

Možnosti uporabe EPŽ postopka v jeklarski industriji*

DK: 669.187.26; 669.046.54/35
ASM/SLA: D8n

Manfred Wahlster

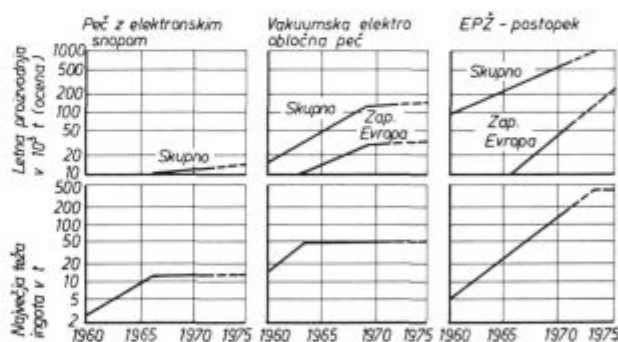
Z namenom splošne predstavitve postopka proizvodnje specialnih jekel z električnim pretaljevanjem pod žlindro je podan kratek pregled razvoja EPŽ postopka z osnovnimi informacijami o glavnih značilnostih. Podane so primerjave EPŽ postopka s konvencionalnimi in vakuumnimi postopki proizvodnje jekel. EPŽ postopek omogoča izdelavo jekel z vrhunskimi kakovostnimi lastnostmi, ker na določen način spreminja kemijsko sestavo, stopnjo čistosti, kompaktnost in makro- ter mikrostrukturo jekel. Težišče članka je v obravnavanju tipičnih področij uporabnosti EPŽ jekel v sodobni industriji, predvsem s stališča izboljšanja kakovosti, v okviru omejenih možnosti pa tudi glede ekonomičnosti s stališča proizvajalca in potrošnika.

UVOD

Razlogi za uporabo posebnih metalurških postopkov¹ so lahko zelo različni in glede na izkušnje v praksi v toku časa lahko zelo različni. Tipičen primer za tak potek predstavlja približno 20-letni razvoj vakuumske metalurgije. Prva industrijska uporaba je bila namenjena predvsem zmanjšanju vsebnosti vodika za odpravo kosmičev v odkovkih. Kasneje je pridobila vakuumska dezoksidacija (CO — reakcija) nov cilj v zniževanju vsebnosti kisika, medtem ko je danes težišče predvsem v homogeniziranju taline, v zagotavljanju možnosti analiznih popravkov, kakor tudi v določeni reproduktivni tehniki dodatkov legirnih in dezoksidacijskih kovin. Popolnoma nove aspekte nudi vakuum-

ski metalurgiji vakuumsko žilavenje za doseganje najnižjih vsebnosti ogljika, kar je posebno pomembno pri transformatorskih ali dinamo pločevinah ter pri nerjavnih jeklih.

Kljub zelo hitremu uveljavljanju električnega pretaljevanja pod žlindro (EPŽ) v vsem svetu (slika 1) ni mogoče brez dobrega poznanja specialnih primerov uporabe z nedvomno gotovostjo trditi, kateri so bili glavni razlogi za industrijsko upo-



Slika 1
Razvoj letne proizvodnje in največje teže ingotov

rabo tega pretaljevalnega procesa. Izmed mnogih možnih razlogov za uporabo takega postopka smo v prikazu slike 2 izbrali nekaj najvažnejših argumentov.

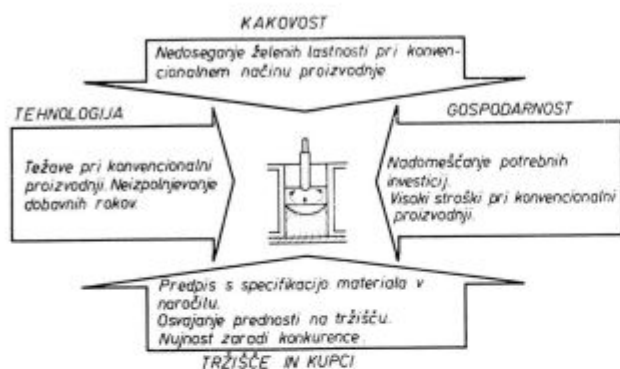
Kakor vemo po izkušnjah, je odločitev za izgradnjo EPŽ naprav odvisna od številnih razlogov, ki jih moramo istočasno po njihovi pomembnosti upoštevati. Nikakor ne moremo pri tem ločiti tehnično-kakovostne aspekte od ocen gospodarne učinkovitosti ter ukrepati samovoljno.

Spremembe lastnosti jekla

Prav številne metalurške podatke o EPŽ postopku obravnava obsežna literatura z rezultati preizkušanja pretaljenih izdelkov. Pretežno se na-

*Članek predstavlja skrajšani povzetek uvodnega predavanja, ki ga je imel prof. dr. — ing. habil. Manfred Wahlster, direktor firme Leybold-Heraeus GmbH. & Co. KG., Hanau, BRD na prvem jugoslovanskem posvetovanju »Električno pretaljevanje jekla pod žlindro« v prireditelji železarni Ravne in Metalurškega inštituta iz Ljubljane na Ravnah na Koroškem septembra 1973.

Članek je v sodelovanju z avtorjem prevedel in priredil za Železarski zbornik Jože Rodič, dipl. inž., Železarna Ravne.



Slika 2 Razlogi za uporabo EPZ postopka

našajo na manjše dimenzije ingotov, pri čemer moramo upoštevati možnost prenašanja ugotovitev na večje preseke ingotov.

Pretaljevanje jekla prav gotovo vodi k spremembam kakovostnih lastnosti², od katerih nekaj najpomembnejših podaja primerjalna tabela na sliki 3.

	Stabše	ENAKO	Boljše	Veliko boljše
Kakovost ingota Površina Poraznost in gostota Izplen			←←←←←	←←←←←
Kemijska sestava Osnovni elementi Vodik Kisik Žveplo Oligoelementi	←←←←←		←←←←←	←←←←←
Stopnja čistosti mikroskopsko makroskopsko			←←←←←	←←←←←
Struktura ingota Blokovne izceje Kristalne izceje	←←←←←		←←←←←	←←←←←
Mehanske lastnosti Trdnost Meja razteznosti Žilavost Izotropnost			←←←←←	←←←←←

x) Napake pretaljevanja!

