

ŽELEZARSKI ZBORNIK

VSEBINA

	Stran
Dobovišek M., A. Rodič, V. Macur, Zelezarna Ravne	
IZBOLJSANJE VELIKOSTI AVSTENITNEGA ZRNA IN CISTOČE JEKLA ZA CEMENTA- CIJO	225
Prešern Alojz, Metalurški inštitut	
UVAJANJE VAKUUMSKE METALURGIJE	247
Arh Joža, Zelezarna Jesenice	
Vodopivec Franc, Metalurški inštitut	
ZVEZA MED PREOBLIKOVALNOSTJO NIZ- KOOGLJICNIH JEKEL IN VSEBNOSTJO ALUMINIJA IN DUSIKA	
1. del	259
Vodopivec, Osojnik, Metalurški inštitut	
Arh Joža, Zelezarna Jesenice	
ZVEZA MED PREOBLIKOVALNOSTJO NIZ- KOOGLJICNIH JEKEL IN VSEBNOSTJO ALUMINIJA IN DUSIKA	
2. del	265
Razinger Anton, Zelezarna Jesenice	
NERJAVEČA JEKLA ZA OBDELAVO NA AVTOMATIH	271

1970 · LETO IV **4**

VSEBINA

	Stran
Dobovišek M. dipl. inž., A. Rodič dipl. inž., V. Macur dipl. inž., Železarna Ravne	
Izboljšanje velikosti avstenitnega zrna in čistoče jekla za cementacijo	225
DK: 669.182.33:620.18:620.192.45 ASM/SLA: D 5, M 9—69, M 27C	
Prešern Alojz, dipl. inž. Metalurški inštitut	
Uvajanje vakuumske metalurgije	247
DK: 669—982 ASM/SLA: D 8M	
Arh Joža dipl. inž., Železarna Jesenice Dr. Vodopivec Franc dipl. inž., Metalurški in- štitut	
Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljičnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika — 1. del	259
DK: 669.14.018.291 ASM/SLA: D 5g, F 216, A 238	
Dr. Vodopivec F. dipl. inž., A. Osojnik dipl. inž. Metalurški inštitut, Arh Joža dipl. inž. Železarna Jesenice	
Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljičnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika — 2. del	265
DK: 669.14.018.291 ASM/SLA: D 5g, M 21e, X 235	
Razinger Anton dipl. inž., Železarna Jesenice	
Nerjaveča jekla za obdelavo na avtomatih	271
DK: 669.14.018.232/.8 ASM/SLA: SSd, SSe	

INHALT

	Seite
Dobovišek M. dipl. inž., A. Rodič dipl. inž., V. Macur dipl. inž., Železarna Ravne	
Die Verbesserung der Austenitkorngrösse und des Reinheitsgrades bei den Einsatz- stählen	225
DK: 669.182.33:620.18:620.192.45 ASM/SLA: D 5, M 9—69, M 27C	
Prešern Alojz, dipl. inž. Metalurški inštitut	
Die Einführung der Vakuummetallurgie . .	247
DK: 669—982 ASM/SLA: D 8M	
Arh Joža dipl. inž., Železarna Jesenice Dr. Vodopivec Franc dipl. inž., Metalurški in- stitut	
Zusammenhang zwischen der Verformbarkeit und dem Gehalt von Aluminium und Stick- stoff in den niedriglegierten allgemeinen Baustählen. Teil 1	259
DK: 669.14.018.291 ASM/SLA: D 5g, F 216, A 238	
Dr. Vodopivec F. dipl. inž., A. Osojnik dipl. inž., Metalurški inštitut, Arh Joža dipl. inž., Železarna Jesenice	
Zusammenhang zwischen der Verformbarkeit und dem Gehalt von Aluminium und Stick- stoff in den niedriglegierten allgemeinen Baustählen. Teil 2	265
DK: 669.14.018.291 ASM/SLA: D 5g, M 21e, X 235	
Razinger Anton dipl. inž., Železarna Jesenice	
Rostbeständige Automatenstähle	271
DK: 669.14.018.232/.8 ASM/SLA: SSd, SSe	

CONTENTS

	Page
Dobovišek M. dipl. inž., A. Rodič dipl. inž., V. Macur dipl. inž., Železarna Ravne	
Improvement of the austenite grain size and purity of steel for carburising	225
DK: 669.182.33:620.18:620.192.45 ASM/SLA: D 5, M 9—69, M 27C	
Prešern Alojz, dipl. inž. Metalurški inštitut	
Introduction of vacuum metallurgy	247
DK: 669—982 ASM/SLA: D 8M	
Arh Joža dipl. inž., Železarna Jesenice Dr. Vodopivec Franc dipl. inž., Metalurški in- štitut	
Relationship between the formability of low carbon structural steels, and the aluminium and carbon content Part 1	259
DK: 669.14.018.291 ASM/SLA: D 5g, F 216, A 238	
Dr. Vodopivec F. dipl. inž., A. Osojnik dipl. inž., Metalurški inštitut, Arh Joža dipl. inž., Železarna Jesenice	
Relationship between the formability of low carbon structural steels, and the aluminium and carbon content Part 2	265
DK: 669.14.018.291 ASM/SLA: D 5g, M 21e, X 235	
Razinger Anton dipl. inž., Železarna Jesenice	
Stainless Machine-steels	271
DK: 669.14.018.232/.8 ASM/SLA: SSd, SSe	

СОДЕРЖАНИЕ

Dobovišek M. dipl. inž., A. Rodič dipl. inž.,
V. Macur dipl. inž., Železarna Ravne

**Улучшение величины зёрен аустенита и
чистоты стали для цементации** 225

DK: 669.182.33:620.18:620.192.45

ASM/SLA: D 5, M 9—69, M 27C

Prešern Alojz, dipl. inž. Metalurški inštitut

Введение в вакуумную металлургию 247

DK: 669—982

ASM/SLA: D 8M

Arh Joža dipl. inž., Železarna Jesenice
Dr. Vodopivec Franc dipl. inž., Metalurški in-
štitut

**Связь между деформации низкоуглероди-
стой конструкционной стали с её содержа-
нием алюминия и азота. том 1** 259

DK: 669.14.018.291

ASM/SLA: D 5g, F 216, A 238

Dr. Vodopivec F. dipl. inž., A. Osojnik dipl.
inž., Metalurški inštitut, Arh Joža dipl. inž.,
Železarna Jesenice

**Связь между деформации низкоуглероди-
стой конструкционной стали с её содержа-
нием алюминия и азота. том 2.** 265

DK: 669.14.018.291

ASM/SLA: D 5g, M 21e, X 235

Razinger Anton dipl. inž., Železarna Jesenice

**Нержавеющая сталь для обработки на авто-
матах.** 271

DK: 669.14.018.232/.8

ASM/SLA: SSd, SSe

Milan Dobovišek, dipl. inž.
Železarna Ravne
Alenka Rodič, dipl. inž.
Železarna Ravne
Vlado Macur, dipl. inž.
Železarna Ravne

DK 669.182.33 : 620.18 : 620.192.45
ASM/SLA: D 5; M; 9—69; M 27 c

Izboljšanje velikosti avstenitnega zrna in čistoče jekla za cementacijo

S pomočjo različnih metod izdelave surovega jekla za cementacijo, različnih načinov dezoksidacije v elektro obločni peči in načinov litja je mogoče zagotoviti čistočo jekla. Uporaba argona za preprihanje taline v ponovci ter vmesni dodatek aluminija omogočata sigurno doseganje finega zrna ter ugodno razporeditev raznih tipov nemetalnih vključkov v jeklu za cementacijo. Izdelana je cela vrsta različnih metod v 30-tonski el. obločni peči, na podlagi katerih je postopoma prišlo do najbolj ugodne izdelave surovega jekla.

Naloga je bila s pomočjo teamskega dela eksaktno pripravljena ter v rezultatu nudi dovolj sigurne možnosti za doseganje zahtevanih pogojev, ki jih danes postavlja avtomobilska industrija.

Glede na nesigurnost dosedanje izdelave cementacijskega jekla smo si postavili za nalogo:

- doseči garantirano zrno jekla > ASTM 5,
- izboljšati čistočo z zmanjšanjem velikosti vključkov.

UVOD

Zrno cementacijskih jekel grupe Cr-Mn (EC 80, EC 100, ECMo 80, ECMo 100) je bilo zelo pogosto neenakomerno, tako da smo beležili velikosti avstenitnega zrna po ASTM slabše in boljše od stopnje 5. Ker pa zahteva avtomobilska industrija garantirano zrno nad ASTM 5, smo se lotili postopnega izboljševanja situacije z uvedbo raznih metod dodajanja aluminija.

Enake težave so nastopale tudi pri skupini Cr-Ni cementacijskih jekel (ECN 150, 200; ECN 15, 25, 35; ECNMo 100, 150, 200). Druga skupina Cr-nikljevih jekel je bolj delikatna, saj nastopajo tudi lahko razne nevšečnosti v predelavi ingotov v valjarni, če uporabljamo preveč Al za legiranje.

Znana je slaba valjavost oziroma slaba kovnost premočno aluminiranih jekel, ki je lahko posledica premočnega Al nitrida. Delo smo osredotočili v glavnem na iskanje prave jeklarsko-metalurške metode izdelave ingota za prvo grupo cementacijskih jekel, saj smo smatrali, da je zaradi stalnega programa naše jeklarne na Ravnah to najbolj primerno. Nadalje smo osredotočili delo v glavnem na valjavski ingot teže 450 kg za srednjo progo z namenom, da bomo za težke kovaške bloke postopoma prešli na novo tehnologijo, ko bomo osvojili valjavski ingot.

