proizvede 4300 ton EPŽ jekla letno.</p> <p>Proizvodni asortiment obsega 6 skupin: orodna jekla za delo v vročem (20—25%), ledeburitna orodna in brezorezna jekla (10—15%), orodna jekla za delo v hladnem (ca. 5%), jekla za hladne valje (35—45%), nerjavna in ognjeodporna jekla (2%), konstrukcijska jekla s posebnimi lastnostmi (15—25%).</p> <p>Prikazane so izkušnje iz uporabe EPŽ jekel, vplivi pretaljevanja na osnovne lastnosti jekel in specifične lastnosti nekaterih skupin proizvodov, kar so razlogi za uporabo EPŽ postopka v proizvodnji specialnih jekel.</p> <p>Nakazane so usmeritve nadaljnega razvoja.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izvleček</p>
<p>UDK: 669.187.6; 861.142 ASM/SLA: D8p, X14k</p> <p>Metalurgija — elektro pretaljevanje jekla pod žlindro — uporabe procesnih računalnikov</p> <p>Šegel Jože s sodelavci</p> <p>Računalniško podprto krmiljenje EPŽ procesov in proizvodnje Železarski zbornik 18 (1984) 4 s 125—130</p> <p>Izdelani so računalniški programski paketi za področje krmiljenja, proizvodnje in razvoja EPŽ tehnologije. Že uporaba osnovnega programskega paketa ESR-BASIC nekajkrat izboljša enakomernost hitrosti taljenja in s tem homogenost posameznih EPŽ ingotov, kakor tudi več ingotov iste kvalitete. V prakso uvedeni programi in uporaba mikro računalnika je prilagojena različnim vrstam in velikosti EPŽ peči.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izvleček</p>	<p>UDK: 621.316.003 ASM/SLA: U7c, W11</p> <p>Elektrotehnika — distribucija energije</p> <p>J. Bratina</p> <p>Gospodarjenje z električno energijo v Železarni Ravne Železarski zbornik 18 (1984) 4 s 131—142</p> <p>V članku sta opisana dva vidika gospodarjenja z električno energijo:</p> <ul style="list-style-type: none"> — kot metoda optimalnega vodenja električne moči železarne, ki proizvaja jeklo z elektroobločnimi pečmi, s ciljem, da se doseže čim nižja cena električne energije, — kot način določanja optimalnih elektroenergetskih režimov obločne peči po karakterističnih fazah njenega obratovanja. <p style="text-align: right;">Avtorski izvleček</p>
<p>UDK: 620.97 ASM/SLA: W11</p> <p>Metalurgija — energetika — varčevanje z energijo — rekuperator</p> <p>Z. Veber, Z. Markovič, V. Logar</p> <p>Odpadna energija v Železarni Štore Železarski zbornik 18 (1984) 4 s 143—146</p> <p>Članek daje pregled stanja v energetiki v Železarni Štore s poudarkom na področju odpadnih energij in opisom sevalno in konvekcijskega rekuperatorja z dodatnim izkoriščanjem odpadne toplote pri kupolki na vroč zrak.</p> <p style="text-align: right;">Avtorski izvleček</p>	

INHALT

<p>UDK: 669.162.263 ASM/SLA: D8</p> <p>Metallurgie — Sekundäre Raffination</p> <p>J. Rodič</p> <p>Die Entwicklung des Elektroschlackeumschmelzens im Hüttenwerk Ravne</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 S 113—123</p> <p>Eine zehnjährige Entwicklung der Erzeugung und der Forschung auf dem Gebiet des Elektroschlackeumschmelzens 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.</p> <p>Der Erzeugungsortiment umfasst sechs Gruppen: Heissarbeitswerkzeugstähle (20—25%), ledeburitische Werkzeugstähle und Schnellarbeitsstähle (10—15%), Kaltarbeitswerkzeugstähle (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 einzelner 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.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Autors</p>	<p>UDK: 669.162.263 ASM/SLA: D8n</p> <p>Metallurgie — Sekundäre Raffination</p> <p>W. Holzgruber</p> <p>Heutiger Stand der Entwicklung und die Entwicklungsrichtungen beim Elektro-Schlacke-Umschmelz-Verfahren</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 S 105—112</p> <p>Eine Übersicht über die Entwicklung von der Einführung der ersten ESU Anlagen bis zu dem heutigen Stand mit den Haupt-eigenheiten der Entwicklungsstufen wird gegeben. Die Wichtigsten Parameter des Schlackenverbrauches, des Energieaufwandes, des Ausbringens, so wie die technologischen Grundparameter der Umschmelzung werden angegeben. Besondere Betonung gilt der Beschreibung der Entwicklung der Anlagen mit der charakteristischen elektrischen Ausführung, der heutigen Technik der ESU Anlagen und dem Stand der Regel technik. Von besonderer Bedeutung sind die wassergekühlten Hochstromschleifkontakte. Das neue Konzept war das erstmalig im Hüttenwerk Rovne angewendet. Ausserdem ist eine Neuheit auch die elektronische Regelung der Eintauchtiefe der Elektrode und die rechnerische Steuerung der Umschmelzungsgeschwindigkeit was von entscheidender Bedeutung für die Güte der ESU Blöcke ist. Angezeigt werden die Entwicklungsrichtungen und zwar die Umschmelzung in einer Schutzgasatmosphäre, unter höherem Gasdruck und die Erzeugung forgeformter ESU Blöcke. Diese Richtungen werden in den nächsten Jahren bestimmt an Wichtigkeit gewinnen.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Autors</p>