Slika 3 Vpliv EPZ postopka na lastnosti jekla

Po teh podatkih je površina ingotov boljša, gostota ingota večja in izplen v primerjavi s konvencionalno izdelanimi ingoti precej izboljššan. Kemijska sestava jekla se lahko spreminja v obe smeri. Lahko oksidirajoči elementi kot silicij, aluminij ali mangan utrpijo izgube z odgorom, v kolikor nismo podvzeli posebnih ukrepov med pretaljevanjem ali v prilagajanju kemijske sestave elektrod za pretaljevanje. Isto velja za kisik in žveplo, kar pa je seveda z ozirom na kakovostne lastnosti vsekakor zaželeno. Ker postopek ne poteka v vakuumu, ni mogoče pri električnem pretaljevanju pod žlindro pričakovati znižanja vsebnosti nekaterih oligo elementov in vodika. Zaradi navze-manja vlage iz zraka ali zaradi tvorcev žlindre obstaja celo težnja k navzemanju vodika. Zaradi tega je praviloma pri večjih presekih ingotov

potrebno uporabiti elektrode iz vakuumiranega jekla. Najvažnejše izboljšave se nanašajo na mikroskopsko in makroskopsko stopnjo čistosti kakor tudi na zmanjšanje blokovnih in kristalnih izcej. Prav iz tega izhajajo predvsem mnogo boljše žilavostne lastnosti.

Ali sploh nastopajo in v kakšnem obsegu se pojavljajo spremembe lastnosti³ zaradi pretaljevanja v primerjavi s konvencionalno izdelanimi jekli, ni odvisno samo od kakovosti in lastnosti primerjanih vrst jekel, saj npr. tudi vakuumaska obdelava ali drugi posebni metalurški postopki zadoščajo za visoke kakovostne zahteve.

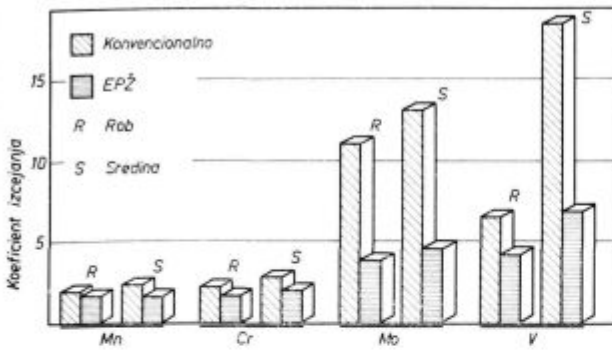
Blokovne izceje povzročajo predvsem pri velikih odkovskih proizvajalca in uporabniku jekla često zelo težko rešljive probleme. Tako npr. z normalno toplotno obdelavo ni mogoče doseči pričakovane strukture v mnogih področjih ingota, ki imajo prevelike razlike v kemijski sestavi.

Slika 4 prikazuje, da EPZ postopek skoraj popolnoma odstrani fenomen blokovnega izcejanja celo v območju večjih presekov pri strjevanju. Za primerjavo so podane vrednosti konvencionalno izdelanih velikih kovaških ingotov iz literaturnih podatkov. Se le tu pridejo prav do veljave prednosti električnega pretaljevanja pod žlindro. Tudi novejša metalurške tehnike litja, med katerimi je eden najuspešnejših postopek »after pouring«, ki ga je razvila japonska jeklarna v Murooran/Hokkaido, predstavlja sicer uspešno, vendar le prehodno rešitev za izdelavo velikih kovaških ingotov z zanesljivo in reproduktivno stopnjo blokovnih izcej. Problema enakomerne porazdelitve vključkov in preprečevanja večjih, pretežno ekso-genih oksidnih delcev tudi ta postopek ni mogel rešiti.

	Konvencionalno	„After pouring“	EPZ
V %	0,02	0,02	0,02
Si %	0,05	0,03	0,03
Mn %	0,06	0,05	0,04
P %	0,007	0,003	0,002
S %	0,008	0,004	0,003
Mb %	0,11	0,08	0,03
Cr %	0,17	0,10	0,05
Ni %	0,24	0,20	0,07
O ppm	100	70	20
C %	0,10	0,07	0,03

Slika 4 Blokovne izceje v težkih odkovskih (poprečne vrednosti za ingote težje od 70 t)

Zaradi fizikalnih procesov v območju likvidus — solidus na kristalizacijski fronti tudi pri EPZ postopku ni mogoče popolnoma preprečiti kristalnih — ali mikroizcej. V primerjavi s konvencionalno izdelanim jeklom pa so pri EPZ jeklu tudi kristalne ali mikroizceje precej manjše tudi v kakovostno kritičnih delih ingota kot npr. v sredini. Tipične podatke⁶ za ingote orodnega jekla za delo v vročem X 40 Cr Mo V 5.1 prikazuje slika 5. Stop-



Slika 5

Razmerje izcej v orodnem jeklu za delo v vročem W. Nr. 2343/X40 CrMoV 5. 1/C. 4751/utop Mol.

njo izcejanja podaja razmerje med maksimalno in minimalno koncentracijo nekega elementa, določeno z elektronskim mikroanalizatorjem.

Nadaljnje podrobnosti o izboljšanjih, doseženih z EPZ postopkom, posebno glede uporabnosti lastnosti in mehanskih vrednosti bomo v nadaljnji obravnavi pregledali za posamezne vrste jekel.

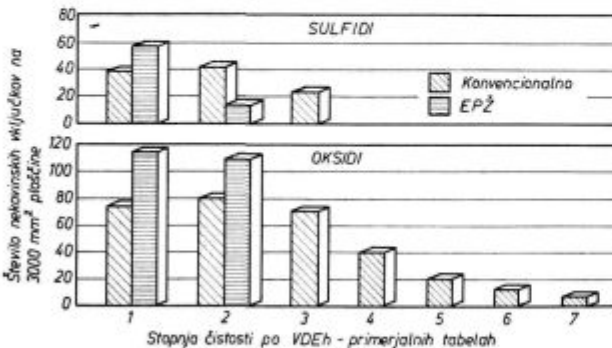
PRIMERJALNE PREISKAVE EPZ JEKEL IN KONVENCIONALNO IZDELANIH JEKEL

V sledečem bomo na kratko obravnavali tipične spremembe in izboljšave, ki jih dosegamo z EPZ jeklom v primerjavi s konvencionalno izdelanim jeklom. Podrobnejše podatke lahko dobimo iz literature, ki je navedena v tabeli 3 k zaključkom.

Valji za hladno valjanje

Za hladno valjanje jeklenih 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 valjanec, ali pa povzročajo celo izmeček.