Izhodišče je 450 kg ingot, ki pa za določevanje nečistoč ni ugoden, saj nam nudi po prevalljanju na gredico [] 90 mm le 6-krat predelavo. Tako nizka stopnja predelave pri oceni nečistoč slabše kaže. Ta je največkrat 10-kratna. To moramo pri medsebojnih primerjavah ocen upoštevati.

Razne metode izdelave jekla so kazale različno stopnjo onesnaženosti, različno razporeditev in velikost posameznih tipov vključkov. Nezadovoljiva situacija v proizvodnji cementacijskega jekla pri nas je vodila k iskanju najugodnejše jeklarske metode v proizvodnji.

Naročniki omejujejo s svojimi prevzemnimi pogoji najslabše metalografsko ocenjeno mesto za vsak tip vključkov. Splošna ocena čistoče jekla je izražena s srednjo vrednostjo ocen tridesetih mest na obrusu za posamezne tipe in za vsoto vključkov.

Pri ocenjevanju po skali JK so največkrat omejitve za najslabša mesta naslednje:

- vključki tipa A maksimum 3
- vključki tipa B maksimum 3
- vključki tipa C maksimum 2
- vključki tipa D maksimum 3

Problematika velikosti zrna in čistoče jekla je povezana. Znano je, da nastopa najugodnejše zrno cementacijskih jekel pri koncentraciji kislinotopnega aluminija od 0,015–0,030 %, to znaša dve tretjini ali vsaj polovico aluminija, katerega smo dodali za dezoksidacijo. Ostali aluminij oksidira v aluminijev oksid. Če dosežemo take pogoje, nam dezoksidacija mora omogočiti tvorbo ugodne čistoče jekla kakor tudi drobnega avstenitnega zrna.

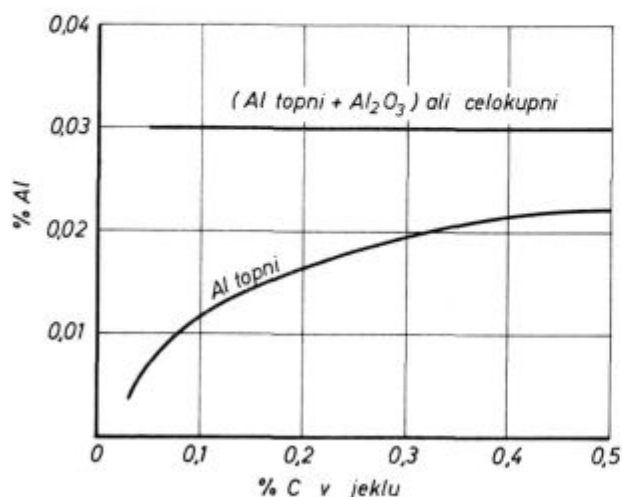


Diagram 1

Odvisnost kislinotopnega aluminija proti celokupnemu v odvisnosti od ogljika.

Diagram 1 shematično prikazuje, kakšen odnos imata celotni aluminij in kislinotopni aluminij v jeklu. Pri koncentraciji 0,03 % Al cel., bi naj bilo 2/3 Al top. in 1/3 Al_2O_3 . Vprašanje je, ali takšno razmerje vedno nastopa. Prav gotovo je tu mnogo drugih zakonov, ki lahko to razmerje spreminjajo v korist enega ali drugega. Verjetno pa je tako, da manjše koncentracije kisika omogočajo ugodnejše razmerje na stran kislinotopnega aluminija, večje koncentracije kisika pa v smeri aluminijevega oksida. Torej, pri jeklih z višjo koncentracijo kisika ali nižjim ogljikom je težje dobiti dovolj kislinotopnega aluminija kot pri jeklih, ki vsebujejo višji ogljik ter nižjo koncentracijo kisika.

Diagram 2 nazorno kaže, kako aluminij oksidira pri legiranju.

Diagram 3 kaže slično sliko, le da tu vidimo, kako oksidira aluminij glede na koncentracijo kisika v jeklu.

Jeklarski problem je torej v tem, kako doseči 0,02 % kislinotopnega aluminija v jeklu; torej legiranje aluminija metalurško pravilno rešiti, da nam ne oksidira preveč. Odločili smo se, da izberemo zaenkrat eno varianto, ki je dala že nekaj zadovoljivih rezultatov. Najbolj sigurna metoda je sicer aluminiranje taline v ponovco med evakuiranjem šarže. Vendar zaenkrat za naše pogoje degazacije jekla ni najbolj ekonomično, ker je kapaciteta evakuiranja še prenizka. Torej nam je pre-

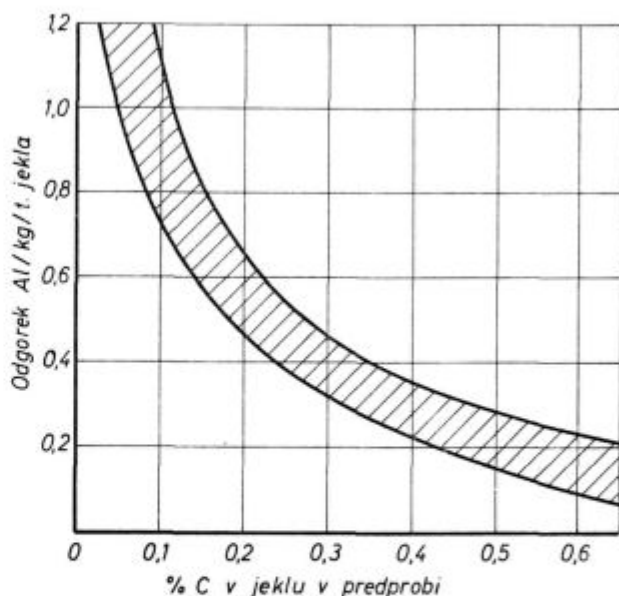


Diagram 2

Odgor aluminija v odvisnosti od koncentracije ogljika v jeklu v času legiranja v talino.

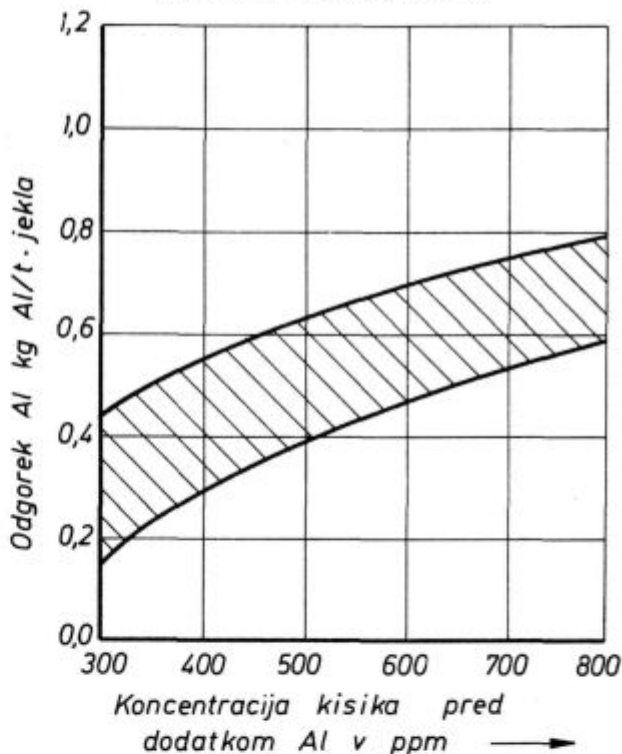


Diagram 3

Odgor aluminija v odvisnosti od koncentracije kisika pred dodatkom aluminija v peč.

ostala metoda brez degazacije jekla, vendar z uporabo argona za prepihanje taline v sami ponovci.

Potek metalurgije je bil naslednji:

šaržo se je privedlo v 30-t el. obločni peči do izpusta s približno koncentracijo ca. 0,02 % Alcel, nato se je talino prepihal z argonom v ponovci ca. 3–4 minute. Takoj je sledila proba na analizo celotnega aluminija. Analiza je bila možna, saj se

da narediti prej kot v 5 minutah na kvantometru. Tako se je na analizo čakalo, seveda s prekinitivjo pihanja z argonom. Ko je bila javljena kemična analiza na celokupni aluminij, se je računsko dodal Al na 0,03 %. Nato se je ponovno talina preprihovala z argonom ca. 3—4 minute. Po dveh nadaljnjih minutah se je šarža pričela liti sifonsko v kokile. Računati je skoraj s 15 minutami od preboda do začetka litja šarže v kokile. Ko pa se postopek upelje in ko se osvoji tehnika legiranja Al in časov čakanja, ni več treba dajati analize na Al med preprihovanjem taline z argonom.

Tako smo tudi v našem primeru uknili dajanja prob na kemično analizo celokupnega Al med pihanjem taline z argonom. Začeli smo dodajati konstantno količino aluminija, ga potopili s pomočjo droga skozi žlindro v talino. Naš dodatek aluminija je bil od 10 do 13 kg, za 30 ton taline, kar je bilo odvisno predvsem od kvalitete jekla oz. od odstotka ogljika v jeklu. Praksa je pokazala, da se zdaljšo uporabo metode more sigurno doseči željen kislinotopni aluminij v območju od 0,013 do 0,025 %. To pa je že garant za drobnno zrno jekla. Metoda je zelo zanesljiva in zagotavlja več kot 95 % šarž z drobnim avstenitnim zrnom.

