

Jelerčič Rado, dipl. inž.
Dobovišek Milan, dipl. inž.
Železarna Ravne

ASM/SLA: D9s.Ar
DK: 669.046.517

Uporaba argona za prepihanje jeklene taline

Članek obravnava uporabo argona za prepihanje jeklene taline v ponovci. Navaja teoretične osnove in praktične izkušnje, metode in rezultate vpihanja argona skozi talino ter stroške v N din/tono.

UVOD

Prvi koraki o uporabi argona za prepihanje so razmeroma stari in segajo v obdobje ob drugi svetovni vojni ter so imeli namen povečati proizvodnjo, ako bi se efekt kontakta jekla z žlindro povečal.

Uporabljali so argon pri pihanju v pečeh in deloma tudi v ponovcah. Vsi ti poizkusi so bili neuspešni predvsem zaradi

- Velike količine nečistoč v argonu, ki je vseboval preveč kisika in metana,
- zaradi neosvojenega načina pihanja v talino ter zaradi majhne količine plina.

Lotili so se poizkusov predvsem na tistem področju, kjer se zahtevajo velike količine plina, tega pa so s takratnimi napravami pridobivali še zelo malo. Pihanje v talino jim je nasploh povzročalo nemalo težav, imeli so prevelik ali premajhen pritisk, pihali so s kopjem; v peči se gibanje taline na ta način ni dalo usmeriti; kopja so hitro odgorevala in se kvarila.

Ponovni intenzivni poizkusi z uporabo argona so sledili okoli leta 1960 in do danes zavzeli tako velik obseg in izpopolnitev, da se je argon po količini uporabe uvrstil na tretje mesto med tehničnimi plini, ki se uporabljajo v železarnah, v mnogih jeklarnah pa celo na drugo mesto.

Danes se argon uporablja za prepihanje tekočega jekla v ponovcah, za zaščitno atmosfero v valjarniških pečeh, za vakuumiranje jekla, za varjenje, za transport zrnatih materialov itd. Zelo

velika količina argona se uporablja tudi pri vakuumiranju, kjer služi kot sredstvo za premešavanje taline. Komorni princip vakuumiranja se je le po zaslugi uporabe argona razširil tudi na težje šarže nad 15 ton. Tako so stare vakuumske komore povečali, dvignili in vanje vlagajo danes znatno večje ponovce ter njihovo talino uspešno vakuumirajo predvsem po zaslugi dobro premešanih šarž z argonom. Najnovejša je metoda, ki uporablja argon za vpihanje zrnatih dodatkov v peč, zaradi hitrejšega odžveplanja in odfosforanja. Argon služi tu kot transportni medij in zaščita pred oksidacijo in navlaženjem zrnatih dodatkov. V zahodni Evropi že obratuje nekaj takih naprav zelo uspešno.

OSNOVNI POJMI O ARGONU

Argon je plemeniti plin ter je bil prvi odkrit med plemenitimi plini. Odkril ga je Lord RAYLEIGH leta 1894 ob sodelovanju še nekaterih kemikov, imenovali so ga »ERGON«, kar pomeni neaktiven. Argon je enoatomski plin brez vonja in barve, se ne veže v nobene spojine in še celo toploto slabo prevaja. Podatki so:

Ar — argon	atom. teža	39,944
	gostota pri 760 Torr	1,380
	temperatura topljenja	— 189,37 °C
	specifična toplota pri 15 °C in	
	760 Torr je	0,125 cal/gram
	kritična temperatura	— 117,6 °C
	kritični tlak	— 52,3 at
	temperatura vretja	— 185,88 °C
Visoko čisti argon ima naslednjo sestavo:		
Ar		99,9995 %
O ₂		0,0001 %
N ₂		0,0003 do 0,0005 %
CH ₄		0,0001

Vsota vseh nečistoč v argonu ne sme presegati 0,0005 do 0,0006 %. Pri tehničnem argonu so količine nečistoč znatno večje. Analiza tehničnega argona, ki ga izdeluje tovarna Dugi Rat v Dalmaciji, ima naslednjo količino nečistoč:

O₂ 0,01 do 0,001 %
N₂ 0,01 do 0,001 %
CH₄ 0,0001 %.

Čeprav argon ni zadovoljivo čist, smo dosegli ugodne rezultate. V tujini pri proizvodnji argona pazijo predvsem na kisik, da ne prekorači vrednosti 0,001 %.

KAJ ŽELIMO DOSEČI S PREPIHOVANJEM TALINE

1. Izenačenje temperature tekočega jekla po vseh presekih ponovce.
2. Nižje začetne temperature litja in manjši padec temperature v času litja.
3. Delno znižanje vodika, kisika in dušika.
4. Enakomerno razporeditev vključkov.
5. Zmanjšanje izcej v težkih kovaških ingotih (velik presek).
6. Izboljšanje mehanskih lastnosti jekla.

Vse te zahteve dobimo z razmeroma enostavnim postopkom prepihanja taline z argonom, ki ga moramo voditi pedantno, sicer bo rezultat slab. Predno preidemo na sam postopek, si moramo ogledati odnose med plini v jeklu in vpihanim argonom.

ARGON IN PLINI V TEKOČEM JEKLU

Plini v jeklu vsi brez izjeme škodljivo vplivajo na kvaliteto jekla, saj znižujejo fizikalne in mehanske lastnosti jekel. Jeklarji posvečajo največ pozornosti odstranitvi vodika in kisika. Vodik pride v jeklo na celi poti pridobivanja od trenutka začetnega topljenja pa do odlitega ingota ter v nadaljnji predelavi v vročem stanju. Vodik spremlja jeklo na celi poti, od dotika z zrakom, ki je vedno vlažen, od vlažnih dodatkov, vlažnega odlivnega materiala (žleb, ponovca, lijak itd.). Vodik kot glavni plinski škodljivec povzroča nastanek kosmičev in medkristalne razpoke v jeklu, posebno se to odrazi v večjih ingotih za kovačnice, ki imajo velik presek. Zaradi višjega vodika se morajo odkovki dolgočasno žariti, kar podraži proizvodnjo in vedno ne zagotovi primerne učinka. Kisik je osnova za nastanek oksidnih vključkov in jih je več v jeklu, ako je koncentracija kisika večja. Dušik pospešuje staranje jekla in medkristalne razpoke. Vsi ti pojavi so škodljivi in za sedanje zahteve kvalitete jekla velika ovira, zato se je v novejšem času začelo intenzivno delati pri odstranjevanju plinov. Pojavilo se je več postopkov. Eden od najuspešnejših je brez dvoma vakuumiranje jeklene taline, vendar je naprava draga, zavzema določen prostor

v livni jami in temperaturno močno obremenjuje peči. Zato se je iskal način, ki bi deloma nadomestil drago vakuumsko napravo. Rezultat ni izostal, dobili smo postopek prepihanja jekla z argonom. Poudariti moram, da je zmotno mišljenje, da je argon nadomestilo vakuuma. Prepihanje z argonom **ne more nadomestiti vakuumske naprave**. Ravno tako si moramo biti na jasnem, da nam prepihanje jekla ne popravi, ako je slabo izdelano v peči, zato ne pričakujemo od argona rešitev za vse napake, ki se pri proizvodnji dogajajo. Zadovoljiti se moramo **z dobrim vlivanjem, z izboljšanimi mehanskimi lastnostmi in manjšim izmečkom**.