<p>UDK: 621.316.003 ASM/SLA: U7C, W11</p> <p>Elektrotechnik — Energieverteilung</p> <p>J. Bratina</p> <p>Bewirtschaftung der elektrischen Energie im Hüttenwerk Ravne</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 S 131—142</p> <p>Im Artikel wird die Bewirtschaftung der Elektrischen Energie aus zwei Standpunkten beschreiben:</p> <ul style="list-style-type: none"> — als Methode der optimalen Führung der elektrischen Kraft des Hüttenwerkes wo der Stahl in Lichtbogenöfen erzeugt wird, mit dem Ziel möglichst niedrigen Preis für die elektrische Energie zu erreichen, und — als Methode der Bestimmung der optimalen elektroenergetischen Verhältnisse des Lichtbogenofens während der charakteristischen Phasen des Betriebes. <p style="text-align: right;">Auszug des Autors</p>	<p>UDK: 669.187.6; 861.142 ASM/SLA: D8p, X14k</p> <p>Metallurgie — Elektroschlackeumschmelzen — Anwendung der Prozessrechner</p> <p>Jože Šegel und Mitarbeiter</p> <p>Rechnerisch unterstützte Steuerung der ESU Prozesse und der Produktion.</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 S 125—130</p> <p>Programmpakete für den Rechner auf dem Gebiet der Steuerung, der Produktion und der Entwicklung der ESU Technologie sind erarbeitet worden. Schon die Anwendung des Grundprogrammpaketes ESU — BASIC verbessert einige Male die Gleichmässigkeit der Schmelzgeschwindigkeit und damit die Homogenität der einzelnen ESU Blöcke, wie auch mehrere Blöcke derselben Stahlsorte. In die Praxis eingeführten Programme und die Anwendung des Mikrorechners sind verschiedenen Arten und gröszen der ESU Anlagen angepasst.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Autors</p>
<p>UDK: 620.97 ASM/SLA: W11</p> <p>Metallurgie — Energiewirtschaft — Energiesparen — Rekuperator</p> <p>Z. Veber, Z. Markovič, V. Logar</p> <p>Die Abfallenergie im Hüttenwerk Store</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 S 143—146</p> <p>Im Artikel wird ein Überblick über die Energiewirtschaft im Hüttenwerk Store gegeben. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Abfallenergie. Ein Strahlungs und Konvektionsrekuperator mit zusätzlicher Ausnutzung der Abfallwärme beim Warmluftkuppelofen wird beschrieben.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Autors</p>	<p>UDK: 620.97 ASM/SLA: W11</p> <p>Metallurgie — Energiewirtschaft — Energiesparen — Rekuperator</p> <p>Z. Veber, Z. Markovič, V. Logar</p> <p>Die Abfallenergie im Hüttenwerk Store</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 S 143—146</p> <p>Im Artikel wird ein Überblick über die Energiewirtschaft im Hüttenwerk Store gegeben. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Abfallenergie. Ein Strahlungs und Konvektionsrekuperator mit zusätzlicher Ausnutzung der Abfallwärme beim Warmluftkuppelofen wird beschrieben.</p> <p style="text-align: right;">Auszug des Autors</p>

CONTENTS

<p>UDK: 669.162.263 ASM/SLA: D8n</p> <p>Metallurgy — Secondary Refining</p> <p>W. Holzgruber</p> <p>Present State of Development and Development Trends of Electroslag Remelting</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 P 105—112</p> <p>The review of development from the introduction of the first ESR set-ups till today is given with the basic characteristics of the development stages. The principal parameters of slag and energy consumptions, yields and basic technological parameters of remelting are presented. A special emphasis is given to the development of the equipment with a characteristic electrical design, to the present techniques of the ESR equipment and the state of control techniques. Specially important are the water-cooled high-current slide contacts. The new concept was for the first time applied in the Ravne Ironworks. Besides, the novelty is also the electronic regulation of the electrode dipping depth and the computer control of the remelting rate which is the decisive parameter for the quality of ESR ingots.