Obdržati je bilo treba izdelavo teh šarž s pomočjo ene same žlindre (oksidne). Šaržo smo namreč preddezoksidirali s FeAl ali Al, dolegirali FeMn in FeCr ter FeSi. Bela žlindra (difuzijska dezoksidacija) ne nudi posebnih prednosti za čistočo jekla. Je pa metoda dveh žlinder mnogo dražja, dolgotrajna in za takšna masovna jekla neekonomična. Mogoče drži, da je možno na način dveh žlinder po klasični metodi izdelave doseči v vsoti vključkov nekoliko bolj čisto jeklo, v nobenem primeru pa ne dosežemo tako ugodne razporeditve ter sigurnosti nastopanja bolj drobnih vključkov, posebno globulitnih (D) in silikatnih (C). To da lahko uporabimo eno samo žlindro za izdelavo legiranih jekel, pa brez dvoma omogoča argon za preprihovanje taline skozi porozni čep v ponovci. Pri tem moramo posebno paziti na sestavo žlindre, ki naj bo dovolj tekoča, da se med preprihovanjem ne odkriva, kar bi imelo za posledico sekundarno oksidacijo taline s kisikom iz zraka. Ravno tako je pravilno uravnnavati količino dodanega argona skozi porozni čep v ponovco.

Ker je poznano, da previsoke koncentracije aluminija v jeklu, prevelika količina in oblika sulfidnih vključkov, povzročajo tudi trakavost, moramo šarži dodati samo toliko aluminija, kolikor ga zahteva meja kislinotopnega aluminija, ravno tako pa šaržo dovolj odžveplati tudi pod eno samo žlindro. Pozneje bomo ugotovili, da smo le morali uvesti za odžveplanje dodatno hitro taljivo žlindro po legiranju v peč FeMn, FeCr in FeSi, vendar je ta žlindra samo v majhnih količinah ter le kakih 10—15 minut v peči.

Poudariti je treba še eno slabo stran naših poizkusov. Namreč za preprihovanje taline z argonom bi morali imeti ustrezno obzidavo ponovce, vendar smo zaenkrat naredili poizkuse na naših

običajno zidanih ponovcah s šamotno opeko. Poizkušali pa bomo še s ponovco, ki bo imela v višini žlindre silimanitno ali kakšno drugo opeko z visokim Al_2O_3 . Ravno tako bomo pri teh poizkusih uporabljali zamašne drogove, ki bodo v zgornjih delih zazidani z opeko visokega Al_2O_3 . To bo imelo ugodne posledice na manjšo abrazijo oz. kemično reakcijo med žlindro in opeko, kar naj bo dodaten tehnoški ukrep za še boljše čistočo jekla.

V praktičnem delu te naloge smo torej opravljali poizkuse po metodi preprihovanja taline z argonom in vmesnega aluminiranja za doseg koncentracij kislinotopnega aluminija 0,013—0,025 % na kvalitetah EC in ECMo. Razne variante metalurgije izdelave jekla od klasičnih metod izdelave na dve žlindri do metod z eno žlindro smo preizkusili na 30-tonski el. obločni peči, kar v rezultatih pozneje tudi prikazujemo. Za nekatere od metod smo preizkusili tudi nekaj variant, ki so označene z A do K.

Metoda I je metoda z uporabo dveh žlinder in daljšo rafinacijo. Po njej smo že pred leti izdelovali cementacijska jekla. Vložek je običajen z dodatkom 5 % surovega železa ter dodatka nizko legiranih odpadkov do 0,5 % Cr v 1. probi, prav toliko tudi mangana. Ogljik naj bo v 1. probi za 30-tonsko el. obločno peč vsaj 0,4 % C višji od srednje meje zahtevane analize jekla kvalitete, ki jo izdelujemo. Torej, oksidacija naj bo vsaj za 0,4 % C. Šarža poteka z normalno oksidacijo plinastega kisika (brez žel. rude). Začetek oksidacije je pri 1570—1600° C. Normalno izkuhanje ca. 30 minut, potegnitev oksidne žlindre pri temperaturi 1630—1640° C. Na golo kopel sledi dodatek 150—170 kg SiMn za 30 ton. taline ter nova žlindra $CaO + CaF_2$ (ca. 2 % od teže kovinskega vložka). Žlindra se obdela z dezoksidanti C + FeSi (prah—zdrob), nato se dolegira FeCr, ki mora biti v talini vsaj 40 minut, nato se doda FeMn in talina se vseskozi dezoksidira prek žlindre z drobnim FeSi + C + ev. CaO ter premešava z drogom (grebljico). Dodatek kosastega FeSi 10—15 minut pred izpustom, 2 do 3 minute pred izpustom taline se doda 0,7—1 kg Al/tono. Jeklo skupno z žlindro izteče iz peči pri temperaturi 1610—1630° C. V ponvo sledi dodatek 1 kg CaSi/tono jekla.

Metoda II je metoda z uporaba dveh žlinder, vendar je rafinacija krajša za vsaj polovico časa, torej traja samo še 30—40 minut. To je metoda legiranja vseh elementov na golo kopel brez predhodne dezoksidacije z aluminijem, ki se doda na koncu. Do potegnitve oksidne žlindre je ta način identičen s prvo metodo. Po potegnitvi žlindre se na golo kopel doda C, nato FeSi do 0,30 % Si, SiMn do 0,6 % Mn za Cr-Ni jekla, medtem ko za Cr-Mn jekla lahko še več mangana. Tudi FeCr se doda čim hitreje v kopel. Pri 1600° C se talina difuzijsko dezoksidira skozi novo narejeno žlindro iz $CaO + CaF_2$ (1,5 % od teže metalnega vložka), vse dokler ne dobi rumenkasto-rjave barve. Nato se doda 0,7 kg Al/tono v peč tik pred iz-

pustom. V ponovco ne dodamo nobenih dodatkov. Temperatura preboda znaša 1590—1610° C.

Metoda III z varianto H. Šarža se normalno izdelava do konca oksidacije kot prejšnji dve metodi. V času začetka vleka žlindre je temperatura taline 1650° C (torej višja). Po potegnitvi 90 % žlindre, se doda ca. 170 kg FeMnSi/30 ton taline. Sledi bela žlindra v količini 2 % teže metalnega vložka ter dodatek FeSi do končne koncentracije. Takoj po dodatku FeSi sledi dodatek Al in na koncu po enourni rafinaciji ter obdelavi žlindre s C + FeSi prahom in legiranjem FeCr, FeMn sledi še ponovni dodatek 0,5 kg Al/tono. Izpust šarže poteka pri 1610° C do 1630° C. V ponovco se doda 1 kg CaSi/tono jeklove taline.

Metoda IV z variantami A, C, G zahteva preddezoksidacijo taline s FeAl. Postopek je identičen kot prej vse do konca oksidacije. Po potegnitvi polovice žlindre dodamo 2 kg FeAl/tono taline ter takoj nato FeMn + FeCr. Šarža se temeljito premešuje ter po 15—20 minutah izpusti v ponvco. Temperatura ob dodatku FeAl znaša 1660° C, pri izpustu pa 1640—1650° C. V ponovco se doda 1 kg CaSi/tono jekla, po potrebi za fino zrno še 0,5—0,7 kg Al/tono. Po odlitju se talina po 7—10 minutnem čakanju v livni jami sifonsko odlije.

Metoda V z variantami B, D, E, F je podobna kot IV, vendar s to razliko, da se v ponovco doda le 0,2 kg Al/tono za EC 80, ECMo 80, EC 60, medtem ko se za EC 100, ECMo 100, ne doda nič Al v ponovco. Šarža se prepriha z argonom skozi porozni čep v ponovci ca. 4 minute, nato pa se doda 10—13 kg Al/30 tonsko talino za dosego finega zrna ter ponovno piha z argonom 3—4 minute. Šarža se sifonsko vlija v kokile.

Metoda VI z variantama J, K je enaka kot prej do izkuhavanja po oksidaciji. Izkuhavanje je krajše. Temperatura po oksidaciji (izkuhavanju) je 1650—1670° C. Po delovanju dveh elektrod, izvršimo čim hitrejši vlek 80 % žlindre. Talina se preddezoksidira z dodatkom 1 kg Al/tono (na drogu). Obdržati je treba temperaturo čim višje. Na golo kopel se dolegira FeMn in FeCr, naredi se za 0,5 % teže vložka nove žlindre iz CaO + CaF₂ da je talina pokrita. Talina se izpusti pri temperaturi 1650—1660° C v ponovco — brez žlindre, katero se zadrži v peči. FeSi se doda v ponovco, doda se še 1,5 kg CaSi/tono taline, ki mora biti naenkrat dodan oziroma katerega se vrže ob 1/3 napolnjene ponovce pod curek jekla. Doseže se močna reakcija. Šarža se prepriha z argonom ter doda ca. 10 kg Al/30 ton za EC 100, ECMo 100 ter 13 kg Al/30 ton za EC 80, ECMo 80 kvalitete. Ponovno se piha z argonom 3—4 minute. Nato se počaka pred litjem kake 2—3 minute in vlija šaržo sifonsko v kokile.

Metoda VII z varianto I zahteva dezoksidacijo s prašnatimi dezoksidanti FeSi + Al, vpihanimi s komprimiranim zrakom po končani oksidaciji. Ravno tako tudi z vpihavanjem teh dezoksidantov s pomočjo argona. Zrak ali argon nista dala različnih rezultatov. Ker je argon dražji, smo ostali

pri komprimiranem zraku pri nadaljnjih poizkusih po tej metodi. Na splošno smo izgubili preveč Si in Al.