Vodik — H₂ je, kot že povedano, glavni škodljivec za jekla, odlita v večje formate ingotov za kovačnice, ker povzroča kosmiče in medkristalne razpoke. Rezultati preprihvanih talin z argonom so pokazali, da je možno znižati vodik za določeno količino. Ako je količina vodika v jeklu večja, je tudi padec večji, pri nizkih koncentracijah pa je absolutni padec manjši. Pogoj za večje znižanje vodika je vsekakor velika količina vpihanega argona, katerega se mora vpihati nad 0,3 Nm³ na tono taline. Ker je pihanje časovno omejeno, se skozi en porozni kamen ne more vpihati taka količina, moramo vgraditi v ponovco več poroznih kamnov, najbolj primerni so trije porozni kamni. Z veliko količino 2,9 Nm³ argona so dosegli znižanje vodika tudi 40 %. Dejstvo je, da se pri majhnih ponovcah težko montirajo trije porozni kamni, zato večina jeklarn prepihuje z enim ali dvema kamnoma. Poleg tega je pri uporabi treh kamnov tudi padec temperature večji in regulacija težavnejša.

Literatura navaja naslednje rezultate, ki so bili doseženi pri ugodnih pogojih:

pri 1,0 Nm³ Ar/tono so zabeleženi naslednji padci:

- od 9,0 utež. ppm na 6,7 utež. ppm ali za 25 %
- od 8,0 utež. ppm na 6,6 utež. ppm ali za 18 %
- od 7,0 utež. ppm na 6,3 utež. ppm ali za 9 %
- od 6,5 utež. ppm na 6,0 utež. ppm ali za 7 %

pri 2,9 Nm³ Ar/tono so zabeleženi naslednji padci:

- od 9,0 utež. ppm na 5,5 utež. ppm ali za 39 %
- od 8,0 utež. ppm na 5,2 utež. ppm ali za 35 %
- od 7,0 utež. ppm na 5,4 utež. ppm ali za 23 %
- od 6,5 utež. ppm na 5,5 utež. ppm ali za 15 %

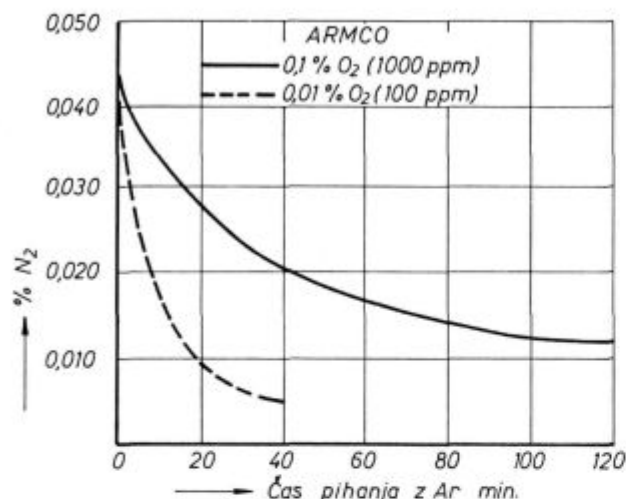
Ker se večina talin v ponovcah prepihuje z majhnimi količinami med 0,2—1,0 Nm³ Ar na tono, je razvidno, da padec vodika ni bistven, le pri visokih vrednostih je ugoden.

Kisik — O₂ je ozko povezan z nastankom oksidnih vključkov, zato stremimo za tem, da bi bila koncentracija kisika čim manjša.

Za jekla, kjer se zahteva nizko število vključkov, kot npr. OCR 4 eks. sp. za kroglične ležaje, za občutljive strojne dele itd., moramo izdelati jekla, ki imajo majhno število oksidnih vključkov.

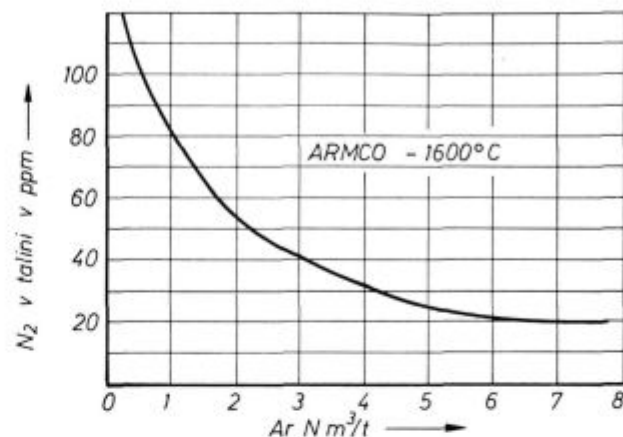
Prepihovanje jeklene taline z argonom nam da za kisik slabše rezultate kot pri vodik (območje 1,0 Nm³). Dokazano pa je, da se le zniža koncentracija kisika v jeklu in da obstaja razlika med prepihanimi in neprepihanimi šaržami. Od kisika je odvisen tudi padec dušika N₂, kajti pri znižanju kisika na 100 utežnih ppm, se pojavi močan padec

nje kisika zabeleženo celo pri šaržah, ki se niso prepihale. Slika 3 prikazuje, da se dušik močno zniža s povečanimi količinami vpihavanega argona, toda že prvi pogled na diagram nam pove, da so to tako velike količine, ki jih na ta način ne moremo stlačiti v ponovco. Če uspemo prepihati 2 Nm³ na tono, pa že dobimo znižanje dušika v talini na 50 ppm.

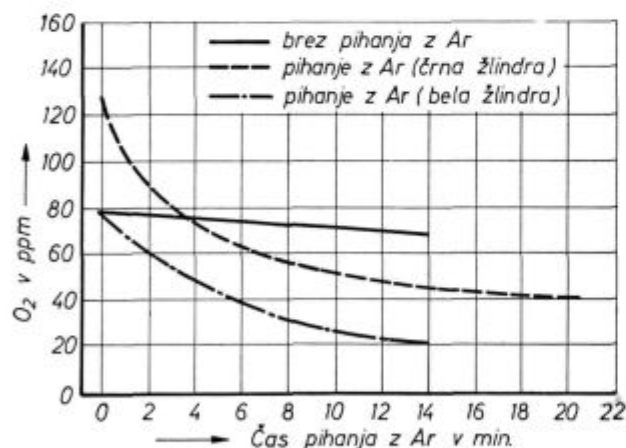


Slika 1
Znižanje dušika v času pihanja z Ar

dušika. Na sliki 1 je to razvidno. Pri koncentraciji kisika 0,01 % že po 10 minutah pihanja dosežemo 0,017 % dušika, kar je že ugoden rezultat. Seveda se z daljšim časom pihanja dosežejo boljši rezultati, podobno kot pri vodik. Očitne so tudi razlike med načinom izdelanih šarž, tako je padec kisika



Slika 3
Odvisnost znižanja dušika od količine Ar



Slika 2
Znižanje dušika v času pihanja z Ar

precej večji pri šaržah, ki so izdelane z belo žilindro (slika 2) kot pa pri šaržah, izdelanih na črno žilindro. Zanimivo pri tem je, da je majhno zniža-

PADEC TEMPERATURE JEKLA

Pri začetnih poizkusih smo bili zelo pozorni na temperaturne padce, ker se je predvidevalo, da bo padec velik. Praktični poizkusi so potrdili teoretični izračun, da pri tako veliki količini toplote, ki jo vsebuje ena šarža v ponovci, ni nevarnosti zamrzovanja, čeprav se mora pri izpuščanju šarž padec upoštevati.

Karel Feindl¹⁾ ugotavlja padec temperature na poizkusni ponovci teže 1 tone, kjer je vzdrževal temperaturo 1600 °C. Postavil je formulo za izračun padca temperature, ki se glasi:

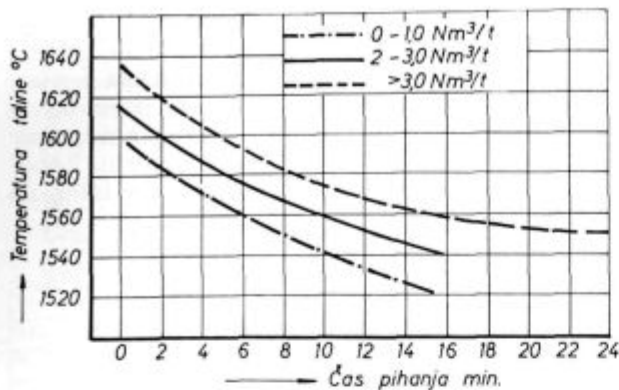
$$T = \frac{Q_a}{G_s \cdot C_s}$$

T je temperaturni padec na tono
 Q_a je potrebna toplota v kcal
 G_s je teža šarže v kg
 C_s je spec. toplota v kcal/kg

Na osnovi te formule je izračunal in izmeril, da je padec temperature jekla pri pretoku 2 Nm³ argona bil 3,5 °C na tono in nato pri pretoku 4 Nm³ argona 7,0 °C na tono.