Doslej zbrane izkušnje v industrijskem obsegu so pri EPZ valjih z območjem premerov od 200 do 800 mm pokazale odlične rezultate. Izboljšana stopnja čistosti (slika 6) omogoča zmanjšanje potreb-



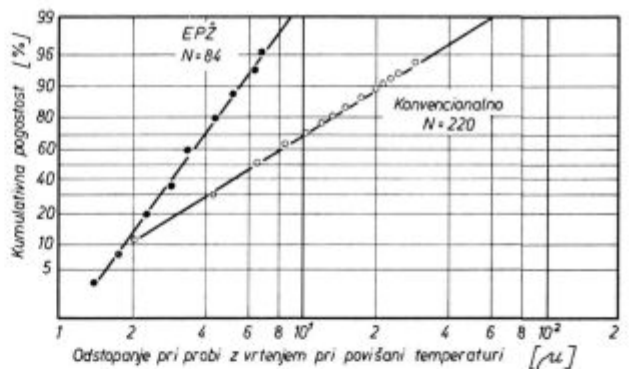
Slika 6

Število in velikost nekovinskih vključkov v valjih za hladno valjanje (jeklo: W. Nr. 2304/85 CrMo 7/C. 4740/OHV 4)

nega brušenja pri ponovni obdelavi površine, s čimer pa 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 najprimernejših parametrov pretaljevanja pod zlindro skoraj popolnoma rešiti.

Kalander valji

Najpomembnejše zahteve pri visoko vrednih kalander valjih⁷ so zvezane z najvišjo čistostjo in z lastnostmi pri vrtenju na povišani temperaturi — npr. za vlečenje in oblaganje tehničnih magnetnih trakov. Zahteve so včasih tako visoke, da jih s konvencionalno izdelanimi valji skoraj ni mogoče gospodarno realizirati. Brez kakršnega koli izmečka je uspelo podjetju Rheinstahl v Hattingenu v zadnjih letih izdelati več sto kalander valjev za ekstremne zahteve potrošnikov glede polirne sposobnosti in kakovosti površine. Pri tem je še posebno pomembna struktura strjevanja, ki je popolnoma simetrična z ozirom na os (enakomerne horizontalne in vertikalne izceje) EPZ ingotov. Tako je omogočena izredno enakomerna mehanska obdelovalnost in poboljšanje.



Slika 7

Vpliv pretaljevanja na obnašanje kalander-valjev ob vrtenju pri povišani temperaturi

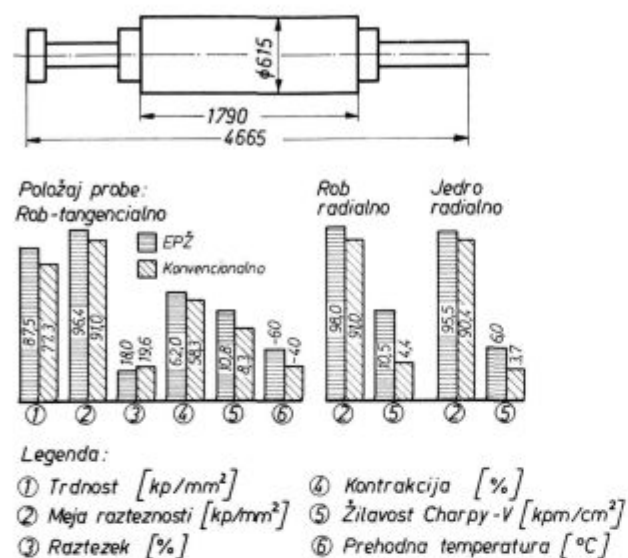
Iz vrednotenja obnašanja pri vrtenju na povišani temperaturi kalander valjev, ogretil na 200° C (slika 7), kaže, da so vsi EPZ valji zadovoljevali maksimalno dopustno najvišjo vrednost odstopanja 10 mikronov, medtem ko jih od konvencionalno izdelanih kalander valjev zadovoljevalo zahtevo le 70 %.

ROTORJI

Induktorske osi:

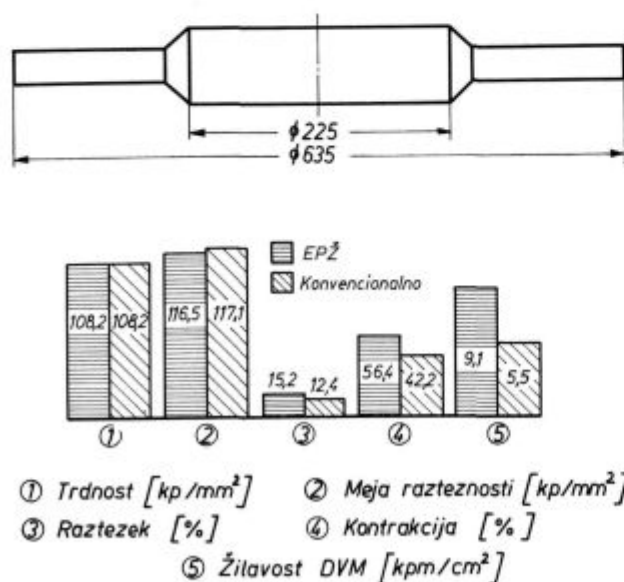
Zaradi visokih obremenitev je uporaba pretaljenega jekla za turbinske in generatorske osi posebno interesantna. Od različnih posebnih metalurških postopkov, ki so se uveljavili, upoštevajoč tudi posebne postopke litja, nudi glede porazde-

litve vključkov⁸ 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 z določenimi vplivi. Primerjava mehanskih lastnosti tangencialnih in radialnih prob iz zunanega dela (slika 8)



Slika 8
 Primerjava mehanskih lastnosti rotorjev
 (Jeklo: 28 NiCrMoV 14.5)

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 pa je pri konvencionalnem jeklu proti jedru vse manjša in na tem mestu pade na polovico onih



Slika 9
 Primerjava mehanskih lastnosti turbinskih kolutov (Jeklo: W. Nr. 6582/34 CrNiMo 6/C. 5431/VcNMo 150)

vrednosti, ki jih dobimo ob površini. V splošnem padajo žilavostne vrednosti tudi pri EPZ jeklu proti jedru, vendar je ta padec mnogo manj izražen in izhaja od višjih absolutnih vrednosti. Pri določanju 20⁰ C nižje prehodne temperature je treba upoštevati, da je bilo poboljšanje zaradi sposobnosti primerjave reducirano na presek 1500 mm.

Turbinski koluti:

Podoben rezultat so dale tudi preiskave turbinskih kolutov iz jekla 34 CrNiMo 6 (slika 9). Poleg razlik v udarni žilavosti zaslužijo posebno pozornost izboljšave, ki jih dosežemo z električnim pretaljevanjem pod žlindro pri raztežku in kontrakciji.

