

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 Dnjevrospestalj 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.

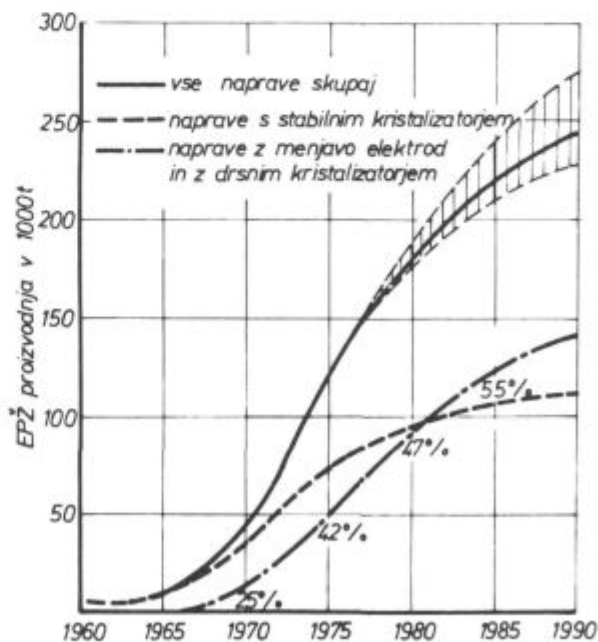
* Referat na mednarodnem posvetovanju »ELEKTRIČNO PRETALJEVANJE JEKEL POD ŽLINDRO« 12. aprila 1984 v Železarni Ravne.

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.

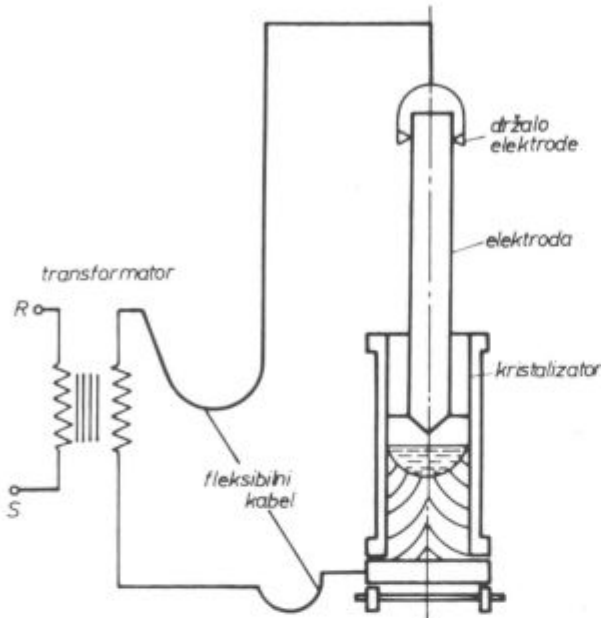
Te pomanjkljivosti so razvoj naravnale na izdelavo naprav s kratkimi dviznimi kokilami oziroma s spuščajočim dnom ter na izdelavo naprav z menjavo elektrod, s čimer je postalo možno proizvajati EPŽ ingote, katerih dolžina ni bila odvisna od dolžine kokile in od dol-



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.