Iz tega je razvidno, da padec temperature pada z naraščajočo količino pretoka argona. Na sliki 4 je prikazan padec temperature taline v odvisnosti od časa pihanja in količine argona.

Na tabeli 1 je prikazana razlika med prepihano in neprepihano šaržo teže 10 ton kvalitete 53 MnSi 4.



Slika 4
Padec temperature v času pihanja

Tabela 1

	Temperatura šarže v °C z prepihanja z argonom	Temperatura šarže v °C brez prepihanja z argonom
Prebod iz elektro obločne peči	1630	1630
V ponovci po izlitju iz peči	1610	1610
Po 2. minuti pihanja v ponovci	1575	—
Po 4. minuti pihanja v ponovci	1555	—
Ob končanem pihanju	1550	—
Ob zadnjem vlivanju	1540	1580

Razlika ob zadnjem vlivanju je 40 °C.

Choulet⁶⁾ je s svojimi sodelavci izvršil veliko število poizkusov pihanja z argonom. Delal je na šaržah teže 11 do 40 ton, padec temperature je bil 20 do 33 °C, ako ponovca ni bila pregreta (cca 150 °C). V primeru, ko je ponovco pregrel na 700 °C, je padec temperature znašal največ 22 °C.

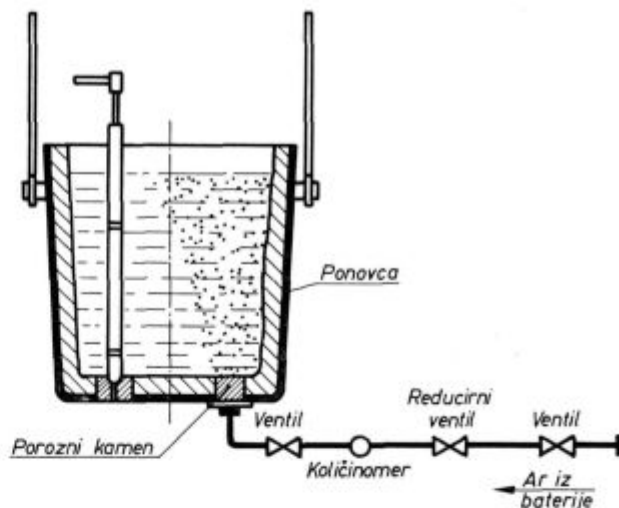
Dalje so zanimivi poizkusi, ki dokazujejo, da ne smemo zanemariti izgube toplote jekla zaradi odkrivanja taline v ponovci. Pri pihanju se namreč zelo težko obdrži pokrita talina. Običajno se ta odkrije že pri tem, ko argon prebije ferostatični pritisk jekla. Navajam primer temperaturne izgube na 20-tonski šarži, odliti v ponovco, ki se je takoj po odlitju pokrila z obzidanim pokrovom.

Tabela 2

Kvaliteta jekla	Temperatura šarže pred pihanju z argonom °C	Temperatura šarže po pihanju z argonom °C	Čas pihanja minute	Količina vpihanega argona Nm ³
St 37.11	1580	1555	12	9
40 Mn 4	1580	1550	10	20

Razlika je le 25 in 30 °C.

Več avtorjev navaja vpliv obzidave ponovce na izgubo toplote ter priporoča obzidavo zunanlega venca ponovce s polizolacijsko opeko in zavrača oziroma celo odklanja obzidavo z boksitno in korundno opeko.



Slika 5
Princip montaže kamna in cevodov

MONTAŽA CEVOVODOV IN REGULIRANJE PRITISKA

Na sliki 5 je prikazan princip montaže poroznega kamna v ponovco. Argon se iz rezervoarja ali baterije vodi do glavnega ventila nato preko reducirnega ventila in količinomera na osnovni ventil, to je regulirni membranski ventil. Z zadnjim ventilom, ki ima tudi tlakomer, se regulirata količina in tlak argona, tako da je pihanje možno voditi po predpisanih diagramih. Pri izdelavi instalacije dovoda argona lahko uporabimo železne **plinotesne** cevi, da nam ob pihanju argon ne uhaja oziroma da v času mirovanja v cevi ne difundira zrak iz okolice. Spoji med cevmi naj bodo zavarjeni in tako si za stalno zagotovimo plinotesnost in točne meritve. Šivne cevi se lahko uporabijo, vendar se morajo pred uporabo pregledati na tesnost z znanimi metodami z milnico ali nafto. Notranja površina mora biti očiščena rje in maščobe, zato se jih mora pred montažo oprati v eni izmed kemikalij, ki so namenjene za čiščenje cevodov kisika. Le tako očiščene in pregledane cevi zagotovijo nemoteno delo pri vpihavanju argona.

Dimenzioniranje cevodov je podobno kot pri vseh cevodih, le da se upošteva specifičnosti. Potrebno je upoštevati vse dolžine, upore, ventile in končno upor v poroznem kamnu za vpihovanje argona ter ferostatični pritisk jekla. Osnovna zahteva je želena količina argona, ki naj bi na minuto prešla skozi cevod; od tu računamo dalje. Podatki, ki jih potrebujemo, so:

- količina argona na minuto skozi jekleno talino,
- pritisk ob vstopu v ponovco,
- vsota vseh uporov na celotni napeljavi od baterije do ponovce.

Ko imamo izračunani presek cevi, si izberemo standardni presek, ki je večji od izračunanega pre-

seka za 20 do 25 %. Dalje moramo pri računu upoštevati dolžino cevovoda. Posebno pomembno je to za dolge cevovode, ker so v bistvu nekak rezervoar plina. V primeru, da je cevovod dimenzioniran na spodnji meji, bo pritisk plina hitro padel ter povzročil nihanje pritiska, kar je za enakomerno gibanje — strujanja taline v ponovci zelo škodljivo. Ventili in kolena nudijo upor, ki ga izrazimo v metrih dolžine cevi.

Na primer:

Presek	1. koleno	1. ventil
10	0,25 m	1,25 m
20	0,50 m	2,50 m
25	0,65 m	3,13 m
30	0,75 m	3,75 m
40	1,00 m	5,00 m
50	1,25 m	6,25 m

Ravno tako navajajo potrebne pritiske argona pod ponovco v odvisnosti od teže šarže:

Teža šarže	Potrebni pritisk pod ponovco
10 ton	2,5 atm
20 ton	2,7 atm
30 ton	3,0 atm
40 ton	3,0 atm
60 ton	3,3 atm
80 ton	3,7 atm
100 ton	4,0 atm

in izgube pritiska pri preobodu skozi kamen:

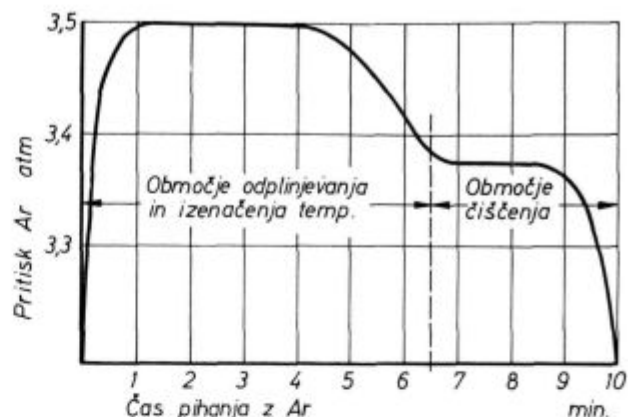
pritisk pod ponovco, atm.	izguba pritiska, atm						
	1	2	3	4	5	6	7
0,01	0,04	0,1	0,15	0,2	0,28	0,32	
pretok argona, l/min.	950	1750	2500	3200	3750	4300	4600

Pri normalnem delu je odstopanje pritiska možno za $\pm 10\%$. Ako je porozni kamen onečiščen, površina deloma zakrita z žilindro ali železom, so potrebni večji pritiski. Nasprotno pa z izrabljenostjo kamna, ko je vedno tanjši, potrebni pritisk pada.