Generatorski rotorji:

Kot dopolnitev k tem informacijam iz proizvodnje rotorjev v Hattingenu lahko omenimo še novejšo podatke M. Kroneisa in sodelavcev⁹ o preiskavi 8,9 t — generatorskega rotorja iz EPZ jekla v primerjavi z rotorjem, izdelanim iz vakuumirane jekla. (Slika 10) Pri raztežku in kontrakciji so ugotovljene razlike, ki pa ne pridejo posebno do izraza. Absolutne vrednosti zarezne udarne žilavosti so precej višje, posebno pa pride do izraza prehodna temperatura, ki je pri odkovku iz EPZ jekla približno za 20⁰ C nižja.

Rotorji plinskih turbin:

Tudi na področju jekel obstojnih na povišanih temperaturah so ugotovljene zelo ugodne izkušnje z EPZ jeklom (slika 11). Pri enakem postopku poboljšanja in praktično enakih žilavostnih lastnosti kažejo pretaljeni bloki za rotorje plinskih turbin približno 15 kp/mm² višjo mejo razteznosti oz. približno 10 kp/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. 15 kp/mm² pri 400⁰ C in 5,6 kp/mm² pri 700⁰ C. To pomeni vsekar povišanje za 30 do 40 %.

Utopi:

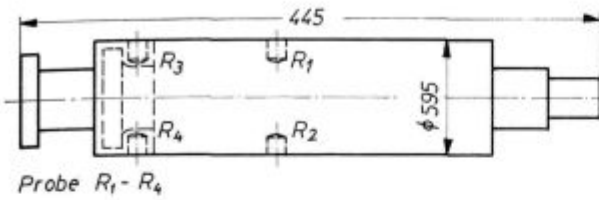
Največje kakovostne zahteve pri utopih predstavlja zadovoljiva žilavost, enakomerna obdelovalnost in odlična sposobnost za poliranje. Povečanje obstojnosti orodja lahko dosežemo s poboljšanjem na nekoliko višjo trdnost, ker so EPZ jekla manj nagnjena h krhkosti. Tehnične prednosti uporabe EPZ jekel za utope prikazuje slika 12. Zelo majhna anizotropnost žilavosti in mnoge dosedanje izkušnje kažejo, da lahko utope ali druga orodja pri stiskanju z uspehom izdelamo iz EPZ ingotov v nepredelanem stanju.

Mehki magneti:

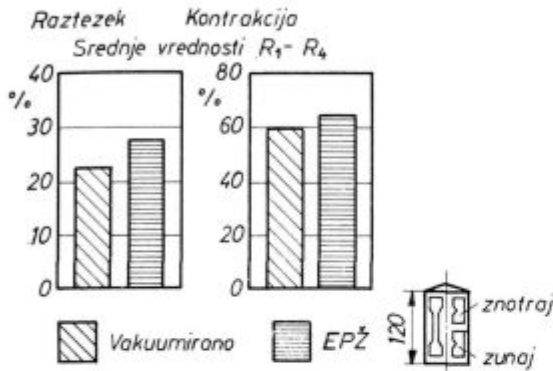
Za velike pospeševalnike se zahteva homogenost plošč za polske čevlje. Poleg določene kemijske sestave uporabljane jekla se zahteva tudi izred-

Sestava v ut. %

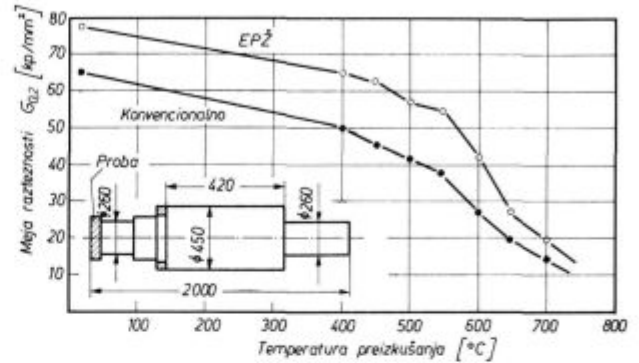
C	Si	Mn	Mo	Ni	V
0,22	0,25	0,35	0,34	3,10	0,07



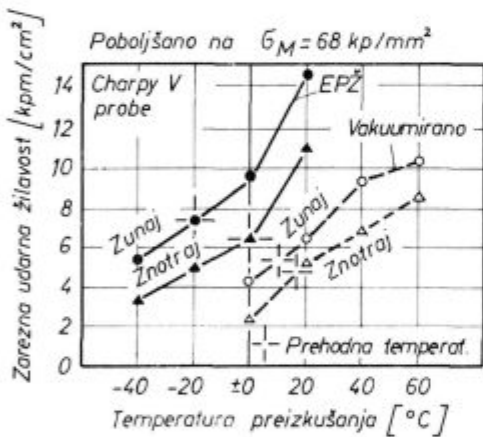
Probe R₁-R₄



lastnosti privede do optimalnih rezultatov. Pri spoznavanju najpomembnejših vplivov na kakovostno stopnjo te skupine jekel zavzema vsekakor stopnja čistosti in lita struktura odločujoč pomen. Na osnovi novejšje, zelo obsežne literature⁶ lahko navedemo le nekaj primerov, ki so prav enako interesantni za proizvajalca, predelovalca in uporabnika.



Slika 11 Natezni preizkus v vročem za rotor plinske turbine (Jeklo: X20 CrMoV 12.1)



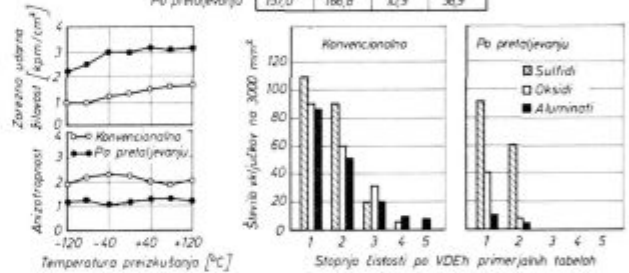
Slika 10 Primerjava mehanskih lastnosti 8,9 t generatorskega rotorja

no nizka vsebnost oligoelementov in čim manjše razlike v velikosti zrna, visoka stopnja čistosti in minimalne mikroizceje. Vse to je odločilnega pomena za doseganje karakterističnih magnetnih lastnosti. Raziskave oblik polja¹⁰ na oddaljenosti 4 mm od površine polskega čevlja v več x- in y-smerih (slika 13) potrjujejo pričakovane primerjalne odnose pri uporabi EPZ jekla. Dodatno se dosežejo tudi nekoliko višje vrednosti indukcije v primerjavi s konvencionalnim jeklom.