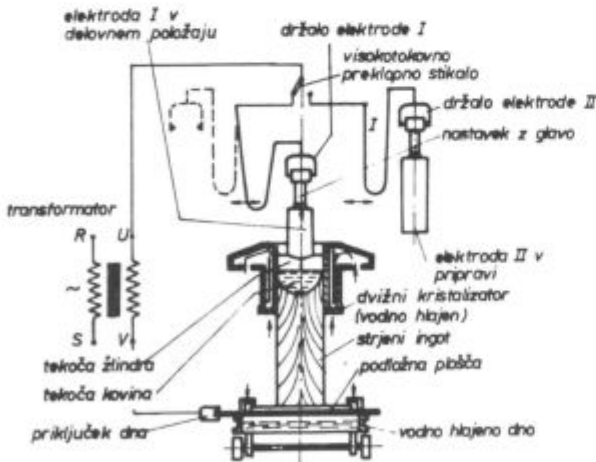
Slika 2

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

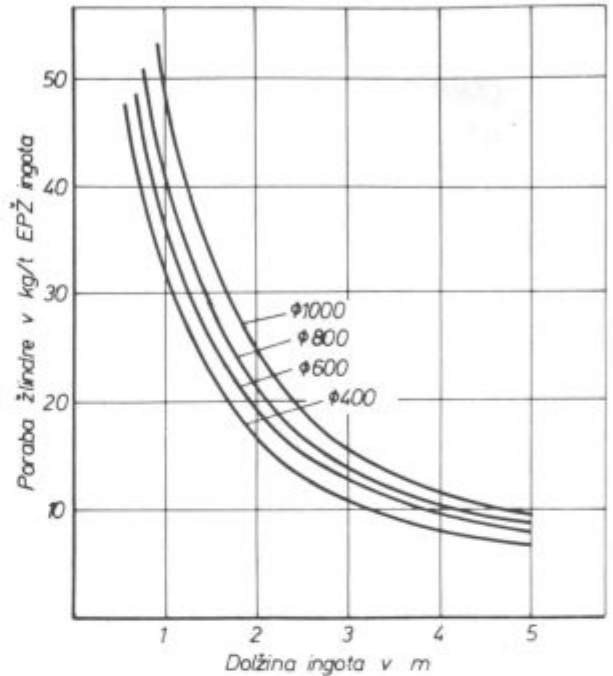
Shema EPŽ naprave z menjavo elektrod in dvignim kristalizadorjem pri uporabi fleksibilnih visokotokovnih kablov

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 bo mo 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

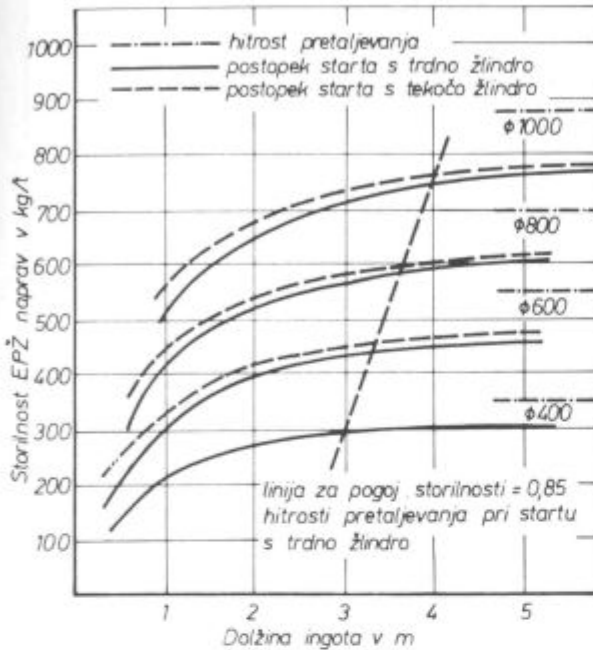
Proizvodna kapaciteta EPŽ naprav je prav tako odvisna od dolžine ingota, kot kaže slika 5. Da bi dosegli ugodne proizvodne kapacitete in s tem izkoriščenje naprave, je treba stremeti k izdelavi ingotov z dolžino po možnosti preko 3 m, pri tem pa mora biti dolžina bloka toliko večja, kolikor večji je 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 odpadki 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 žilndrne kopeli itd. V glavnem