Komentar k tem metodam in njihovim variantam, bi bil na kratko ta:

K metodam I, II, III, IV, V, VI, VII nas je peljala teorija mehanizma dezoksidacije jekel z različnimi dezoksidanti. Zanimive so hitrosti izločanja dezoksidacijskih produktov ter oblike vključkov. Nadalje je zanimiva uporaba CaSi kot končnega dezoksidanta oz. regulatorja dezoksidacijskih produktov v sami ponovci, ki smo ga za dezoksidacijo uporabljali.

Po našem mnenju je *metoda I* — klasična — zastarela. Omogoča sicer poprečno zadovoljivo čistočo jekla, vendar se tu zelo radi pojavijo grobi tipi vključkov, globularnih oksidov ali silikatov, ki imajo za posledico lokalne napake, redke grobe vključke, ki se posebej vidijo na modrem lomu ali stopničastih probah. Metoda je dolgotrajna in draga, saj traja izdelava šarž vsaj 6 ur. Tega pa cena cementacijskega jekla več ne prenese.

Metoda II — legiranje na golo kopel vseh elementov razen aluminija je sicer krajša, saj omogoča izdelavo šarže v 4—4 in pol urah, vendar ima za posledico redko sredino ingotov, kjer se pogosto pojavljajo grobi vključki ter pri težjih ingotih medkristalne razpoke (pseudokosmiči), podobno kot pri metodi I.

Metode III, IV, V, VI in VII so zelo hitre metode. To je metalurgija taljenja v glavnem na eno žlindro. Trajanje šarž je 3 in pol do 4 ure. Metode se razlikujejo med seboj po načinu dezoksidacije in rafinacije. Prinašajo različno obliko tipov vključkov kot njihovo različno razporeditev. Simpatična je metoda VI z uporabo argona za preprihovanje taline v ponovci. Daje sigurno zrno, sorazmerno čisto jeklo z minimalnim kisikom po preprihovanju taline z argonom.

Ker pa je osnovni pogoj za doseganje čistega jekla efektna dezoksidacija taline, si oglejmo še nekaj podatkov, katere prinaša literatura s tega področja. Na podlagi raznih podatkov iz literature ter iz lastne prakse v metalurgiji dezoksidacije jekla smo šele prišli na praktične poizkuse z izdelavo šarž ter njihovo ocenitvijo.

IZLOČANJE DEZOKSIDACIJSKIH PRODUKTOV

Dezoksidacija jeklovih talin ima namen vezati v jeklu koncentrirani topni kisik in ga prek v jeklu netopne spojine privedi do izločanja iz taline. To se dogaja pri pomirjenih jeklih s pomočjo končne dezoksidacije. Ko dodamo dezoksidacijska sredstva, nastali oksidi v tekočem jeklu niso več raztopljeni, ampak se zadržujejo kot emulzija ali suspenzija. Imajo nižjo specifično težo kakor tekoče jeklo, zato tudi tendenco izločanja ter plavanja proti površini taline — v žlindro. Pri dokončni dezoksidaciji moramo razlikovati dva momenta:

— končno reakcijo, s katero nastanejo dezoksidacijski produkti med kisikom, topnim v jeklu, in dezoksidacijskim sredstvom ter

— fizikalni mehanizem tvorbe in izločanja oksidnih vključkov.

S pomočjo takšne dezoksidacije dosežen čim nižji kisik v tekočem jeklu se da preračunati s pomočjo ravnotežnih reakcij. Tako sorazmerno hitro dosežejo ravnotežne pogoje.

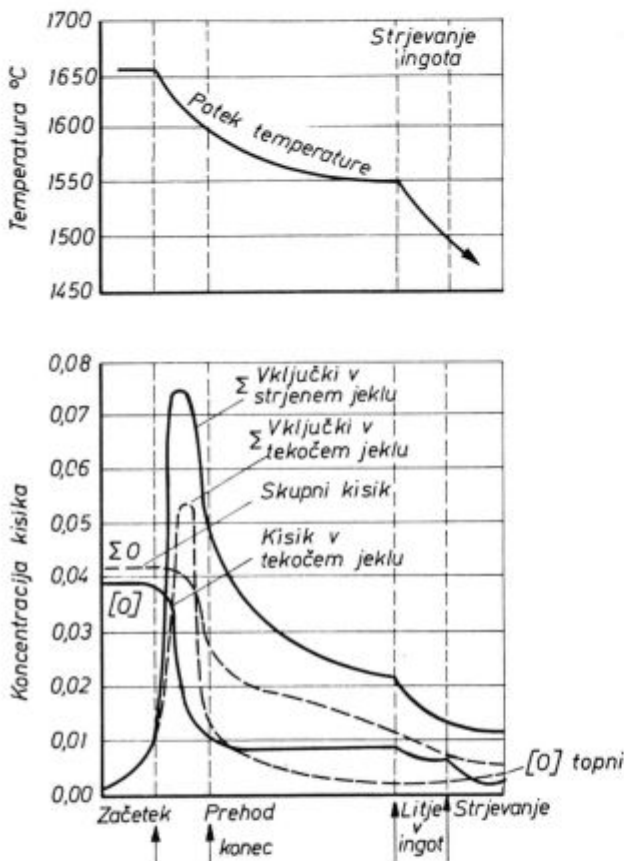


Diagram 4

Shematični prikaz poteka dezoksidacije jeklove taline.

Shematični diagram 4 kaže koncentracijo skupnega kisika taline ob koncu oksidacije 0,042 %, ki sestoji iz topnega kisika koncentracije 0,040 % in malega dela kisika, ki je vezan na netopne okside. Po preiskavah, ki jih navaja E. Plöckinger¹, je del teh netopnih oksidov v talini nepomemben.

Z dodatkom dezoksidacijskega sredstva, v tem primeru 0,25 % Si, se zniža kisik taline hitro na vrednost ravnotežja 0,012 % O pri 1600° C. Ta vrednost se spreminja s padajočo temperaturo v ponovci ter končno v ingotu pri strjevanju. Končno prosti kisik v jeklu skoraj izgine. Velika količina vključkov se more izločiti že med izpustom šarže v ponovco ali če se šarža dezoksidira v peči, že v sami peči. Ostanek se izloča bolj počasi in ta nam povzroča ravno največ težav. Samo netopni oksidi se lahko izločajo, kot kaže shema-

tično črtkana linija v diagramu. Če vzamemo probo, npr. iz kopeli, ki vsebuje še 0,05 % suspendiranih oksidov, določimo v strjenem jeklu količino vključkov ca. 0,025 %. V teh 0,025 % vključkov je del primarnih 0,005 %, kateri je bil v tekočem jeklu in 0,020 % sekundarnih vključkov, ki so nastali pri strjevanju probe s pomočjo še preostalega topnega kisika v tekočem jeklu. Iz skice se torej vidi, da je 0,020 % vključkov sekundarnega izvora. Nadalje se vidi, da se količina vključkov znižuje zaradi še nadaljnega izločanja v ponovci kot tudi pri litju in strjevanju jekla v ingotu zaradi padanja temperature. Znižujejo se primarni pa tudi del sekundarnih vključkov (oksidov), saj se tudi ravnotežja s temperaturo spreminjajo. Računati je treba, da talina vsesava iz zraka dodaten kisik, ki povečuje koncentracijo sekundarnih oksidov. Iz diagrama jasno razberemo naslednje zahteve:

1. Tekoče jeklo naj ima v ponovci pred izlitjem v kokile čim nižjo vsebnost kisika v ravnotežju, da bi količina nastalih sekundarnih oksidov (vključkov) zaradi težkega izločanja dezoksidacijskih produktov v kokili med strjevanjem bila čim nižja.

2. Izločanje primarnih dezoksidacijskih produktov naj bo do začetka litja v kokile končano.

Prvi pogoj lahko dosežemo s pomočjo močnih dezoksidacijskih sredstev, če njih uporabo pogojujemo tehnološke zahteve izdelanega jekla. Drugi pogoj pa je tisti, katerega mora preštudirati vsaka jeklarna za vsako vrsto jekla, da doseže optimalno dezoksidacijo. Pri iskanju teh poti so se razvile mnoge diskusije, ki so razpravljale, ali je ugodnejše dezoksidirati jeklovo talino na grobe dezoksidacijske produkte ali na fine. Namreč, trdi se že dolgo, da veliki tekoči dezoksidacijski produkti lažje plavajo iz jeklove kopeli kot mali, če imajo enako specifično težo. Še obstaja mnenje, da se izločajo hitro oni vključki, ki imajo veliko koagulacijsko sposobnost, dalje, da morajo nastale oksidne faze v jeklovi talini biti tekoče. Oni oksidi, ki imajo po nastali dezoksidaciji visoka tališča, se ne izločajo ефектно. Zaradi teh mišljenj se v nekaterih jeklarnah še vedno uporablja dezoksidacija na mangansilikate, ker imajo zaradi svoje kemične sestave nizka tališča, ko nastopajo v jeklovi talini.

Pozneje so dognali Plöckinger, Rosegger^{2,3} pri dezoksidaciji jeklove taline z aluminijem, da ravno nasprotno k prej omenjeni teoriji aluminijevi oksidi hitreje in efektneje splavajo iz taline kot silikati. Fischer in Wahlster⁴ sta dognala, da nastopa ogromna razlika med primarnimi in sekundarnimi vključki pri dezoksidaciji s silicijem ter dokazala, da trdni silikati sploh ne nastopajo, ampak da so ti vključki tekoči in koagulirani. Izločajo se počasneje in potrebujejo za efektnejše izločanje premešavanje taline, kar jim omogoča zelo ugodno izločanje.