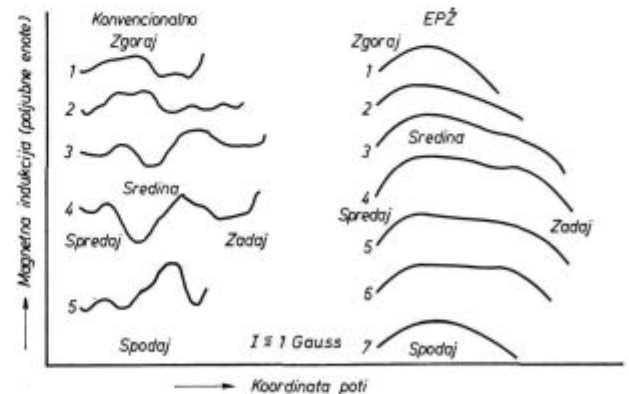
Orodna jekla in jekla za kroglične ležaje

Orodja in kroglični ležaji so pri uporabi večkrat izpostavljeni izrednim obremenitvam in dokaj zapletenim odnosom različnih lastnosti. V takih primerih šele natančno orientirana kombinacija

σ_T	σ_M	σ	ψ	
kp/mm ²				
Konvencionalno	143,0	160,7	10,8	41,9
Po pretaljevanju	157,0	166,8	10,9	38,9



Slika 12 Vpliv pretaljevanja na kakovost orodnega jekla za utope (Jeklo: 55 NiCrMo 6.4)

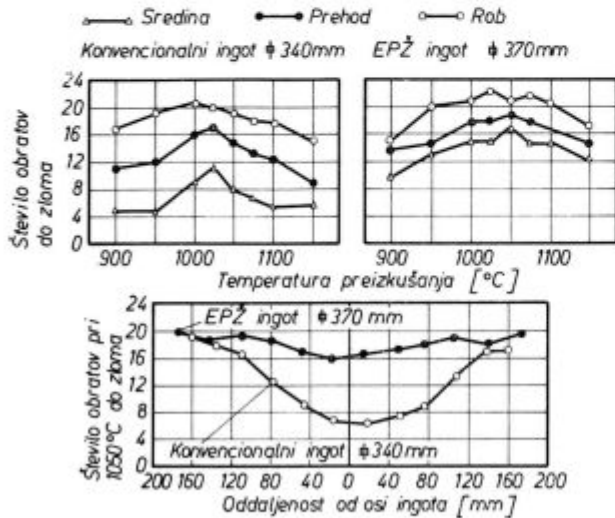


Slika 13 Potek linij polja pred ploščo polskega čevlja

Orodna jekla za delo v vročem

Zaradi težavne predelave, ki je značilna za to skupino orodnih jekel, ima sposobnost za vroče preoblikovanje tako tehničen kot gospodarni po-

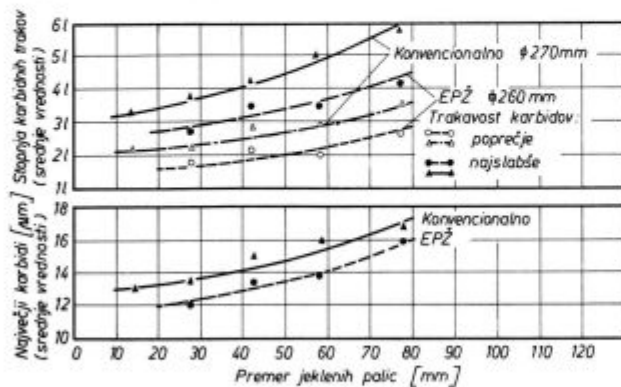
men. Podatki torzijskega poizkusa v vročem (slika 14) kažejo boljše predelavno sposobnost EPZ jekel in manjše razlike med vrednostmi ugotovljenimi s probami iz roba in sredine. Tudi najmanjša potrebna stopnja predelave za doseganje potrebne gostote in mehansko tehnoloških lastnosti po vsem preseku bloka in v prečni smeri je lahko pri EPZ ingotih znatno manjša.



Slika 14 Poizkus torzije v vročem za ugotavljanje predelovalne sposobnosti orodnega jekla za delo v vročem — v litem odn. nepredelanem stanju (Jeklo: W. Nr. 2343/X40 CrMoV 5.1/Č. 4751/utop Mo 1)

Brzorezna jekla

Večkrat srečamo v publikacijah omenjeno izboljšano stopnjo homogenosti EPZ brzoreznic jekel v primerjavi s konvencionalno izdelanimi brzoreznimi jekli. Te ugotovitve so bile večkrat potrjene tudi s kvantitativnim izrednotenjem razporeditve karbidov in velikosti karbidnih zrn, kar prikazuje tudi slika 15 za valjano brzorezno jeklo. Krivulje na tej sliki prikazujejo poprečno vrednost in oceno najslabšega mesta za karbidno trakavost kakor tudi za največjo velikost karbidov. Ti podatki izhajajo iz kontrole v tekoči proizvodnji

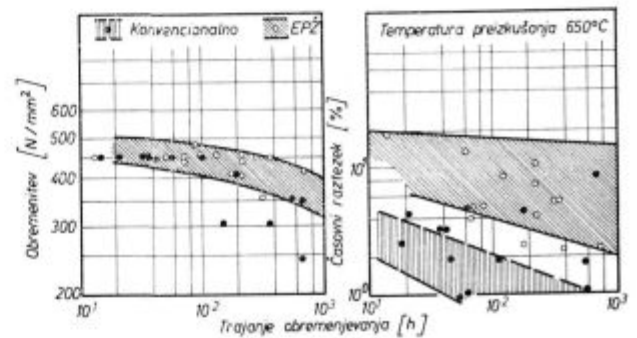


Slika 15 Trakavost karbidov in velikost karbidov valjanega brzoreznega jekla tipa 6-5-2 (po Stahl-Eisen-Prüfblatt 1615-59)

jekla tipa 6 — 5 — 2, pri čemer pa je treba upoštevati, da je problematika pri brzoreznicah jeklih dokaj kompleksna in kakovostne lastnosti v veliki meri zavisijo od optimalne uskladitve vseh tehnoloških parametrov tako pri pretaljevanju kot pri predelavi in toplotni obdelavi.