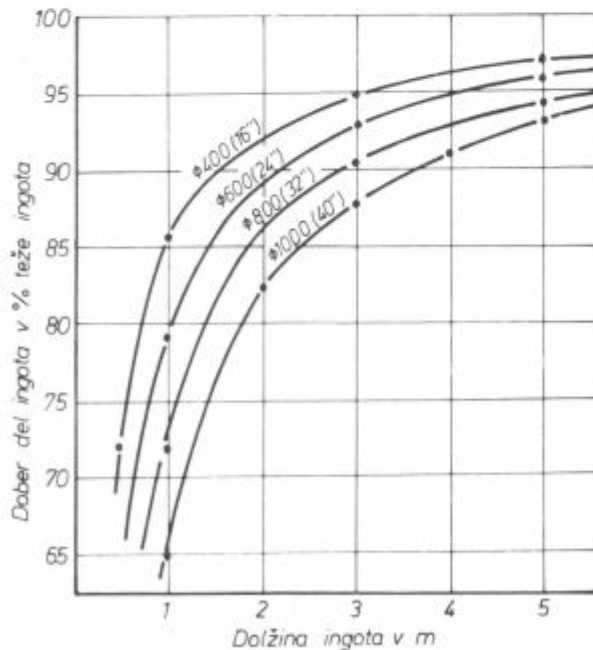


Slika 5

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

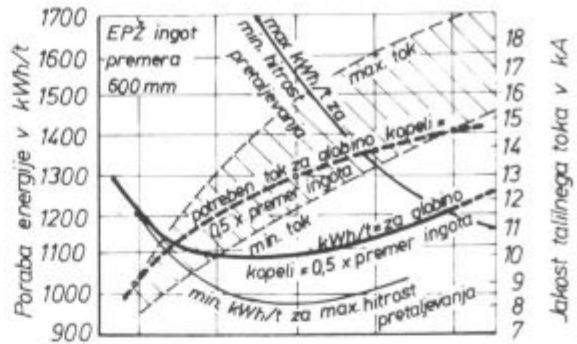


Slika 6

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

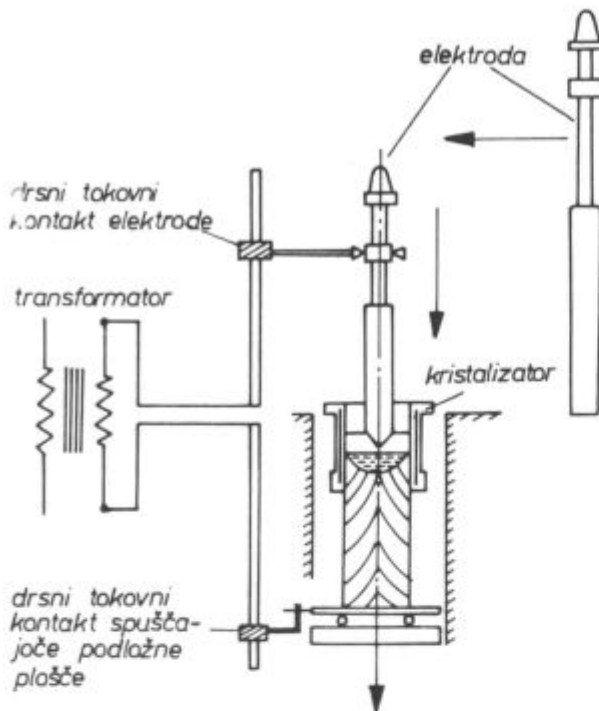
lahko obratujemo pri EPŽ postopku z razmerjem premerov elektroda/ingot med 0,4 in 0,8. Če pa želimo imeti po možnosti čim več prostosti v pogledu talilnih pogojev, potem je priporočljivo razmerje premerov $0,6 \pm 0,10$. To pa so tudi tisti pogoji, v katerih je na splošno poraba energije za pretaljevanje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

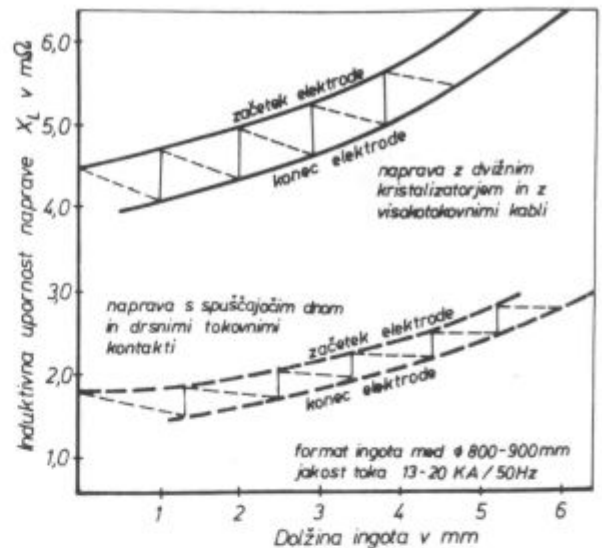
Za izboljšanje visokotokovnega dovoda in odvoda smo razvili sistem iz vodnohlajenih drsnih cevi in visokotokovnih drsnih kontaktov, ki omogočajo dovod in odvod paralelno k elektrodi oziroma ingotu.

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.

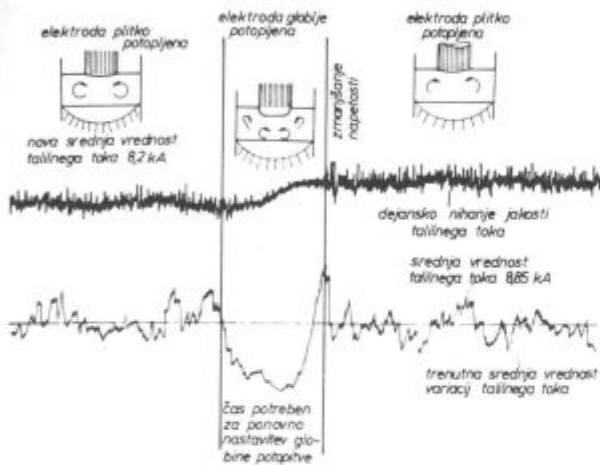
To smo povezali z dejstvom, da globina potapljanja elektrode ni bila ustrezno kontrolirana, če talilec gladine žlindre ni neprestano nadzoroval. Kvaliteta pretaljenega ingota je bila zaradi tega veliko odvisna od pazljivosti in spretnosti talilca.