TVORBA PRIMARNIH DEZOKSIDACIJSKIH PRODUKTOV

Poizkusi v laboratorijih so pokazali, da v nekaj sekundah po dodatku dezoksidacijskih sredstev za vsak dezoksidacijski element nastopajo oksidne faze in tipi oksidov, ki so pogosto drugačni kot oni, ki so jih opazili po jemanju prob iz ponovce. Imajo druge fizikalne lastnosti.

Taline, dezoksidirane s silicijem, dajejo takoj po dodatku silicija tekoče, dobro koagulirane steklaste vključke, ki kažejo močno homogenost (98 % SiO_2), velikosti ca. 50 mikronov. Pri dezoksidaciji s titanom se tvorijo po zelo kratkem času veliki vključki. Sestava teh vključkov kot primarnih oksidov je iz različnih faz, ki so pod mikroskopom celo vidne. V njih se vidi metalno železo. Velikost vključkov je 150–200 mikronov. Ti vključki so dosedaj največji (primarni). Vsebujejo preko 90 % TiO_2 .

Dezoksidacija z aluminijem je pokazala, da se do 30 sekund po dodatku aluminija tvorijo vključki, ki so znatno manjši, le v posameznih primerih pride do bolj grobih oblik. Vključki se izredno hitro izločajo (splavajo). Velikost teh je 30–50 mikronov. Analiza Al_2O_3 je preko 97 %.

Dezoksidacija s cerom, ki ima kot oksid tališče šele pri 2600°C, daje še slabšo koagulacijsko sposobnost vključkov — primarnih oksidov. Velikost teh je 60–100 mikronov. Izločajo se zelo počasi.

Dezoksidacija s cirkonom, katerega oksid ZrO_2 ima tališče pri 2700°C, se kot primarni oksid ne koagulira. Tvori samo fine vključke premera ca. 10 mikronov in 93 % ZrO_2 v izolatu.

Dezoksidacija s silikomanganom daje vključke, podobne dezoksidaciji s silicijem, le da so vključki zaradi 20–30 % MnO nekoliko temnejše obarvani in ravno tako steklasti. Velikost je podobna kot pri silicijevih vključkih.

Koagulacija dobro tekočih silikatov z vsebnostjo CaO po dezoksidaciji s CaSi daje podobne vključke kot silicij in silikomangan, vendar se tu opaža v notranjosti primarnega oksida še druge faze. Velikost teh je 30–50 mikronov. Vsebujejo poleg SiO_2 tudi ca. 6 % CaO . O uporabi CaSi za dokončno deoksidacijo — bomo še posebej razdonočno dezoksidacijo bomo še posebej razpravljali.

Dezoksidacija s Ca-Al se malo razlikuje od dezoksidacije s čistim aluminijem. Ta dezoksidant tvori bolj homogene vključke kot sam aluminij. Velikost teh je 25–40 mikronov. Analiza kaže ca. 90 % Al_2O_3 . Njihova eksistenca je kratka, ker se kot aluminijevi zelo hitro izločajo.

Iz teh podatkov se da zaključiti, da zaradi nastopajoče eksotermne reakcije pri tvorbi oksidov tvorijo praktično skoraj vsi dezoksidacijski elementi razen cirkona tekoče dezoksidacijske produkte, če v njih ni preveč železa.

Praksa uporabe različnih dezoksidantov je pokazala, da imajo posamezni od prej omenjenih

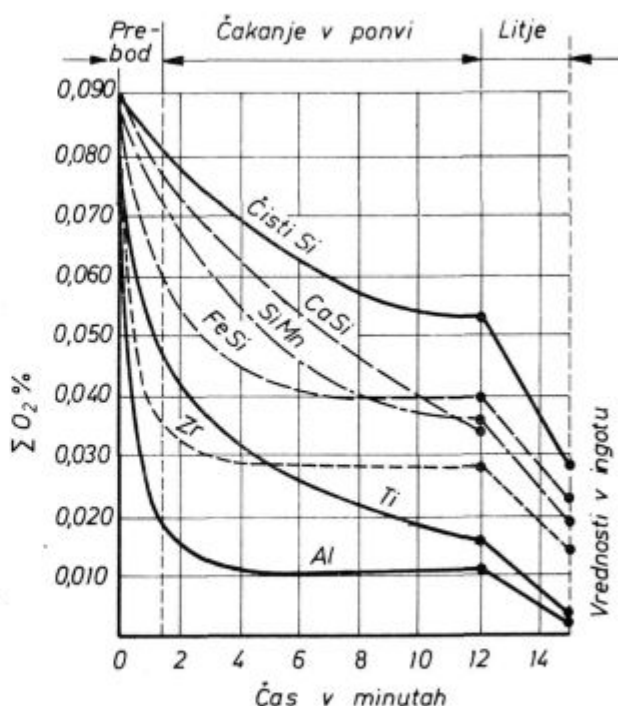


Diagram 5

Sprememba celokupnega kisika po dodatku različnih dezoksidacijskih sredstev.

različno dezoksidacijsko sposobnost in različno sposobnost izločanja primarnih oksidov pri dezoksidaciji. Diagram 5 shematično prikazuje, kako se izločajo dezoksidacijski produkti pri dezoksidaciji z omenjenimi dezoksidanti. Iz tega diagrama je razvidno, da je hitrost izločanja različna, s čimer se da sklepati na najefektnjši način dezoksidacije taline.

Če primerjamo potek izločanja po tem diagramu, sledi, da lahko glede na izločanje razdelimo dezoksidacijska sredstva v tri skupine:

1. Dezoksidacijska sredstva, ki v prvih minutah dezoksidacije slabo znižujejo kisik v jeklovni talini, pri katerih pa se še nadalje izloča kisik (v obliki primarnih oksidov) v času čakanja s ponovco v livni jami pred začetkom vlijanja v kokile. Sem prištevamo silicij ter druge, silicij vsebujoče dezoksidacijske legure, kot SiMn in CaSi .

2. Dezoksidacijska sredstva, ki neposredno po njihovi raztalitvi v jeklu vežejo pretežni del topnega kisika in tvorijo spojine v obliki hitro izločajočih primarnih oksidov iz jeklove taline. Daljše čakanje s ponovco ne prinese nobenega uspeha oz. bistvene spremembe. K tej skupini spadajo aluminijevi produkti, titanove legure, feroaluminij in kalcijaluminij.

3. Dezoksidacijska sredstva, ki kljub sorazmerno hitremu izločanju dela primarnih reakcijskih produktov povzročajo neugodne fizikalne lastnosti dezoksidacijskih produktov. Celo pri daljšem čakanju s ponovco ostane sorazmerno veliko celokupnega kisika. Sem spada cirkon.

Nadaljnji padec celokupnega kisika sledi še pri samem strjevanju taline v ingotu, kjer je splavanje oksidov še vedno mogoče.

Izločanje dezoksidacijskih produktov je tako popolno, da ostanejo v jeklu po nekaj minutah le še zelo majhni vključki velikosti ca. 2 mikrona. Grobi vključki splavajo. Pri cirkonu se to ne menja, vključki so od začetka do konca dezoksidacije male velikosti, vendar jih je manj kot pri drugačnih dezoksidacijah, ker jih en del splava.

Če sedaj sumiramo, kje lahko pričakujemo padec celokupnega kisika oz. izločanje oksidnih vključkov, najdemo to v štirih momentih dezoksidacije in vlivanja:

1. v času preboda neposredno po dodatku dezoksidantov,
2. pri čakanju s ponovco pred začetkom litja,
3. med vlivanjem jekla v kokile in
4. v vlitem ingotu do končne strditve.

Za izločanje neposredno po dodatku dezoksidantov pod točko (1), veljajo naslednji momenti:

Med izpustom je talina v turbulentnem premikanju, ko teče v ponovco. To turbulenco povzroči tok jekla v ponovco. V ponovci, ko je praktično že polna, lahko opazujemo premikanje in vretje taline še kake 3 minute. V tem času se talijo dezoksidanti, katere smo dodali na dno ponovce ali v curek jekla ob izteku iz peči. Sedaj se ustvarjajo reakcije med kisikom v talini in dodanimi dezoksidacijskimi elementi, nastajajo pa dezoksidacijski produkti.

Pri tem izločanju pa ne igra toliko vloge velikost vključkov, saj se mali Zr-oksidi ravno tako izločajo do gotove koncentracije, kot na primer veliki titanovi oksidi. Če bi veljalo pravilo, da se ob izlivu v ponovco izločijo najprej grobi dezoksidacijski produkti, protem bi se v prvi vrsti izločili silikati, ker so bolj grobi kot aluminati. To pa ni primer, saj je dokazano, da se izločijo aluminati že po treh minutah, ne glede na to, da so manjši, zelo hitro in tako temeljito, da jih ostane le še kakih 15 % od izhodne vrednosti. Medtem ko se silikatov v tako kratkem času izloči 50 %, jih ostane še 50 % v talini. Če mislimo, da se specifično lažji vključki (oksidi) prej izločijo, se motimo, ker je tudi na tem področju dokazano, da se specifično lažji SiO_2 vključek, ki ima specifično težo le 2,0, počasneje izloča kakor aluminatni (oksid), ki je težji in ima specifično težo 3,8. Osnova izločanja leži na površinskih napetostih posameznih oksidov, ki so večje tedaj, ko v talini ostane manj prostega kisika po dezoksidaciji, to pa se zgodi pri dezoksidaciji taline z močnimi dezoksidanti kot Al, Zr, Ti.