</p> <p>Also the development trends of remelting in protective atmosphere, under increased gas pressure, and making of shaped ESR sections are presented. These trends will in the future gain the importance.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>	<p>UDK: 669.162.263 ASM/SLA: D8n</p> <p>Metallurgy — Secondary Refining</p> <p>J. Rodič</p> <p>Development of Electroslag Remelting of Steel in the Ravne Ironworks</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 P 113—123</p> <p>A ten-year development of manufacturing and investigations on the ESR process for steel in the Ravne Ironworks with two set-ups is described, i. e. ESR I for 220 do 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.</p> <p>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%).</p> <p>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.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>
<p>UDK: 669.187.6; 861.142 ASM/SLA: D8p, X14k</p> <p>Metallurgy — Electroslag remelting — Application of process computers</p> <p>J. Šegel and coworkers</p> <p>Computer-Supported Control of ESR Processes and of the Production</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 P 125—130</p> <p>Computer program packs for control, production, and the development of ESR technology were prepared. Already the application of the basic program pack ESR-BASIC improves for few times the uniformity of the remelting rate and thus the homogeneity of a single ESR ingot and of series of ingots of the same quality. Into the practice introduced programs are adapted to various types and sizes of ESR furnaces.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>	<p>UDK: 621.316.003 ASM/SLA: U7c, W11</p> <p>Electrotechnics — Energy distribution</p> <p>J. Bratina</p> <p>Economizing with Electric Energy in Ravne Ironworks</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 P 131—142</p> <p>The paper presents two viewpoints of economizing with electric energy:</p> <ul style="list-style-type: none"> — as the method of optimal controlling the electric power in the steelwork producing steel in electric arc furnaces with the aim to achieve the lowest possible price of electric energy, — as the way to determine optimal power regime of arc furnaces according to the characteristic phases of their operation. <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>
<p>UDK: 620.97 ASM/SLA: W11</p> <p>Metallurgy — Energetics — Energy Economizing — Recuperator</p> <p>Z. Veber, Z. Marković, V. Logar</p> <p>Waste Energy in the Štore Ironworks</p> <p>Železarski zbornik 18 (1984) 4 P 143—146</p> <p>The paper gives a review of the state in energetics in the Štore Ironworks with the emphasis on the waste heats and the description of a radiation-convection recuperator with an additional exploitation of waste heat of the hot-blast cupola furnace.</p> <p style="text-align: right;">Author's Abstract</p>	

СОДЕРЖАНИЕ

<p>UDK: 669.162.263 ASM/SLA: D8n Металлургия — вторичное рафинирование J. Rodić Развитие электрической переплавки сталей под шлаком в металлургическом заводе Железарна Равне. Železarski zbornik 18 (1984) 4 С 113—123</p> <p>Описано десятилетнее развитие производства и исследований в области электрической переплавки сталей под шлаком в металлургическом заводе Железарна Равне, которое выполняется в двух установках ЭШП-а / ЭШП I для слитков Ø220—500 мм, тяжести не более 4 тон и ЭШП II для слитков Ø500—1000 мм и для брам 1000 × 500 мм, максимальной длины до 6 м и веса до 36 тон / с производством 4300 тон стали ЭШП в год.</p> <p>Ассортимент производства охватывает 6 групп стали, а именно: — инструментальные стали для работы в горячем состоянии (20—25 %), ледобитные инструментальные стали и быстрорежущие стали (10—15 %), инструментальные стали для работы в холодном состоянии (прибл. 5 %), стали для холодных валков (35—45 %), нержавеющие и огнеупорные стали (2 %), конструкционные стали с специальными свойствами (15—25 %).</p> <p>Приведены полученные опыты при употреблении сталей ЭШП-а, влияние переплавки на свойства сталей и специфические свойства некоторых групп изделий, что служит как доказательство необходимости применения способа ЭШП-а при производстве специальных сортов сталей. Указано направление для дальнейшего развития этого способа.