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 kopel 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 kopel. Regulator tekoče meri poprečno vrednost amplitude tega nihanja in jo primerja z vnaprej nastavljenjo željeno vrednostjo. V primeru odstopanja regulator avtomatično popravi vnaprej nastavljenjo vrednost 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:

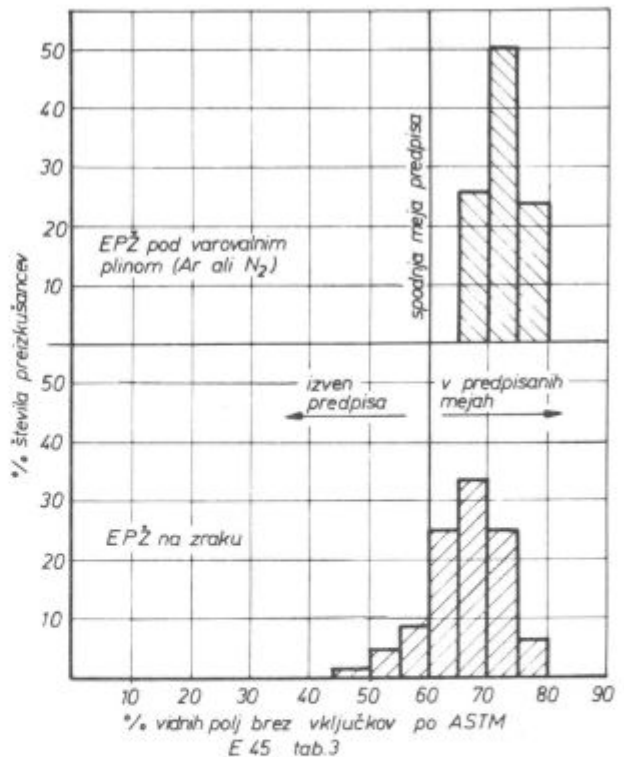
- pretaljevanje v varovalni atmosferi
- pretaljevanje s povečanim plinskim tlakom nad žilindrino kopeljo,
- izdelava oblikovanih EPŽ teles.

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

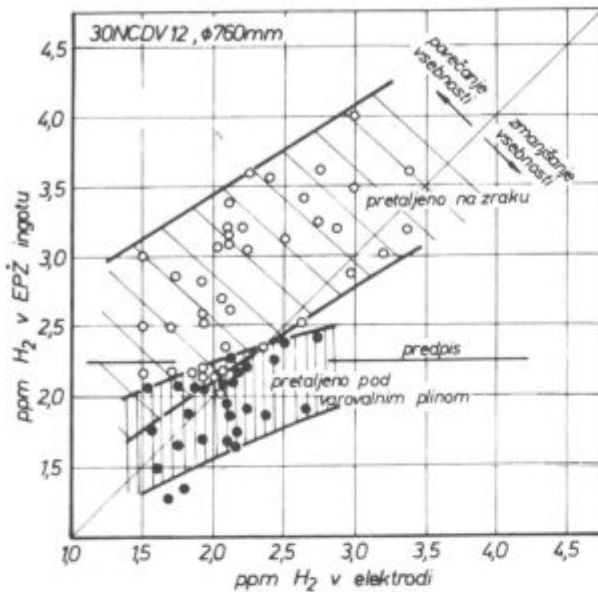
Vpliv atmosfere nad žilindro na čistost jekla 30NiCrMo12