Ognjeodporna avstenitna jekla

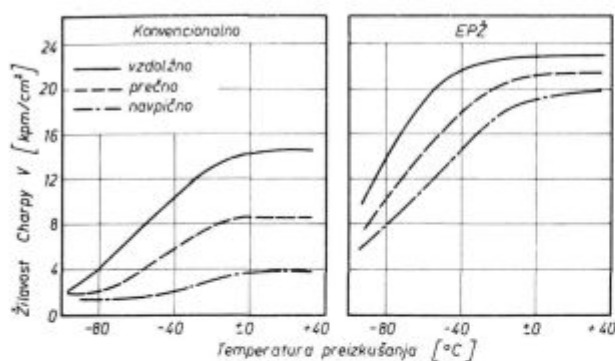
Avstenitna ognjeodporna jekla se izdelujejo podobno kot 12 % — kromova jekla v električnih obločnih pečeh. Šele z izdelavo velikih odkovkov¹¹ se je izkazala potreba pretaljevanja teh vrst jekel. Jeklo X 5 NiCrTi 26.15 je tipičen predstavnik te skupine jekel in zato so zanj na sliki 16 prikazane lastnosti ugotovljene s preizkušanjem trajne trdnosti. Slika jasno prikazuje prednosti, ki jih EPZ postopek na tem področju nudi. Pri klasičnem taljenju tega jekla na zraku je jeklo onečiščeno z gnezdi titanovih nitridov, obdanih z oksidno oblogo. S pretaljevanjem ni samo izboljšana stopnja čistosti, ampak so dosežene tudi pomembne tehnološke lastnosti z višjo trajno trdnostjo.



Slika 16 Trajnostne lastnosti jekla X5 NiCrTi 26.15

Pločevine

Kljub dejstvu, da razpolaga samo Sovjetska zveza z več ducati EPZ 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 EPZ 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 z ozirom na smer valjanja. Tudi sposobnost za varjenje je lahko pri EPZ jeklu precej boljše, posebne pomena pa je reševanje problemov izcejanja v srednjem delu kakor tudi lokalne koncentracije sulfidnih vključkov. Podatki za 25 mm pločevine finoizrnatega jekla St 52-3 za jeklo različnega izvora kažejo glede žilavosti pomembne izboljšave pri EPZ postopku, ki so za konstrukterja



Slika 17

Vpliv pretaljevanja na žilavost finoizrnatnega jekla (debelina pločevine 25 mm)

velikega pomena (slika 17). Pri tem je predvsem zmanjšanje anizotropnosti najpomembnejša kvaliteta izboljšava, seveda poleg absolutno višjih vrednosti žilavosti.

Gospodarnost

Če ugotovljamo, da je širjenje uporabe EPŽ postopka v jeklarski industriji nekako obotavljajoče, se samo po sebi postavlja vprašanje po vzrokih takega razvoja. V veliki meri lahko pri tem pomembno vlogo pripisujemo konservativnosti proizvajalcev in uporabnikov jekla. Še važnejše pa izgledajo pač okoliščine, da se EPŽ postopek preveč enostransko obravnava z gledišča

Tabela 1: Primerjava proizvodnih stroškov za konvencionalno tehnologijo in EPŽ postopek
TURBINSKI ROTOR 4,2 t

Konvencionalna izdelava			EPŽ — postopek
DM	9.876	(12,0 t) Vložek (8,8 t)	7.242 DM
—	—	Stroški pretaljevanja (400 DM/t)	3.520
—	1.383	(4,2 t) Vrednost odpadka (1,0 t)	— 320
	8.493	— povratnega starega železa	
		Surovi ingot	10.442
		(Ogrevanje)	
		(Kovanje)	
	3.720	(Kontrolirano ohlajevanje)	3.720
	12.213		14.162
		(Mehanska obdelava)	
		(UZ — preiskave)	
	6.450	(Poboljšanje)	6.450
	18.663		20.612
	1.680	(9 %) Izguba pri končnem prevzemu (4,5 %)	928
	20.343		21.540

VALJ ZA HLADNO VALJANJE 4,6 t

Konvencionalna tehnologija (iz 10-tonskega ingota)			EPŽ — postopek (iz 22,5 t bloka za 4 valje)
DM	4.411	(8,6 t) Vložek (7,0 t)	3.591 DM
—	—	Stroški pretaljevanja (400 DM/t)	2.800
—	293	(2,1 t) Vrednost odpadka (0,6 t)	— 83
	4.118	— povratnega starega železa	
		Surovi ingot	6.474
		(Ogrevanje)	
		(Kovanje — reducirano)	
	3.122	(Kontrolirano ohlajevanje)	1.962
	7.240		8.436
		(Mehanska obdelava)	
		(UZ — kontrola)	
	11.086	(Poboljšanje)	11.086
	18.318		19.522
	1.465	(8 %) Izguba pri končnem prevzemu (4 %)	780
	19.783		20.202

kvalitetnega izboljšanja, medtem ko se aspekti gospodarnih možnosti tega postopka komaj obravnavajo, največkrat pa tudi zelo napačno.

Tabela 1 kaže dva primera primerjave stroškov za izdelavo 4,2 t turbinskega rotorja in 4,6 t valja za hladno valjanje. Ta primerjava glavnih postavk med konvencionalno izdelavo in EPŽ postopkom nam jasno kaže, kje so glavne razlike. Slaba stran glede stroškov je pri EPŽ jeklu seveda v dodatnih stroških pretaljevanja, kar pa predvsem pri večjih blokih lahko v veliki meri kompenziramo z boljšim izplenom (manjšo količino vložka) kakor tudi z zmanjšanjem tveganja za izmeček. Zmanjšana stopnja predelave, zaradi katere lahko pri kovanju večkrat celo opustimo krčenje ingotov, kakor tudi izboljšave pri toplotni obdelavi in poenostavitve na področju kontrole kakovosti v toku celotnega procesa predstavljajo lahko tudi zelo pomembne pridobitve, ki pa v tem pregledu niti niso upoštevane.

Posamezne kalkulacije za določanje dobrih in slabih strani uporabe EPŽ postopka glede na stroške so predvsem pri proizvajalcih z zelo širokim kvalitetnim programom dokaj težavne in zamudne. Danes pa že razpolagamo z novjšimi osnovami za tako izračunavanje s pomočjo uporabe nomogramov, pri čemer lahko z razmeroma majhnim trudom izračunamo, kje lahko konvencionalni postopek izdelave popolnoma ali pa delno zamenjamo z EPŽ postopkom. V kolikšni meri stroške

pretaljevanja za EPŽ ingot lahko kompenziramo s prihranki pri materialnih stroških in stroških nadaljnje predelave ali pri stroških zmanjšane izdelke, zavisi predvsem od določenih okoliščin pri posameznih proizvajalcih in za posamezne izdelke. S pomočjo zgoraj omenjenih diferenciranih računskih operacij lahko ob določenih osnovnih podatkih, ki jih moramo poznati, celotne stroške v primerjavi med EPŽ in konvencionalnim postopkom dokaj natančno določimo.