Za izračun notranjega preseka cevi z upoštevanjem navedenih opozoril, se je najbolje poslužiti kompleksnega diagrama, ki ga navaja knjiga »Argon in der Metallurgie — BASF, 1966«

Pri reguliranju pritiska se moramo strogo držati osnovnega principa, ki ga navaja slika 6. Čeprav mora biti princip za vse enak, je razumljivo, da mora vsak jeklar ugotoviti s poizkusom, kateri odnos in pritisk je najbolj primeren za njegovo po-

novco, kvaliteto jekla in temperaturo. Predvsem se ne smejo delati napake, da pritisk močno niha ali da pihamo samo prvo območje (izenačevanje)



Slika 6
Pritisk Ar plina v času pihanja za obe območji

brez območja čiščenja. Po navadi se to pripeti, ako se med pihanjem na hitro odločimo za krajši čas pihanja. Tak način ne more dati dobrega rezultata in je lahko celo škodljiv.

Posebno pozornost je posvetiti prehodu iz prvega na drugo območje ter na zaključek pihanja. Prehodi morajo biti enakomerni in blagi, zato mora delovodja med regulacijo poleg taline stalno opazovati tudi tlakomer in z občutkom voditi regulacijo. Najbolje je, da regulacijo opravlja avtomatika, saj je najbolj zanesljiva.

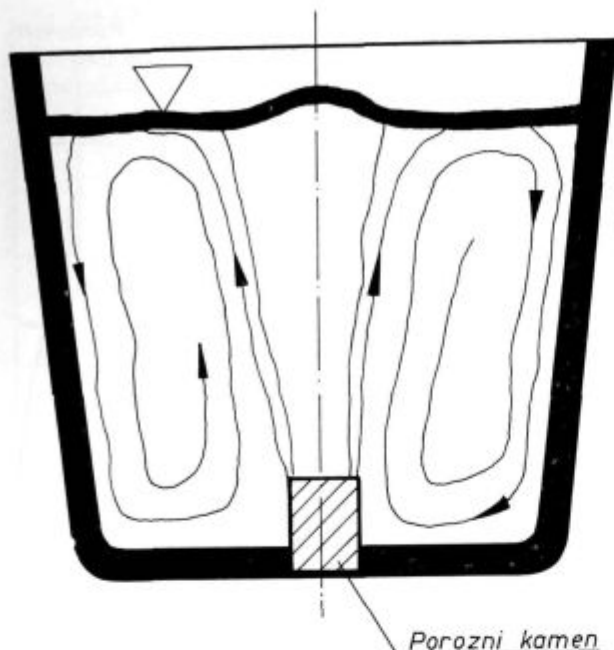
Vse to pa izvajamo le, ako je instalacija pravilno dimenzionirana. V zimskem času nastopajo težave, ako oddelek, kjer so montirane baterije, ni ogrevan. Mraz v oddelku kakor tudi neenakomerni odvzem plina iz baterije povzroči zamrznjenje cevovodov na malih presekih, zato se morajo ti preseki dodatno ogrevati s parnimi spiralami in prostor segrevati na $+15^{\circ}\text{C}$.

Tako si bomo prihranili marsikatero nevšečnost in omogočili redno in kvalitetno delo.

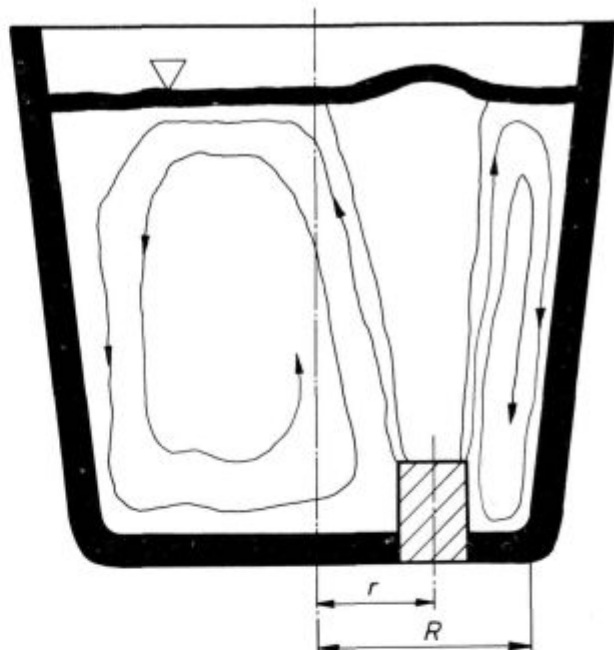
Po zahtevah naših varnostnih predpisov se baterije jeklenk ne smejo montirati v vročih obratih, ne pod mostnimi ali portalnimi žerjavi, gretje mora biti izvedeno s paro, toplo vodo ali eventualno električno, toda z zaprtimi grelci. Vsi spoji na instalaciji baterije morajo biti atestirani in izvedeni po merodajnih predpisih.

POLOŽAJ IN MONTAŽA POROZNEGA KAMNA

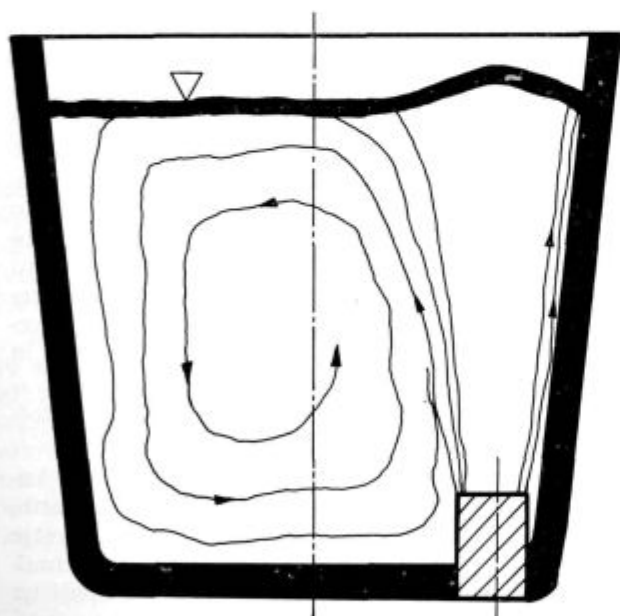
Kje in kako montiramo porozni kamen, ni vseeno, ker je ugotovljeno, da položaji kamna na sredini dna ponovce ali na robu dna niso ugodni in ne dajo dobrih rezultatov — slika 7 in slika 8. Dokazano je, da dobimo najboljše rezultate v položaju, ki ga kaže slika 9. To je nekoliko odmaknjen od stene ponovce ali točno izmerjeno na prvi četr-