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

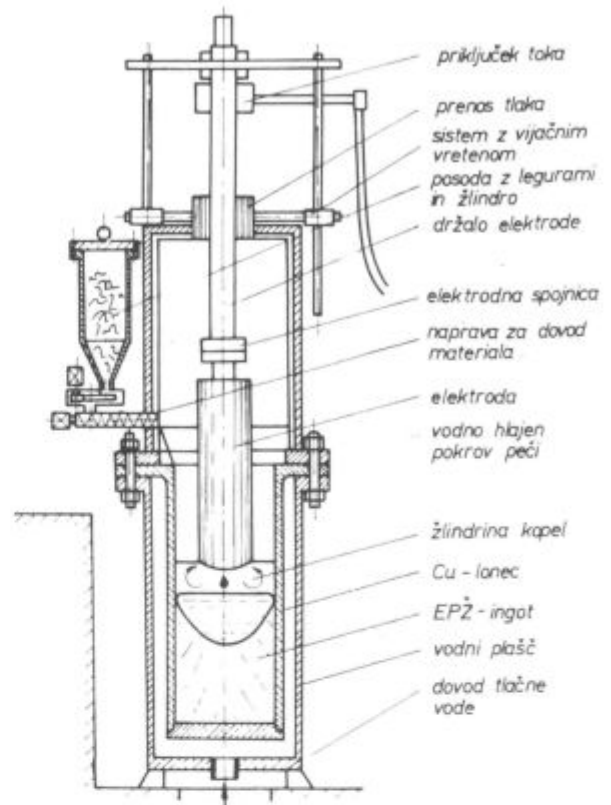
polnoma preprečimo navzemanje vodika. Nasprotno pa ugotavljamo pri pretaljevanju na zraku navzem od 1–1,5 ppm.

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.

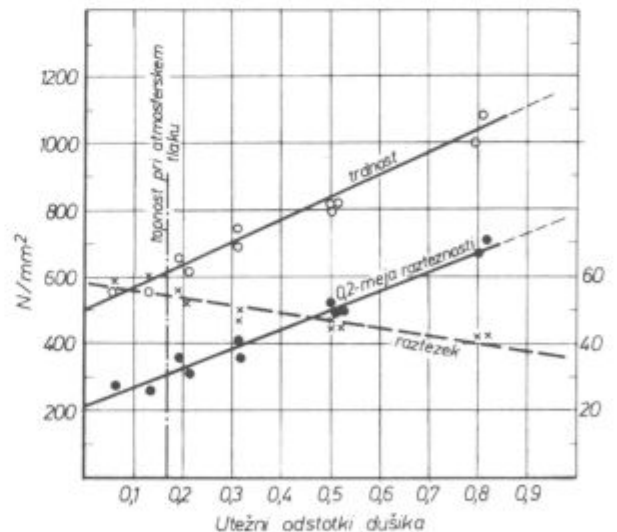


Slika 13

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

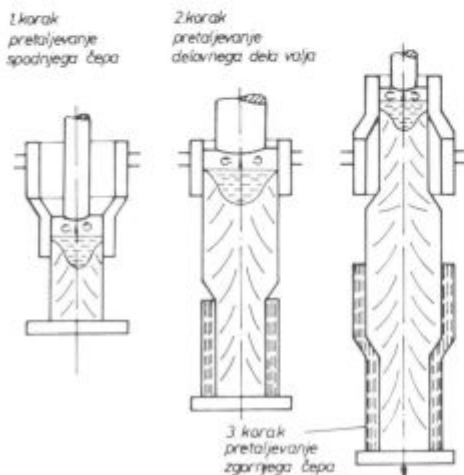
Iz tega lahko povzamemo, da zvišanje vsebnosti dušika na 0,8 % t. j. na vsebnost, ki se jo da doseči le s tlačnim pretaljevanjem, omogoči znatno zvišanje meje raz-

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

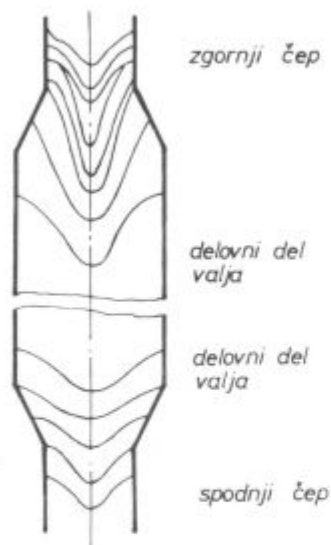


Slika 15

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 žilindrine kopeli, kar je možno brez težav s počasnim dodajanjem žilindre. Ob prehodu od delovnega dela valja v gornji čep pa je potrebno del žilindre odstraniti, za kar je potrebna posebna naprava za odsesanje žilindre.

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 žilindre, 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 Haupteigenschaften 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 erstmalig im Hüttenwerk Ravne angewendet. Außerdem 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.