Tabela 2 vsebuje za nekaj izbranih tipičnih odkovkov po omenjenem načinu izračunane celotne proizvodne stroške upoštevajoč tri različne nivoje stroškov pretaljevanja 250, 350 in 450 DM/t, ki so navedeni v zadnjih treh kolonah. Tu so podani relativni proizvodni stroški ob upoštevanju stroškov konvencionalne tehnologije kot 100 %. Ob upoštevanju glavnih ugotovitev so večletne proizvodne izkušnje pri Rhein Stahl-Hüttenwerke AG v Hattingenu pokazale, da v območju ingotov do 10 t v veliki meri lahko pri določenih izdelkih dosežemo izenačene stroške za izdelavo odkovkov iz EPŽ jekla in konvencionalno izdelanega jekla. Ta ugotovitev je v enem od novjših ameriških poročil¹³ potrjena tudi za področje proizvodnje debele pločevine.

Predpogoj za doseganje take gospodarnosti EPŽ postopka pa je visoka časovna izkoriščenost naprave in konsekvantno izkoriščanje vseh material-

Tabela 2: Primerjalna kalkulacija tipičnih odkovkov

Kovani izdelek	Vrsta jekla	Gotovi kovani izdelek v stanju dobave		Relativni proizvodni stroški EPŽ/konvencionalno jeklo v % (konv. = 100 %)						
		Teža t	Vrednost ca. DM/t	po tehnoloških fazah pri stroških pretaljevanja 450 DM/t				celotni proizvodni stroški v % pri stroških pretaljevanja DM/t		
				Material	Kovanje	Obdelava	Izmeček	250	350	450
Paličasto jeklo 400 mm Ø	X20Cr13	1—5	1650	162	98	100	66	112	119	126
Obroč	100Cr6	6,7	3750	177	99	100	57	108	113	118
Obroč	X5CrNi18.9	20,2	10450	106	96	100	65	90	93	96
Valj za hladno valjanje	80Cr7	4,6	5400	163	46	100	68	97	100	103
Kalander valj	65Cr6	7,7	7500	172	48	98	50	98	100	102
Rotor	X20CrMoV12.1	1	7150	142	84	96	57	98	101	104
Rotor	25NiCrMo14.5	8	5700	140	71	100	57	97	101	105
Rotor	28NiCrMo7.4	11	7050	120	30	100	41	84	90	96
Rotor	25NiCrMo14.5	15	5400	136	69	100	57	96	100	104
Rotor	28NiCrMo7.4	44	5950	119	60	100	53	87	91	95
Rotor	28NiCrMo7.4	68	5400	136	57	100	55	90	94	99
Rotor	28NiCrMo7.4	117	6600	125	81	100	54	89	93	97

Tabela 3: Izboljšanje kakovosti z uporabo EPŽ postopka

Izdelek	Vrsta jekla (tipičen primer)	Vzrok izmečka Problemi pri konvencionalni izdelavi	Izboljšave z EPŽ postopkom	Literatura
Valj	80 Cr Mo 7	Nemetalni vključki. Luščenje na površini.	Zanesljivo doseganje najvišje trdote pri in- dukcijskem globljem kaljenju. Večja izdrž- ljivost.	7., 8.
Kroglični ali valjni ležaj	100 Cr 6 100 Cr Mo 85	Garantirana čistost na delovni površini. Na- pake pri UZ kontroli.	Izboljšanje karbidnih izcej. Manjša občutljivi- vost za razpoke pri ka- ljenju.	6.
Rotorji Turbinske in generatorske osi	26 Ni Cr Mo V 14.5 30 Ni Cr Mo V 5.11 X20 Cr Mo V 12.1	Nekovinski vključki, poroznost jedra, oblo- ge na mejah zrn.	Odpade vmesno odla- ganje, velik del čišče- nja, odpade krčenje. Večja žilavost in nižja prehodna temperatura.	8., 14.
Turbinski rotorji	34 Cr Ni Mo 6	Nekovinski vključki. Velika predelava. Ob- čutljivost na centralno poroznost.	Znatno zmanjšanje iz- mečka. Enakomernej- še mehanske vrednosti. Visoka žilavost.	8., 14.
U t o p i	50 Cr Mo 4 55 Ni Cr Mo V 6 56 Ni Cr Mo V 7	Nezadovoljiva sposob- nost za poliranje in mehansko obdelavo	Možna je uporaba v nepredelanem stanju. Višja trdota pri enaki žilavosti.	8.
Orodno jeklo za delo v vročem	X40 Cr Mo V 5.1	Prenizka prečna žila- vost pri veliki stopnji predelave, nagnjenje k izraziti trakavosti v vzdolžni smeri.	Visoka trdnost po po- boljšanju pri enaki ži- lavosti.	6.
Brzorezno jeklo	S 6-5-2	Nezadovoljiva stopnja homogenosti. Slaba predelavnost v vročem.	Dobra predelavna spo- sobnost pri višji vseb- nosti ogljika. Enako- merne karbidne izceje.	6.
Nerjavna jekla	X 2 Cr Ni 189	Nezadovoljiva sposob- nost poliranja in ne- ustrezna kakovost po- vršine. Slaba čistost.	Visoka korozijska ob- stojnost. Izboljšana stopnja čistosti glede nitridov. Visoka žila- vost.	11.
Ognjeodporna jekla	X17 Cr MoV Nb 12.1	Nezadovoljiva stopnja čistosti. Visoka vseb- nost delta-ferita in ne- homogenost.	Izboljšana izdržljivost. Natančna sestava in vi- soka stabilnost struk- ture.	11.
Visoko-trdna jekla za poboljšanje	X38 Cr Mo V 5.1 X41 Cr Mo V 5.1	Nemetalni vključki. Neustrezna žilavost v prečni smeri.	Manjša stopnja prede- lave. Večji izkoristek ingota in manjša ob- čutljivost za zarezje.	13. 14.
Debela pločevina	St 52/3 20 Ni Cr Mo 36	Nekovinski vključki. Izcejanje v sredini. Dvoplastnost. Sposob- nost za varjenje.	Višja žilavost. Manjša anizotropnost in homo- gena porazdelitev me- hanskih vrednosti.	3.

nih 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 plača.