Slika 7
Strujanje taline v ponovci, kjer je kamen montiran v sredini



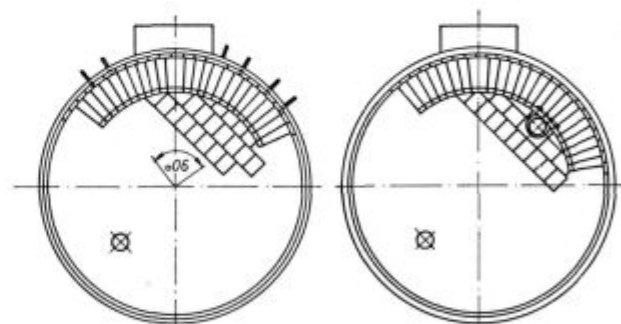
$\frac{r}{R} = 0,5$
Slika 9
Strujanje taline v ponovci, kjer je kamen montiran na položaju R 2



Slika 8
Strujanje taline v ponovci, kjer je kamen montiran na robu

tini premera dna ponovce. Ko je načrtan delilni krog, se izbere točni položaj, ki ne sme biti na takem področju dna, kjer pada curek jekla v ponovco. Curek jekla ima veliko moč in s svojim pritiskom pospeši predor jekla skozi režo med kamnom in školjko. Porozni kamen mora biti vzdani diagonalno nasproti izlivku, slika 10, tako, da ni dodatno obremenjen. Ravno tako na to mesto ne smejo padati dodatki, ki se običajno mečejo na dno ponovce (FeSi), ker lahko mehansko po-

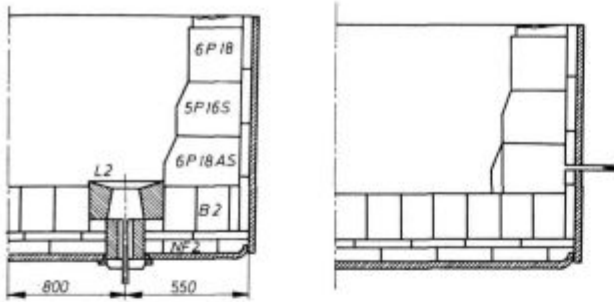
škodujejo porozni kamen s silo udarca, ga okrušijo ali povzročijo razpoke. Slika 11 kaže v preseku ponovce primer zidanja poroznega kamna na dnu in na steni ponovce. V železarni Ravne nismo uporabljali principa montaže v steni, ker nam je bilo že znano iz literature, da ta princip zahteva prvo-



Slika 10
Položaj kamna napram položaju izlivka — tloris

vrstno šamotno opeko, sicer naraste število nekovinskih vključkov, poleg tega pa ta položaj, kot že rečeno ni ugoden za strujanje taline.

Pri montaži v dno ponovce, kot kaže slika 11, je potrebna velika pozornost in pedantno zidanje, sicer bo nastal predor jekla. Strujanje jekla okoli poroznega kamna je zelo močno in jeklo izpira malto ter se zagriže med kamen in školjko, zato mora biti to delo temeljito opravljeno. Pri montaži argona kamna moramo paziti na naslednje:



Slika 11

Način vzidanja kamna v dno ponovce in steno ponovce – presek

— da leži zgornji rob v isti ravnini kot rob školjke, kajti ako je kamen pogreznjen, bo v poglobljenem delu jeklo zamrznilo in preprečilo pihanje;

— da ne štrli kamen iz školjke, ker ga bo strujanje jekla hitro obrabilo in eventualni mehanski udarci (FeSi) poškodovali;

— da imata školjka in kamen okrogli presek in ne ovalnega. S tem preprečimo enostransko montažo in nevarnost, da reža med kamnom in školjko ni dobro tesnjena (nevarnost predora);

— da školjka ni počena. Posebno nevarne so razpoke, ki izhajajo iz centra školjke. Običajno so te razpoke posledica enostranskega pečenja ter v njih nastopajo napetosti. Zato moramo školjko, ki nosi porozni kamen, temeljito pregledati pred montažo in tudi po segrevanju v sami ponovci, kajti pogosto počí školjka med ogrevanjem;

— da se uporablja predpisana specialna malta, ki ima to lastnost, da je visoko ognjestalna in se pri višjih temperaturah širi ter tako zanesljivo drži. Železarna Ravne uporablja »SIMTECK« od firme Stoecker Kunz, Krefeld in ima z njim zelo ugodne rezultate;

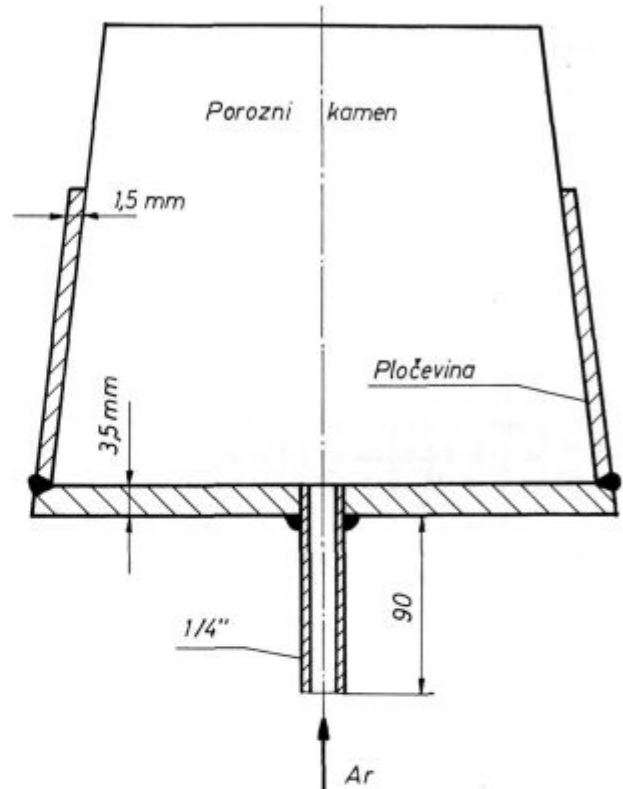
— da malte uporabljamo čim manj ter da se višek malte iztisne pri vstavljanju v školjko. Malto nato skrbno odstraniti, ne pa premazati po površini poroznega kamna;

— da s posebno malto obzidamo tudi školjko in podlago pod školjko. Ne uporabljati navadne malte, ki za te zahteve ni zanesljiva.

IZGLED IN ZAHTEVE POROZNEGA KAMNA

Dimenzijski izgled poroznega kamna je lahko različen, obstajajo valjasti, kockasti, ploščati itd. Dimenzije kamna so odvisne od načina uporabe, to je od naročnika samega. Železarna Ravne uporablja obliko presekanega stožca, ker montiramo kamen direktno v odprtino školjke, ki se vgradi v dno ponovce. Stožčasta oblika je tudi najbolj primerna za montažo, saj se da tesno vložiti v školjko. Slika 12 prikazuje, da moramo porozni

kamen obložiti z navadno črno pločevino do dvetretjinske višine, na spodnji strani pa dno ojačati s pločevino. Dovodna cev je 1/4 cole ali 1/2 cole, kar zadostuje za dovod argona. Dvetretjinska obloga, plašč kamna ima namen, da se usmeri argon po poti kamna, sicer se nam bi izgubil po režah in ob plašču ponovce. Zato mora biti plašč zavarjen po celem obodu in ne samo na nekaterih mestih. S tem prisilimo argon, da se mora usmeriti skozi



Slika 12

Oplaščenje poroznega kamna

kamen in na površini kamna izstopati v obliki malih mehurčkov, to pa tudi od njega zahtevamo.

Ako bi ves argon izhajal samo med kamnom in plaščem iz pločevine (že itak ga gre 40–50 %), bi dobili velike mehurje, ki bi svoje delo slabo opravljali, trgali žlindro na vrhu taline in talino le temperaturno izenačevali, ne pa tudi čistili vseh vključkov in plinov. Efekt flotacije bi pri velikih mehurjih skoraj popolnoma odpadel, saj je ta učinkovit le pri velikem številu malih in drobnih mehurčkov. Tudi difuzija med mehurčki argona in škodljivimi plini v jeklu je slabša, ako so ti veliki³⁾.