V drugem obdobju izločanja vključkov v času, ko čakamo s polno ponovco od 3 do 12 minut, se preneha turbulentno premikanje taline. Jeklo je v ponovci samo že v rahlem premikanju, razen če se ne uporabi argon za turbulentno premikanje taline v ponovci. Brez argona povzroča rahlo pre-

mikanje termična konvekcija. V tem času se praktično izločajo samo veliki vključki. Mali vključki se izločajo zelo težko ali pa sploh ne, posebno če so njihove velikosti le kakih 10 mikronov. Torej sama toplotna konvekcija ne zadostuje več, da bi se mali vključki še lahko izločali. Zmanjšanje števila vključkov se pri malih aluminijevih in cirkonovih vključkih ne more več pojaviti, saj imajo ti vključki temperaturo tališča višjo, kot je ona v ponovci, kot trdni, pa se ne morejo več koagulirati. Podobno velja tudi za titanove vključke. Drugače pa se obnašajo čisti silikatni vključki ali vključki bogati s SiO_2 . Oni se lahko še vedno izločajo oz. koagulirajo med čakanjem s ponovco.

Uspeh izločanja večjih dezoksidacijskih produktov (vključkov) je pogojen tem bolj takrat pri čakanju s ponovco, čim več je možnosti koagulacije nizkotopnih oksidov v večje oblike. Takšno obnašanje kaže dezoksidacija s silikomanganom.

Izločanje v tretjem in četrtem obdobju, pri litju jekla v kokile in pri strjevanju ingota je mogoče določiti skupno. Največjo zaslugo za to nadaljnje izločanje ima brez dvoma turbulentno gibanje taline med litjem, medtem ko je splavanje vključkov med strjevanjem ingota minimalno možno, ker rast kristalov to že močno preprečuje. V glavnem se tu izločajo grobi eksogeni vključki sekundarnega nastanka. Je pa možnost splavanja delno tudi za Zr in Al vključke v času začetka strjevanja v kokili. Tudi tu igra glavno vlogo turbulenca.

Ugotovili smo, da je turbulentna talina eden važnih (najvažnejših) pogojev za efektno izločanje vključkov (dezoksidacijskih produktov) iz jeklove taline. Pokazali smo štiri glavna obdobja, kjer lahko splavajo vključki. Če je to tako, zakaj bi ne dosegli še dodatnih možnosti znižanja kisika v jeklu oz. znižanje vključkov, če talino preprihomo v ponovci z argonom. Dosežemo dodatno turbulenco in nadaljnjo možnost znižanja vključkov.

Iz vseh teh razglabljanj se vidi, da je možno v obratu topilnice jeklo tako dezoksidirati, da se doseže minimalna koncentracija primarnih oksidov v jeklu, če se za dezoksidacijo izberejo efektne dezoksidanti. Ne smemo pa zanemariti dejstva, da vsaka najmanjša koncentracija ostalega prostega kisika oz. tudi kisika iz atmosfere povzroča sekundarno oksidacijo taline ves čas od zlitja iz peči do strjevanja ingota, kar ima za posledico različno količino sekundarno nastalih vključkov. Torej gre tudi skrb, da se talina čimbolj zaščiti pred zrakom iz atmosfere.

Sedaj smo govorili o čim večjem znižanju kisika v gotovem jeklu. To je seveda osnovni pogoj za čisto jeklo. Na področju študije nemetalnih vključkov oz. dezoksidacijskih produktov pa se bolj proučuje takšna dezoksidacija talin, ki nam omogoča doseči vključke samo določenih fizikalnih lastnosti, kateri so pri nadaljnji predelavi in v končnem proizvodu najugodnejši, posebno, kar se tiče same razporeditve.

Če še enkrat pogledamo krivulje izločanja vključkov, dobimo sliko, ki jo kaže diagram 6. Tu vidimo, da se najefektnейše izloča Al_2O_3 , pri dezoksidaciji z aluminijem.

Mnenje mnogih metalurgov, Wahlster^{5,6} da odigra pri končni dezoksidaciji tekočega jekla v ponovci važno vlogo tudi CaSi kot dezoksidant, je zanimivo ter odkriva posebno področje, ki ga je vredno upoštevati.

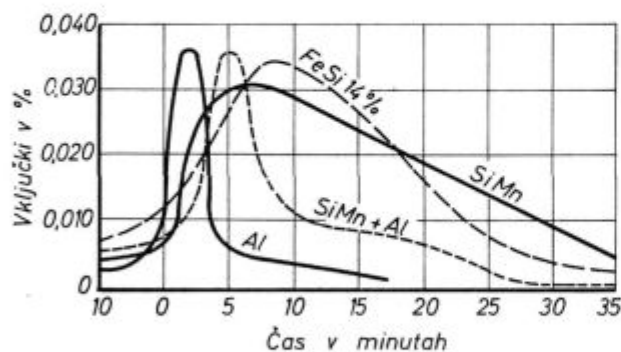


Diagram 6
Količina vključkov v odvisnosti od časa po dodatku različnih dezoksidantov.

Omenili smo že, da so v glavnem sulfidi in oksidi vzrok za nevarne defekte v končnih jeklovih proizvodih. Ko se odločimo za funkcionalnost odkovka, valjanca ali ulitka, so predvsem važni: geneza, oblika, velikost in množina ter končna razporeditev vključkov. Tako ponovno vedno pridemo do dejstva, da kljub enaki kemijski sestavi, toplotni predelavi jekla, dobimo razlike v fizikalno-mehanskih lastnostih jekla.

Odločujoči vpliv imajo torej: število, velikost, razdelitev oksidov in sulfidov v jeklu.

Ker po končni dezoksidaciji jeklove taline le še ostane določena količina vključkov v jeklu, saj leži koncentracija kisika v tehnično pomirjenih talinah celo štirikrat višje, kot to kaže teoretični račun ravnotežja med raztaljenim kisikom in dezoksidacijskim elementom. Ti vključki zmanjšujejo mehanske sposobnosti jekla. Doseči moramo, da se ti vključki tako pojavljajo, da vplivajo na kvaliteto le v zeleni smeri.

Kot dezoksidacijski produkt igra kalcij posebno vlogo, če ga primerjamo z Al, Si ali Mn. Kalcij je v jeklovih talinah praktično netopljiv in tvori pri temperaturah tekočega jekla pritisk, večji od ene atmosfere. Pri dodatku dezoksidantov na bazi kalcija izide iz taline vsaj del kalcija v obliki pare, ne da je prej posredoval kot dezoksidant. Ostanek tega elementa pa služi kot dezoksidacijsko sredstvo in prinaša s svojo netopnostjo jeklu določene kvalitete prednosti.

Praksa je pokazala, da se more pri dezoksidaciji s kalcijem doseči v ponovci dodatne ugodnosti:

1. Kisik se v jeklu zniža do nižjih vrednosti, kot jih omogoča normalna dezoksidacija brez CaSi.

2. Oksidi iz Al_2O_3 (aluminati) se z dodatkom kalcija modificirajo in se izboljšajo pogoji izločanja vključkov s pomočjo večje koagulacije.

V praksi se postavlja zahteva, da se mora kisik najprej maksimalno znižati z glavnim dezoksidantom, le na ostanek kisika se vpliva z dodatkom CaSi. O uporabi CaSi se precej piše v ruski in japonski literaturi. Tudi M. Wahlster je sam veliko študiral vpliv CaSi na dezoksidacijo jekla ter na druge ugodnosti v jeklu.

Na poizkusih dezoksidacije s kalcijem je delal Cehanski⁷, in to na kvaliteti St 37.11 ter St 52. Uporabljal je leguro CaSiAl s ca. 15 % Al. Dodatki so znašali 1,5 do 2 kg/tono taline v curek jekla ob izpustu v ponovco.

Diagram 7 kaže, kako pada pogostost skupnih vključkov, silikati le rahlo naraščajo. A. Schröberl⁸ trdi, da je pri 18/8 nerjavnem jeklu dosegel najboljšo čistočo z dodatkom 1,5 kg CaMnSi/tono v ponovco. Aluminij je dodal že pol ure pred izpustom taline. Tudi jekla za tračnice so pokazala pri dodatku CaSi najboljše lastnosti. Posebno pa se CaSi obnese pri kontinuiranem vlivanju, saj so vršili poizkuse celo z 2,2–3 kg CaSi/tono ter 0,3–0,5 kg Al/tono za dezoksidacijo.

V. Watanabe (navaja Wahlster⁶) je s sodelavci dognal:

1. Z dodatki CaSi se koncentracija kisika v jeklovi kopeli v 10–15 sekundah zniža na čim nižjo možno stopnjo. Kalcij se kot element takoj porabi.

2. Velikost degazacijskih produktov po dezoksidaciji s CaSi se poveča za dvakrat hitreje kot pri dezoksidaciji s FeSi.

3. Pri dezoksidaciji s FeSi rastejo vključki difuzijsko (počasi), pri dodatku CaSi pa se samo stečejo skupaj.

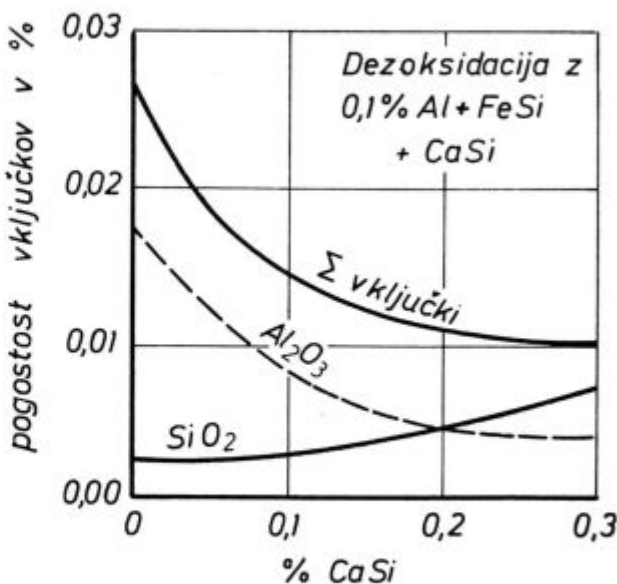


Diagram 7
Vpliv dodatka CaSi za dezoksidacijo na padec količine vključkov v jeklu.