Zaključki

V zadnjem desetletju se je EPŽ postopek v industrijskem merilu močno uveljavil in delno celo izpodrinil vakuumsko elektro obložno peč. Pregled najvažnejših izkušenj s pretaljenimi izdelki ali vrstami jekla podaja tabela 3. Visoki stopnji poznavanja EPŽ postopka in zbranim ugodnim izkušnjam se v razvoju z zavirajočo vlogo zoperstavlja predvsem konservativnost jeklarske industrije, zaradi česar je v celoti širjenje tega postopka precej počasnejše kakor bi bilo mogoče in upravičeno. Največja pomanjkljivost je pri tem nepoznavanje gospodarnih možnosti in realnih ocen za konsekventno uporabljane EPŽ naprave. Pri odločanju o uporabi EPŽ postopka se največkrat enostransko upoštevajo povečani stroški, ki odločajo o ceni EPŽ ingotov kot dražjega vložka za nadaljnjo predelavo. Te povečane stroške se skuša opravičiti z boljšo kakovostjo in daljšo življenjsko dobo konstrukcijskih delov ali orodij, pozablja pa se na možnosti kompenziranja stroškov z vsemi

ostalimi vplivnimi faktorji od spremenjene materialne bilance do številnih ugodnih sprememb v posameznih fazah tehnološkega postopka.

Literatura

1. M. Wahlster und H. Spitzer: Stahl und Eisen 92 (1972) S. 961/972
2. M. Wahlster: Neue Hütte 16 (1971) S. 611/614
3. M. Wahlster: Rheinstahl Technik 9 (1971) S. 83—90
4. H. Löwenkamp, A. Choudhury, R. Jauch, F. Regnitter: Stahl und Eisen 93 (1973) S. 625—635
5. H. Löwenkamp: Sixth International Forgemasters Meeting 1—6. Oct. 1972, Cherry Hill, N. J. USA
6. A. Randak, A. Stauz, W. Verderber: Stahl und Eisen 92 (1972) S. 981/993
7. H. J. Klingelhöfer, A. Choudhury: Rheinstahl Technik 1 (1970) S. 20/24
E. Königer: Revue de métallurgie 6 (1970) S. 515/522
8. E. Zimmermann, E. Königer, W. Poettering: Radex-Rundschau 5 (1971) S. 563/576
9. M. Kroneis, E. Krainer, H. Hojas, Th. Kamletz: 5. Internationale Schmiedetagung 6.—9. 5. 1970, Terni/Italien
10. W. Schwermann: Unveröffentl. Forschungsbericht der Rheinstahl Hüttenwerke AG., Hattingen
11. H. Spitzer: Stahl und Eisen 92 (1972) S. 994/1002
12. M. Wahlster und E. Zimmermann: Sixth International Forgemasters Meeting 1.—6. Oct. 1972, Cherry Hill, N. J. USA
13. R. Irving: Iron Age 12 (1972) S. 50/52
14. E. Plöckinger: Stahl und Eisen 92 (1972) S. 972/981

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Artikel ist ein Einführungsvortrag auf der ersten jugoslawischen Beratung über das Elektroschlackeschmelzverfahren, welche von dem Hüttenwerk Ravne im September 1973 veranstaltet wurde. Deshalb ist in der Einleitung eine kurze Übersicht über die Entwicklung des ESU Verfahrens mit den Grunddaten über die Eigenheiten und Anwendungszweck desselben gegeben. Es sind besonders die Änderungen der Qualitätseigenschaften dieser Stähle und eine Vergleichung des ESU Verfahrens mit den konventionellen und Vakuumverfahren für die Stahlerzeugung behandelt. Besonders bedeutend sind die Änderungen der chemischen Zusammensetzung, des Reinheitsgrades des Makro- und Mikrogefüges. Einige Beispiele der

typischen Werkzeugstahlorten für die Warm- und Kaltbearbeitung sind angegeben.

In Form kurzer Informationen sind die Ergebnisse der Vergleichsuntersuchungen zwischen dem ESU Stahl und dem konventionellen Stahl, besonders für einige Fertigerzeugnisse angegeben: Kaltwalzen, Kalander Walzen, Rotoren, Induktorachsen, Turbinenscheiben, Teile der Generatoren und Gasturbinen, Gesenke, Weichmagneten, Werkzeugstähle, Kugel und Wälzlagerstähle, Warmarbeitsstähle, Schnelldrehstähle.

An einigen praktischen Beispielen wird vom ökonomischen Gesichtspunkt die Bewertungsweise für die Anwendbarkeit des ESU Verfahrens vom Standpunkt des Erzeugers und des Verbrauchers anschaulich behandelt.

SUMMARY

The paper represents the plenary paper to the Yugoslav Conference on «Electric Slag Remelting of Steel» which was organized by Ravne Ironworks in September 1973. Therefore a short review on development of ESR process with basic informations on main characteristics and applicability was given. A special emphasis was given to change of quality properties of steel and to comparison of ESR process with the other common processes of steelmaking using vacuum or not. Especially important are changes of chemical composition, purity, macro- and micro-structure. Some examples of typical tool steels for hot and cold working were used as an illustration.

Results of comparative investigations between ESR steel and normally made steel, especially for some final products (rolls for cold rolling, calander rolls, rotors, inductor axes, turbine blades, parts of generators and gas turbines, dies, soft magnets, tool steels, steels for ball bearings and roll bearings, tool steels for hot working, high speed steels, heat resistant austenitic steels, sheet) were presented as short informations.

Some practical examples give a very evident picture on economic aspects and the way how to estimate the applicability of ESR process with the respect to profitability from the viewpoint of the manufacturer and the consumer.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статья даёт итог вступной лекции первого югославского совещания о: «Электрическая переплавка стали под шлаком», которое организовал Металлургический завод, Равне, в сентябре 1973 г. Рассмотрено развитие ЕПЖ-способа, включая основные характеристики и назначения способа. Рассмотрены качественные изменения стали и сравнение ЕПЖ-способа с обычными способами производства стали, а также с характеристиками стали произведённой вакуумированием. Особое значение имеет изменение химического состава, степени чистоты и макро- и микро-структуры стали. Приведено несколько примеров применения этого способа при производстве некоторых типовых марок инструментальной стали для горячей и холодной переработки.

В форме коротких информации даны результаты сравнения ЕПЖ-стали с сталями полученными обыкновенными способами, в особенности когда эта сталь предназначена для некоторых конечных изделий больших качественных требований, и. пр.: валки для холодной прокатки, каландр-валки, роторы, оси для индукторов, пластины для турбин, составные части для генераторов и газовых турбин, сталь для штамповки, для ролико- и шарикоподшипников, инструментальная сталь для горячей работы, аустенитная жаростойкая сталь, сталь для листового проката.

На несколько примеров из промышленной практики весьма наглядно рассмотрены экономические аспекты и способ оценки применения ЕПЖ-способа, что касается рентабельности с точки зрения производителя и потребителя.