Od poroznega kamna zahtevamo naslednje lastnosti:

— visoko ognjestalnost in odpornost proti obrabi v vročem,

— visoko poroznost in tako obliko porozitete, da bodo mehurčki fino razpršeni,

— zadostno kapaciteto propustnosti, da zadostuje za predvideni postopek.

Zahteve niso ravno majhne in zato je nevarno uporabljati navadne slepe izlivke, ker le-ti niso zanesljivi niti ni delo varno (predor). Vzdržnost poroznih kamnov je različna, ker je odvisna od procesa, temperature in načina čiščenja dna ponovce. V železarni Ravne so že zdržali 15 šarž, vendar je najbolje, da se ga zamenja pri 12 šaržah, saj tako zdržita dva kamna eno vzdržnost ponovce.

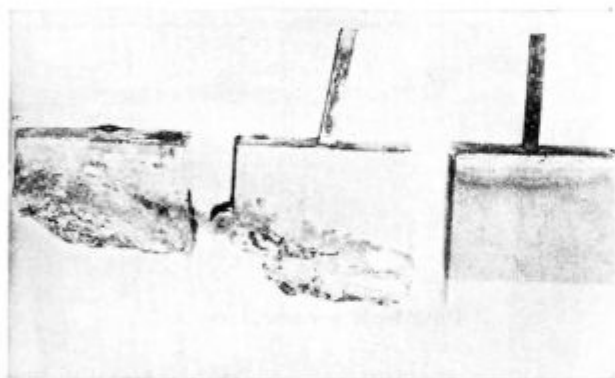
Po navadi kamen, ki je že bil vgrajen, pa čeprav ima še malo preprianih šarž, ni več zanesljiv in je bolje, da se ga zamenja. Smatramo, da sta dva kamna na eno ponovčno vzdržnost zadovoljiva rešitev.

Kvaliteta poroznih kamnov, ki jih proizvaja firma Stoecker-Kunz, Krefeld, je po njihovih podatkih naslednja:

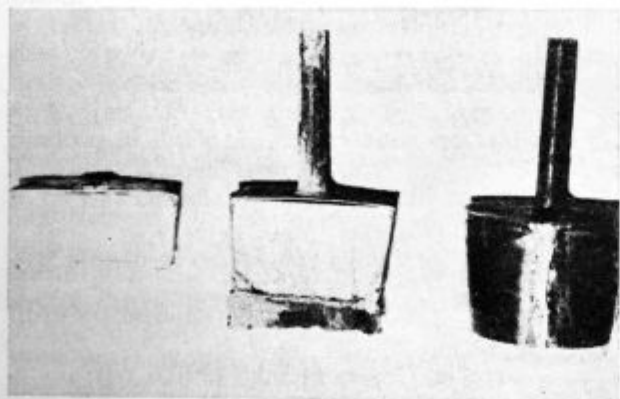
Oznaka	Obstojnost proti temperaturnim spremembam	Ognjestalnost	trdnost v vročem	trdnost v hladnem	Poroznost
Typ 20 toplj. mulit	preko 40 sprememb	1865° C	1500° C 2 kp/cm ²	184 kp/cm ²	23,1 %
Typ 307 Magn. oksid	3 spremembe	1930° C	1535° C 2 kp/cm ²	180 kp/cm ²	25,6 %

Po sestavi se izdelujejo porozni kamni iz taljenega mullita, silicijdioksida in magnezitoksida. Mullit je 70 % Al₂O₃ + 30 % SiO₂. Za jeklarje pridejo v poštev le porozni kamni, ki so izdelani iz topljenega mullita. Metoda merjenja obstojnosti proti temperaturnim spremembam (t. z. toplotni udar) se vrši tako, da se poizkusni vzorec razžari na 950 °C (ca. 15 minut) in nato ohladi v curku

tekoče vode. Ostali preizkusi so izvajani po DIN normah. Na sliki 13 in 14 je prikazan izgled poroznih kamnov v različnih fazah uporabe. Vidi se sloj, v katerem je že penetriralo jeklo ali žlindra in deloma rušilo keramično vez, ta sloj temne barve bo pri naslednji šarži odpadel za ca. 1/3 debeline. Pod tem slojem je področje normalnega mullita, temni sloj ni ostro ločen in se prepleta s še zdravo osnovo. Kljub temu, da je temni sloj penetriran z žlindro in jeklom, še vedno normalno prepušča argon, včasih celo z manjšim uporom.



Slika 13
Izgled uporabljenega kamna



Slika 14
Izgled uporabljenega kamna

REZULTATI PIHANJA ARGONA

V železarni Ravne smo uvedli uporabo argona za preprihanje taline že leta 1967 in se po prvih poizkusih že redno uporablja. V začetku smo pihali s krajšim časom in manjšimi pritiski, ker smo šele osvajali tehniko načina dela, kasneje smo prešli na večje pritiske in daljši čas pihanja.

Pihanje nam je dalo zelo čisto vlivanje in omogočilo vlivanje pod nižjimi začetnimi temperaturami. To je omogočeno zato, ker je padec temperature po pihanju z argonom znatno manjši, poleg tega je curek jekla čist in nima oksidne mreže na površini. Ker je padec temperature manjši (izenachenje), je omogočeno normalno litje od začetka do konca vlivanja, medtem ko smo do sedaj vlivali nekoliko prevroče v začetku in na koncu nekoliko hladno. Tudi skorje strjenega jekla na dnu ponovce so sedaj zelo redke, saj ostane jeklo tekoče zelo dobro do zadnjega ingota.

Na splošno je ugotovljeno, da so zelo ugodni rezultati predvsem pri jeklih za kovačnico, pri šaržah, izdelanih na eno črno žlindro, in pri jeklih, ki jih izdelujemo z metodo preddezoksidacije s ferroaluminijem (FeAl) v peči. Čeprav da metoda s FeAl na splošno boljše rezultate, jih s preprihanjem še dodatno izboljšamo.

Odkovki iz kovaških ingotov, ki so vliti po preprihanju z argonom, so vsi brezhibni, brez napake

ter ultrazvočna preiskava ne registrira nobenega odklona. Nekaj več težav je pri trdih legiranih (CrMo) jeklih, kjer obstaja večja možnost, da so šarže izlize s karbidno žlindro oz. s temperaturo na spodnji livni meji.

Raziskave še niso zaključene in se nadaljujejo tako v smeri razvoja metode pihanja kakor tudi preiskav materiala. Raziskave še niso končane, vendar nas ugodni rezultati vzpodbujajo k nadaljnjemu razvoju in izpopolnitvi tehnologije in kvalitete jekel, ki jih izdeluje železarna Ravne.

IZKUŠNJA ŽELEZARNE CRUCIBLE STEEL, USA

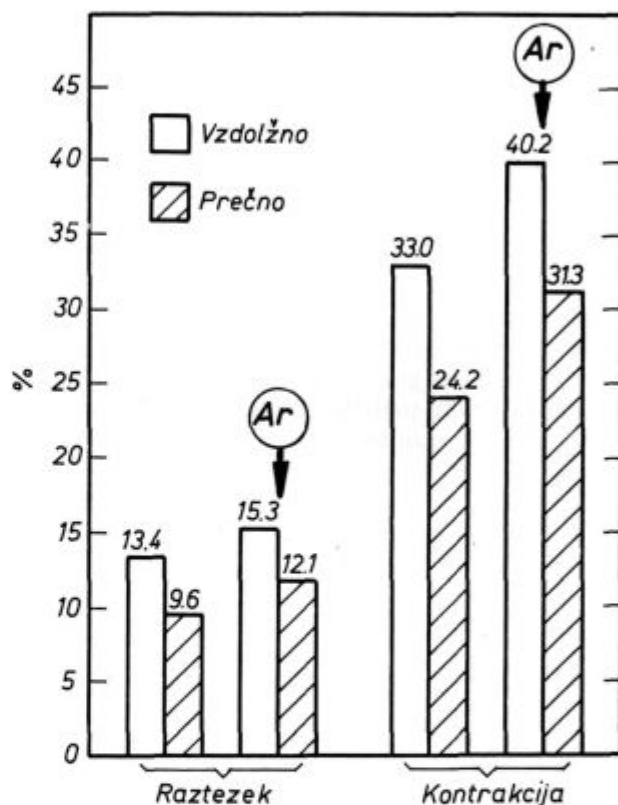
Za našo železarno so izkušnje navedene železarne in železarne Syracuse, New York v ZDA zanimive, saj imata podobne peči (30 ton) in program. Že leta 1964 so začeli intenzivno preizkušati metodo prepihanja jekla z argonom. Iskali so cenejši postopek vakuumu, ki bi jim delno izboljšal kvaliteto jekel.