M. Wahlster⁶ je preizkušal dodatek CaSi na 10-tonski in 100-tonski el. obločni peči. Izbral je jeklo sestave 0,13—0,17 % C, 0,35—0,40 % Si, 1,10—1,30 % Mn, max. 0,01 % P, max. 0,030 % S, min. 0,02 % Al. Žveplo pred izpustom je bilo 0,03 % v talini. Zlindro so po oksidaciji odstranili do 90 %. Temperatura preboda je znašala 1670° C. Po odlitju v ponovco je imelo jeklo takoj po izpustu iz peči temperaturo v ponovci 1620° C. Pri 10 t peči se je izpust izvršil v dve 5-tonski ponovci. Pol šarže se je v prvi ponovci dezoksidiralo s pomočjo potopne cevi, ki se je napolnila s CaSi in že prej obesila ob notranjo steno ponovce. Pri dezoksidaciji s 4 kg Si/tono taline in 1 kg Al/t, je dodatek CaSi variiral od 0,0—2,0 kg/tono. Enak poizkus je naredil na 100-tonski el. obločni peči, samo da je tam dolegiral CaSi s pomočjo visoko postavljene drče.

Na obeh pečeh so bili doseženi enaki rezultati. Ugotovil se je padec žvepla do 42 % (2 kg CaSi/tono). Ugotovljeno je, da del žvepla pade s pomočjo tvorbe Ca-Sulfida (CaS), del pa s pomočjo oksisulfidov, ki so nastali pri dolegiranju taline s CaSi, (diagram 8).

Analize kisika na gotovih proizvodih so pokazale, da je pri malih dodatkih CaSi 0,39 kg/tono in pri sicer enakih dodatkih FeSi in Al padec ki-

sika od 80 na 40 ppm. Večji dodatek CaSi še zniža kisik v jeklu, tako da ga dobimo pri dodatku 2 kg CaSi/tono samo še 26 ppm (diagram 9).

Pri raziskavah vplivov na čistost teh jekel so ugotovili interesantne rezultate, ko so uporabili CaSi za dezoksidacijo v ponovci. Pri St 52, ko se ni uporabil CaSi, je bila po izvednotenju ocena čistosti 250 (po Prüfblatt S. E. 1570 na 3000 mm² površine obrusa). Diagram 10 in 11. Vključki so

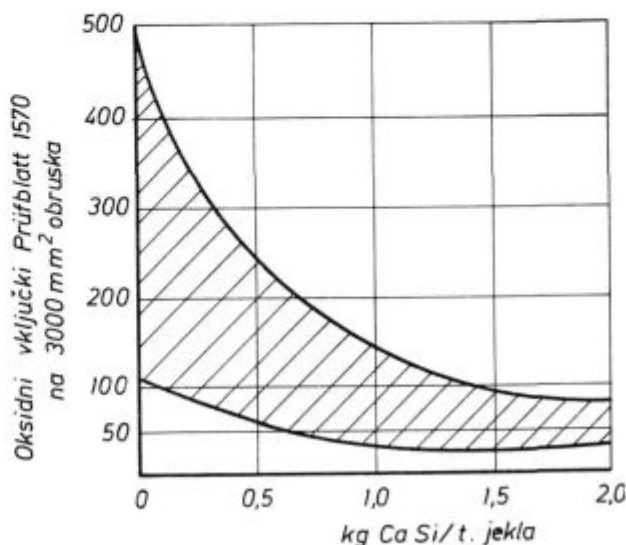


Diagram 10

Vpliv dodatka CaSi na oksidne vključke v jeklu.

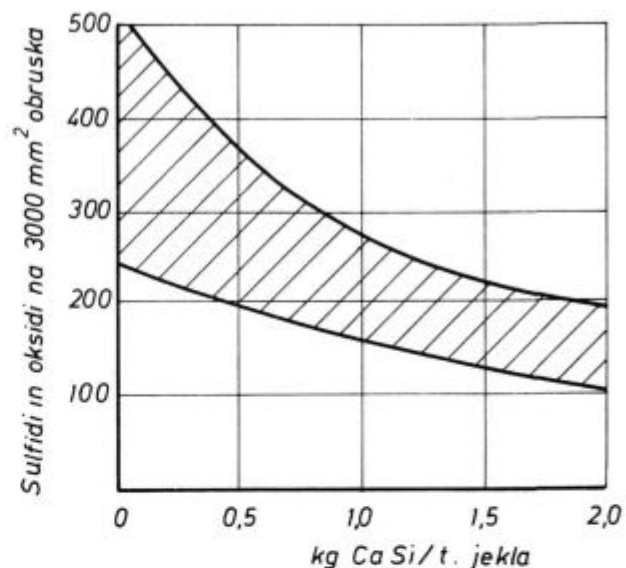


Diagram 11

Vpliv dodatka CaSi na sulfidne vključke v jeklu.

se nahajali v širokem območju od 105 do 500. Če se je dodal CaSi za dezoksidacijo, pa so se ti nahajali v območju 40—75 (2 kg CaSi/tono). Tudi velikost vključkov se ob dodatku CaSi zmanjša.

Iz prejšnjega razlaganja poizkusov sledi:

Vpliv CaSi oz. kalcija pri dezoksidaciji jeklove taline na odžvepljanje, čistost jekla in mehanske

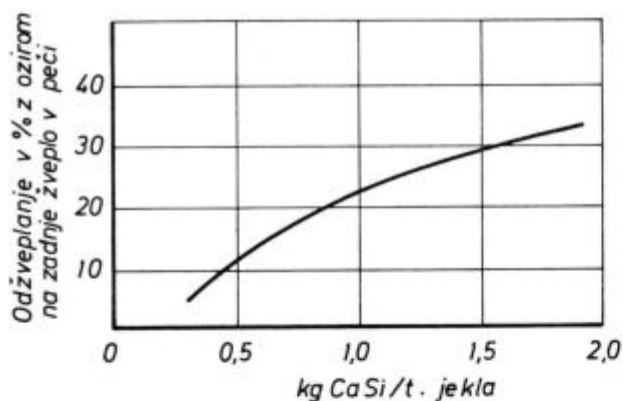


Diagram 8

Vpliv dodatka CaSi na odžveplanje glede na zadnje žveplo v predprobi.

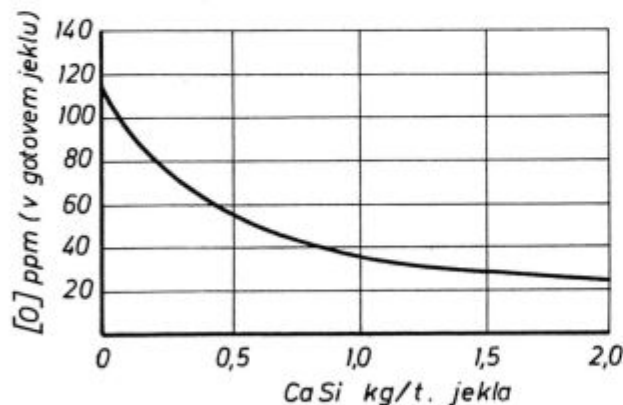


Diagram 9

Vpliv dodatka CaSi na pad kisika v jeklovem proizvodu.

lastnosti jekla, dognan pri poizkusih iz 10-tonske in 100-tonske el. obločne peči, je jasen ter nudi naslednje prednosti:

— Dodatek CaSi deluje na odžvepljanje taline ugodno. Po dodatkih 2 kg CaSi/tono jekla so dosegli do 43 % padca žvepla glede na izhodnega pred izpustom šarže.

— Kisik se v ponovci ni bistveno spremenil, pač pa se je znižal kisik v gotovih proizvodih v ingotu oz. jeklenem izdelku.

— Geneza vključkov je dala drugo obliko in sestavo, saj so določili v vključkih 3 do 10 % CaO. Tudi analiza na mikrosondi je pokazala, da posamezni veliki tipi vključkov vsebujejo celo do 50 % CaO. Takšni vključki se zelo hitro izločajo iz talin, že v nekaj minutah, kot primarni oksidi, zato se že po nekaj minutah na drugih vključkih najde le še 10—15 % CaO.

— Celotna čistoča na oksidih kakor tudi sulfidih se je izboljšala, saj je kalcij vplival v smeri zmanjšanja velikosti vključkov. Tudi razporeditev nemetalnih vključkov v gotovih proizvodih je bila ugodnejša.

— Izboljšana žilavost je bila posledica dezoksidacije s CaSi.

II Del

PRAKTICNI POIZKUSI NA 30-TONSKI ELEKTRO OBLOČNI PEČI

Po predhodni obdelavi teoretičnih izsledkov dezoksidacije ter predlaganih glavnih metod za jeklarsko izdelavo cementacijskega jekla (EC 80, EC 100, ECMo 80, ECMo 100) smo začeli izdelovati jekla po raznih metodah, pri tem pa smo težili k ekonomičnejšim.