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>	<p>UDK: 669.162.263 ASM/SLA: D8n Металлургия — вторичное рафинирование W. Holzgruber Современное положение развития и направления развития электрической переплавки под шлаком. Železarski zbornik 18 (1984) 4 С 105—112</p> <p>Рассмотрен обзор развития и введение первых устройств ЭШП-а до теперешнего состояния, взяв во внимание характеристики отдельных фаз этого развития. Приведены основные указатели расхода шлака, энергии, выходов, также основные технологические параметры переплава.</p> <p>Особенное внимание уделено развитию устройств с характерным выполнением электрического сооружения, теперешней конструкции устройств ЭШП-а и техники автоматического регулирования. Особенное значение имеют мощные токопроводящие скользящие контакты. Современный проект был первый раз применен в металлургическом заводе Железарна Равне. Кроме этого особенное внимание следует обратить на электронную регулировку глубины погружения электрода, а также управлению быстроты переплавки с применением счётчика, что представляет собой существенный параметр качества слитков ЭШП-а.</p> <p>Также рассмотрены направления развития при переплаве в атмосфере защитного газа, при увеличенном давлении газа и изготовление сформованных изделий ЭШП-а.</p> <p>Эти направления наверно получат в течении следующих годах более выдающее значение.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>
<p>DK: 621.316.003 ASM/SLA: U7c, W11 Электротехника — распределение энергии J. Bratina Хозяйственное использование электрической энергии в металлургическом заводе Железарна Равне. Železarski zbornik 18 (1984) 4 С 131—142</p> <p>В статье дано описание двух видов экономии электрической энергии, а именно: — как метод оптимального управления электрической силой завода, который производит сталь в дуговых электрических печах с целью, чтобы цена электрической энергии была чем ниже, и — как способ определения оптимальных электрических режимов дуговой электрической печи на основании характерных фаз её работы.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>	<p>UDK: 669.187.6: 861.142 ASM/SLA: D8p, X14k Металлургия — электропереплавка стали под шлаком — применение вычислительных машин для управления процессом. Segel Jože с сотрудниками Производство стали с применением ЭШП при помощи вычислительных машин для управления процессом. Železarski zbornik 18 (1984) 4 С 125—130</p> <p>Разработаны вычислительные программные пакеты для области управления, производства и развития технологии ЭШП. Уже употребление основного программного пакета ESR-BASIC в несколько раз улучшить равномерность быстроты плавки и, таким образом, однородность отдельных слитков ЭШП-а, а также многих слитков одного и того же качества.</p> <p>Введенные программы и применение микросчётчика в промышленной практики согласованы с различными сортами стали, а также с величиной печи, в который выполняется электрошлаковый переплав (ЭШП).</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>
<p>UDK: 620.97 ASM/SLA: W11 Металлургия — энергетика — экономия энергии — рекуператор. Z. Vebr, Z. Markovič, V. Logar Побочная энергия в металлургическом заводе Железарна Шторе. Železarski zbornik 18 (1984) 4 С 143—146</p> <p>В статье рассмотрен обзор положения в энергетике в металлургическом заводе Железарна Шторе подчеркнув значение области побочной энергии.</p> <p>Приведено также значение с описанием радиационного и конвективного рекуператора при дополнительном использовании побочной энергии при вагранки на горячий воздух.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>	<p>UDK: 620.97 ASM/SLA: W11 Металлургия — энергетика — экономия энергии — рекуператор. Z. Vebr, Z. Markovič, V. Logar Побочная энергия в металлургическом заводе Железарна Шторе. Železarski zbornik 18 (1984) 4 С 143—146</p> <p>В статье рассмотрен обзор положения в энергетике в металлургическом заводе Железарна Шторе подчеркнув значение области побочной энергии.</p> <p>Приведено также значение с описанием радиационного и конвективного рекуператора при дополнительном использовании побочной энергии при вагранки на горячий воздух.</p> <p style="text-align: right;">Автореф.</p>