Začeli so z načinom dovoda argona skozi steno ponovce tik ob dnu. Skozi prebito steno so vložili keramično cevko in jo obzidali in naphali z ognjestalnim materialom. Po vsaki šarži so morali obnavljati, zato je bilo zelo drago in zamudno (več ur) ter je močno eroziralo oblogo. Zaradi slabega efekta so to kmalu opustili in prešli na metodo pihanja skozi dno preko poroznih kamnov. Najprej so uporabljali en kamen, nato tri, vendar z rezultati, čeprav niso bili slabi, niso bili zadovoljni in po čaa dveh letih so se zopet vrnili k prvotnemu načinu t. j. pihanje skozi steno ponovce. Ključki prekinitve uporabe metode »skozi dno« so po njihovih navedbah naslednji:

- količina prepihanega argona je bila za njihove zahteve premajhna.
- erozija kamnov pri največjem pretoku je bila tako velika, da so vzdržali komaj 4 šarže,
- kamni so se pri čiščenju ponovce drobili (slaba kvaliteta),
- zahteve odstranitve vodika niso dosežene v celoti,
- stroški pri tej vzdržnosti so bili previsoki.

Za izpopolnjen nekdanji postopek pihanja »skozi steno« ponovce, jim je firma »LINDE, D. of U. C. Corp. Newark, USA izdelala pihalno šobo v obliki valjastega poroznega kamna in vse potrebne priključke. Pihalica je nameščena za eno višino opeke nad dnom in usmerjena tako, da event. podaljšani curek ne doseže zamašnega droga. Pihalica sestoji iz več delov, ki so ali stalno na ponovci ali se menjajo po vsaki šarži. Deli, ki se menjajo, se pripravijo in posušijo ter ogrevajo v sušilni peči. Menjava pihalice po vsaki šarži traja 30 minut, menjajo se: valjasti porozni kamen — pihalica, cev okoli kamna, glava zamaška in oporna plošča. Po vsaki

šarži se zamenja z novim samo kamen — pihalica, ostalo po potrebi. Valjasti kamen štrli v notranjost ponovce ter se dobro upira eroziji. Poskušali so različne dolžine, vendar so najboljše rezultate pokazali kratki valji z zaokroženimi robovi. V primeru, da šarže ne nameravamo prepihavati, se odprtina začepi s čepom iz šamota. Argon pihajo s pritiskom 12,5 atm, kar je za naše pojme ogromno, in količino nad 15 Nm³ na tono jekla. Ker je pritisk velik, ne potujejo mehurčki ob steni, ampak se razporedijo po velikem obsegu. Zaradi velikega pritiska so tudi fino razpršeni ter dobro odstranjujejo pline in vključke. Pihati pričnejo



Slika 15

Crucible Steel — Izboljšanje mehanskih lastnosti jekla s prepihanjem taline z argonom

takoj, ko priteče jeklo v ponovco iz peči, po izlitju iz peči ponovco pokrijejo z obzidanim pokrovom in pod pokrovom tudi pihajo. Rezultati po njihovih podatkih so zelo ugodni, posebno glede kisika in dušika, saj so rezultati blizu rezultatov vakuumiranih šarž, le na področju vodika se kljub velikim količinam argon ne more primerjati z vakuumom, pa čeprav so močno znižali vodik. Zatrjujejo, da so kljub temu odpravili kosmiče v gredicah utopnega jekla, izboljšali vzdolžno in prečno žilavost (slika 15) znižali število oksidnih in silikatnih vključkov (slika 16) in znatno zmanjšali celotni izmeček.

	A Sulfidi	B Alu- minati	C Silikati	D Globularni oksidi
Brez prepihanja	2 ½	1	1	2 ½
Prepihano z argonom	2 ½	0	0	1 ½

Slika 16
Crucible Steel — Znižanje vključkov po prepihanju taline
z argonom

Da dosežejo boljši učinek odplinjevanja z argonom, izpuščajo šarže z nižjim Si pod 0,20 % in šaržo preddeoksidirajo s FeAl v peči, tako da pridejo v ponovco le sledi Al. Temperaturo dvignejo za 20 do 40° C v odvisnosti od vrste jekla. Zlindre zadržijo v peči čim več, ker s tem preprečijo razjedanje obloge ponovce in droga ter dodatne vključke v jeklo (pokrita ponovca). Sedaj prepihajo orodna, utopna jekla in jekla za kroglične ležaje. Uporabnost prepihovanja pa ugotavljajo na drugih jeklih in na vseh, kjer imajo težave. Asortiment jekel, ki se prepihuje, je vedno večji in trdijo, da njihove raziskave še niso zaključene. Postopek, ki so ga uvedli v redno uporabo že leta 1967, je zanimiv, ker jim je uspelo prepihati velike količine argona in velike pritiskne skozi dno »pihalico« ter doseči ugodne rezultate.

STROŠKI UPORABE ARGONA ZA PREPIHOVANJE

Stalni stroški in cene	N din
1 kos porozni kamen Stoecker - Kunz	71,50
1 kg ognjest. vezivo — Simteck	5,50
1 kos jeklenka argona	250,00
1 kos oplačenje arg. kamna	3,50

Tabela 3

Št. šarže	Kvaliteta	Temperatura ob prebodu °C	Čas pihanja min.	Kisik v talini		
				pred prebodom	pred pihanjem	pihanju po
22 613	CK 25	1650	8	0,0156	0,0149	0,0068
22 616	CK 25	1650	7	0,0162	0,0140	0,0091
22 618	CK 45	1640	7	0,0123	0,0126	0,0070
22 877	CK 35	1650	7	0,0105	0,0118	0,0052
22 873	CK 25	1650	7	0,0155	0,0113	0,0042
22 887	CK 60	1640	7	0,0103	0,0114	0,0057
23 177	CK 25	1650	6,5	0,0164	0,0089	0,0036
23 125	CK 25	1660	7,5	0,0182	0,0081	0,0055
23 189	CK 25	1650	7,0	0,0152	0,0080	0,0039
23 127	CK 25	1660	7,5	0,0164	0,0084	0,0030

Stroški na tono jekla

	N din
investicije	0,022
porozni kamen	0,250
simteck vezivo	0,020
argon	4,000
Skupno:	4,292
	ali zaokroženo: 4,30

Primerjava stroškov med posameznimi podjetji

Edelstahlwerk Krefeld, Zah. Nemčija	3,50 N din
Stahlwerk, Neunkirchen, Avstrija	4,40 N din
Stahlwerk, Neunkirchen, Avstrija	4,45 N din
Železarna Ravne, tovarna plemenitih jekel	4,30 N din

Upoštevati moramo, da pihamo še premajhne količine argona in ko bomo povečali količino plina, se bodo stroški dvignili na 5,30 N din/tono. Šele ko bomo uporabljali tekoči lastni argon, se bodo stroški znižali na predvidenih **4,10 do 4,20 N din/tono.**

REZULTATI PREISKANIH ŠARŽ V ŽELEZARNI RAVNE

Po osvojitvi metode in tehnike dela z organsko instalacijo in regulacijo pihanja argona smo skupno z Metalurškim inštitutom raziskovali efekt prepihovanja šarž z argonom. Analizirali smo predvsem količino topnega Al, količino O₂, oksidne spojine in vodik ter dušik. Na naslednjih tabelah je to prikazano za 10 poizkusnih šarž.

Na osnovi rezultatov, ki so prikazani na tabelah, razvidno, da so že pri razmeroma majhni količini prepihanega argona doseženi ugodni rezultati, občutno znižan celotni kisik in SiO₂ spojine v vključkih ter Al₂O₃ spojine.

Upoštevati moramo, da se je prepihanje vršilo pri pritisku 2—4 atm in 1,5—1,8 atm v času 7—8 minut. Faza čiščenja, ki se je izvajala v času

Tabela 4

St. šarže	Vključki pred pihanjem		Vključki po pihanju		Topni aluminij %
	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	
22 613	0,003	0,021	0,001	0,006	0,019
22 616	0,005	0,016	0,005	0,009	0,010
22 618	0,004	0,017	0,004	0,009	0,019
22 873	0,007	0,011	0,002	0,005	0,009
22 877	0,006	0,010	0,001	0,004	0,008
22 887	0,003	0,015	0,002	0,005	0,017
23 117	0,004	0,013	0,002	0,004	0,016
23 125	0,004	0,012	0,003	0,005	0,016
23 189	0,003	0,012	0,001	0,005	0,013
23 127	0,002	0,014	0,002	0,004	0,032

Tabela 5

St. šarže	Vodik H cm ³ /100 gr			Dušik N %		
	1	2	3	1	2	3
22 613	6,0	3,9	5,2	0,0067	0,0061	0,0063
22 616	5,6	4,9	5,0	0,0069	0,0063	0,0078
22 618	4,5	3,5	4,0	0,0080	0,0082	0,0087
22 873	11,4	10,6	7,6	0,0073	0,0070	0,0079
22 877	6,6	7,3	5,8	0,0069	0,0061	0,0077
22 887	7,6	7,0	7,0	0,0063	0,0066	0,0074
23 117	5,9	5,0	5,3	0,0063	0,0074	0,0088
23 125	6,0	3,5	6,2	0,0078	0,0076	0,0089
23 189	3,3	2,8	3,4	0,0082	0,0083	0,0089
23 127	4,5	4,7	4,5	0,0071	0,0074	0,0085

1 — vodik — dušik iz taline v ponovci pred pihanjem

2 — vodik — dušik iz taline v ponovci po pihanju

3 — vodik — dušik v izdelanem jeklu

3—4 minute, kar je sorazmeroma malo. Zaradi gibanja taline v ponovci, ki je posledica pretoka velikega snopa drobnih mehurčkov argona in dna ponovce proti vrhu, se je povečal delež čiste plinske dezoksidacije. Ta vpliv je tudi delno povečal izločanje SiO₂ spojin, predvsem pa povečal izločanje Al₂O₃ spojin.

Že ko smo si zastavili nalogo uvesti prepihanje argona, smo se zavedali, da ne smemo pričakovati znižanja vodika in dušika pri tako malih količinah. Ako pa pregledamo rezultate na tabeli za vodik in dušik, vidimo, da je pri večini šarž le zabeležen padec vodika in deloma tudi dušika. V primeru, da ne upoštevamo šarž, pri katerih je vodik narastel — možnost napake pri jemanju vzorca — dobimo poprečno znižanje vodika za 12—15 %, znižanje dušika pa za 4—7 %. Značilno je tudi, da je padec vodika znaten pri velikih količinah nad 6,0 cm³/100 gr. Poleg zmanjšanja kisika,

vodika in znižanja SiO₂ in Al₂O₃ spojin v vključkih, je dosežena tudi boljše razporeditev vključkov, kar ima ugoden vpliv na mehanske lastnosti jekel. Razpored in oblika vključkov sta taka, da ne morejo škodovati v taki meri kot običajno. Rezultat vseh navedenih izboljšanj se je najbolje odrazil v znatnem zmanjšanju jeklarskega izmečka.

Literatura

1. Karel Feindl, Wärmeübergang an Argonblasen in Stahlschmelzen. Interner Bof-Report, 1966.
2. BASF, Argon in der Metallurgie, 1966.
3. W. Deilmann — Radex Rundschau, Heft 2, 1968.
4. Walster M., Lange W., Evers, Hilpert A. Bericht über Argonspülversuche der Forschungsabteilung der Rhein Stahl-Hüttenwerke, Hattingen 1966.
5. R. D. Weller, Argon degassing at Crucible Steel. The Magazine of metals producing, June 1968.
6. Choulat R. J., Holmes R. L., Chrzan L. R. — Argon Degassing Practice and Results. — J. of Metals, 1966.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Durchblasen der Stahlschmelze mit Argon in der Pfanne verbessert die mechanischen Eigenschaften, vermindert den Gehalt der schädlichen Gase und nichtmetallischen Einschlüsse im Stahl. Es kann zwar nicht eine Vakuumbehandlung ersetzen, obwohl es mit einer richtigen Ausnutzung der theoretischen Grundlagen und der praktischen Erfahrungen die Qualität des Stahles verbessert. Das Argondurchblasen des Stahles in unserem Stahlwerk hat sich besonders günstig bei den Schmiedestählen, welche in Kokillen von einem grossen Querschnitt gegossen werden, erwiesen. Die Ultraschallprüfungen zeigen jetzt kleinere Abweichungen, oder gibt es gar keine.

Für die weitere Qualitätsverbesserung muss die Menge und der Druck des durchgeblasenen Argons vergrössert und eine billigere Argonquelle gefunden werden (verflüssigtes Argon). Mit den weiteren Versuchen muss der Gebrauch des Argondurchblasens auch für weitere Qualitäten festgestellt werden. Die Stähle sollen dann für die Wakuumbehandlung so wie für das Argondurchblasen in Bezug auf die Qualität und die Wirtschaftlichkeit geteilt werden. Die Forschungen im Hüttenwerk Ravne werden weiter geführt.

SUMMARY

Flushing of cast steel with argon improves mechanical properties of steel, and reduces the content of harmful gases and inclusions. This method cannot substitute vacuum degasing, but steel quality is anyhow improved if theoretical fundamentals and practical experiences are correctly used. Use of argon in our steel works gave favourable results especially with steels for forging which are cast into big ingots. Ultrasonic tests show now very small peaks or no peaks at all.

For further improvements of quality, amount and pressure of flushing argon must be increased, and a cheaper source of argon — purchase of liquid argon — must be found. Further investigations must show applicability of flushing also for other steels, which were not yet flushed, so that steels can be distributed into two groups: steels suitable for flushing and steel which had to be vacuum degased, according to the quality and economy of the method. Investigations in Iron and Steel Works Ravne are proceeding.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод продувания расплавленной стали с аргоном улучшает механические свойства стали и уменьшает содержание вредных газов и включений. Но, не смотря на это, этот метод не может заменить способ обработки стали в вакууме хотя с правильным применением теоретических и практических достижений улучшает качество стали. Применение аргона в сталеплавильном заводе Равне (Zelezarna Ravne, Ravne) дало положительные результаты в особенности при сталях предназначенных дляковки которые разливаются в изложницы большого формата. Проверка слитков с ультразвуком показала незначительные отклонения, или же отклонения

вообще не обнаружены. Для дальнейшего улучшения качества стали надо увеличить количество и давление вдутого аргона; также надо подыскать источник более дешевого аргона, нпр. снабжение с жидким газом. В дальнейшем исследовании надо определить целесообразность этого продувания при других сортах стали при которых продувка ещё не была выполнена и, наконец, в соответствии качества и экономичности, составить классификацию сталей для продувания и отдельно для обработки в вакууме. Исследования в металлургическом заводе Равне продолжаются.