Odločili smo se v glavnem za dve metodi izdelave tega jekla. Eno za valjavski format, drugo pa za kovaške težke odkovke. Pri tem pa želimo doseči velikost zrna po normah ASTM finejše od 5 za valjavski format, za odkovke pa vsaj finejše od 3. Namreč pri težkih odkovkih, kakor smo že omenili, da obstaja nevarnost slabe kovnosti pri previsokih koncentracijah aluminija.

VREDNOTENJE REZULTATOV POSAMEZNIH METOD TER ŠARŽ IZDELAVE CEMENTACIJSKEGA JEKLA

Pri vrednotenju metod izdelave ter rezultatov poizkusov smo izhajali v glavnem s stališča, da prikazemo razliko med različnimi metodami izdelave cementacijskega jekla glede na metalurgijo taljenja, zrno kakor tudi na čistočo jekla. Po vsaki metodi nismo mogli delati (preizkusiti) enakega števila šarž, saj gre tu za 30-tonske šarže, kar je lahko usodno v praksi, posebno če bi nastalo preveč neuspele proizvodnje. Zato smo več šarž delali po onih metodah, pri katerih smo že prej smatrali,

da bomo z večjo sigurnostjo zadel uporabnost cementacijskega jekla. Zato so rezultati, katere prikazujemo, rezultat različnega števila šarž za posamezne metode. Mišljenja smo, da mora biti cilj izdelati jeklo po oni metodi, ki bo pri največji ekonomičnosti nudila sigurnost izdelave dovolj čistega jekla.

Diagrami št. 12—16 kažejo ocene sulfidov, aluminatov, silikatov, globularnih oksidov in vsote vključkov.

Če pogledamo diagrame št. 12—16, vidimo, da sta metodi V in VI, kjer je uporabljen argon za prepihanje talin v ponovci, nekoliko ugodnejši, saj dajeta v verjetnostni mreži bolj strme linije. To pomeni, da je razsipanje rezultatov manjše.

Če si sedaj ogledamo posamezne tipe vključkov pri različnih metalurško-topilniških izdelavah jekla, dobimo naslednje rezultate: sulfidi, diagram 12.

Metoda IV, varianta A, po kateri se je uporabila samo ena (oksidna) žlindra s preddezoksidacijo 2 kg FeAl/tono taline, nadalje dodatek FeMn in FeCr takoj po aluminiranju, v ponovco pa 1 kg CaSi in 0,8 kg Al/tono jekla, brez prepihanja taline v ponovci z Ar, ima veliko sulfidov. Za naše pojme ni ugodna, ker nastopajo sulfidi od 1,9 do 2,7, kar je absolutno previsoko.

Metoda V, varianta B, kjer smo uporabili podoben postopek, le da smo šaržo z argonom prepihali v ponovci, daje sigurno drobno zrno in nekoliko ugodnejše ocene sulfidov. Sicer so še vedno visoki od 1,8 do 2,40, kar ni zadovoljivo.

Metoda IV, varianta C, je v glavnem identična metodi IV/A, kar se tiče same izdelave šarže. Tudi tu je uporabljena ena sama žlindra (oksidna), vendar smo tu dodali v ponovco 2 kg CaSi/tono ter 0,3 kg Al/tono, vendar pri predhodnem dodatku 2 kg FeAl/tono za preddezoksidacijo — v peči. Dodatek Al v ponovco 0,3 kg/tono je nekoliko prenizek in komaj še daje zadovoljivo zrno. Ena šarža je imela namreč zrno le 3—5 po ASTM. Sulfidi so sicer še vedno visoki, od 2,0 do 2,35. Krivulja je bolj strma. Šarža ni bila prepihana z argonom.

Metoda V, varianta D, kjer smo uporabili Ar ter legiranje Al za fino zrno jekla med prepihanjem v ponovci ter visok dodatek CaSi v ponovco, 2 kg/tono, se sulfidi niso znižali. Odžvepljanje ni bilo ефекtno. Izdelano jeklo kaže po sulfidih slabo sliko od 2,00—2,65.

Metoda V, varianta E je postopek, po katerem so se šarže izdelale v glavnem na eno žlindro (oksidno), vendar se je pred dodatkom FeAl 2 kg/t 80 % žlindre odstranilo iz kopeli, dodalo se je 1 kg SiMn/tono, na golo kopel, nato še FeMn in FeCr ter končno v ponovco 1 kg CaSi/tono. Šarže so bile v ponovci prepihane z argonom, tako da je bilo po prvem 3-minutnem pihanju dodano 13 kg Al/30 ton taline za drobno zrno. Zrno je doseženo (ASTM > 5). Čistost po metodi E pri sulfidih ne daje ugodne slike, ker je razsipanje rezultatov od ene do druge šarže absolutno preveliko.

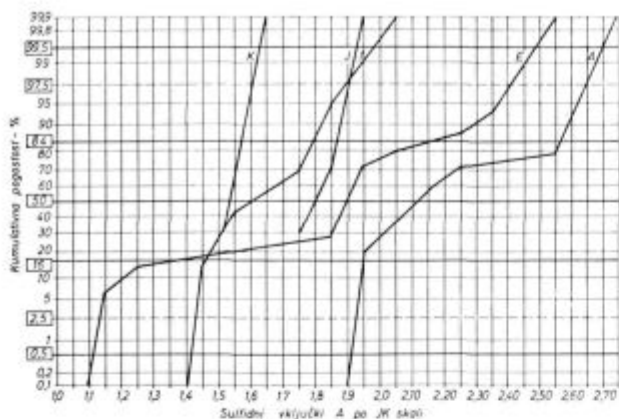


Diagram 12
Ocene vključkov A po JK skali za šarže v odvisnosti od metode izdelave šarž.

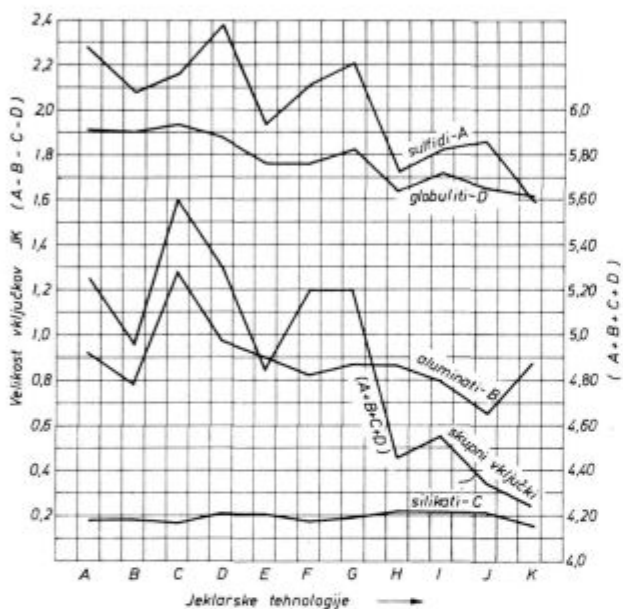


Diagram 13
Vpliv jeklarske tehnologije na ocene vključkov po JK skali (A, B, C, D) in na vsoto vključkov (A + B + C + D).

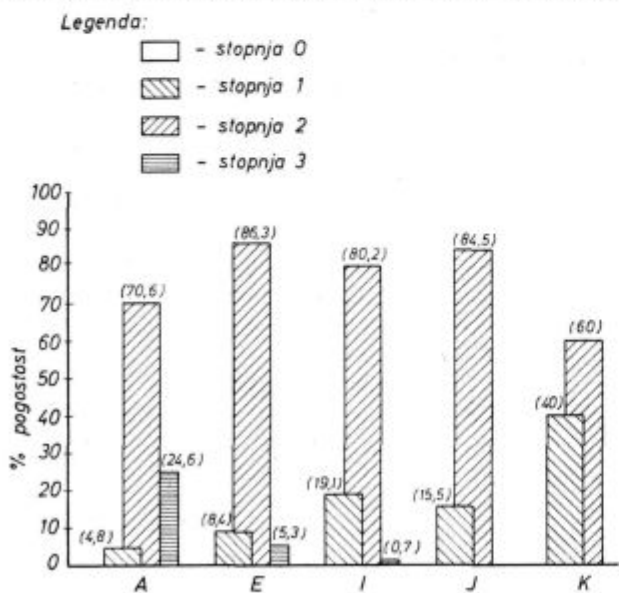


Diagram 14
Vpliv jeklarske tehnologije na sulfidne vključke tipa A.

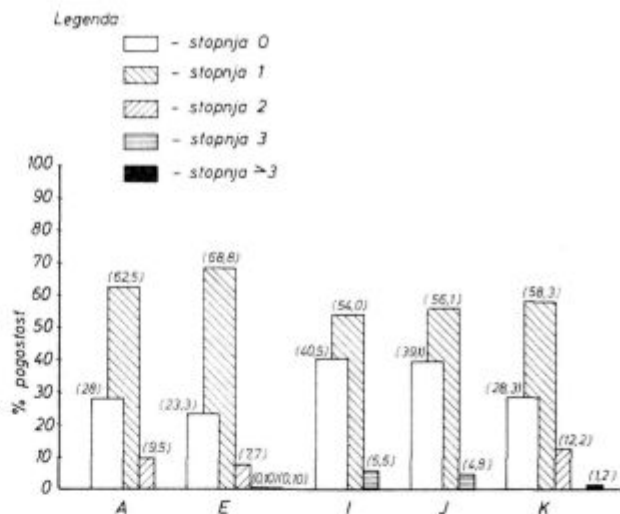


Diagram 15
Vpliv jeklarske tehnologije na aluminatne vključke tipa B.

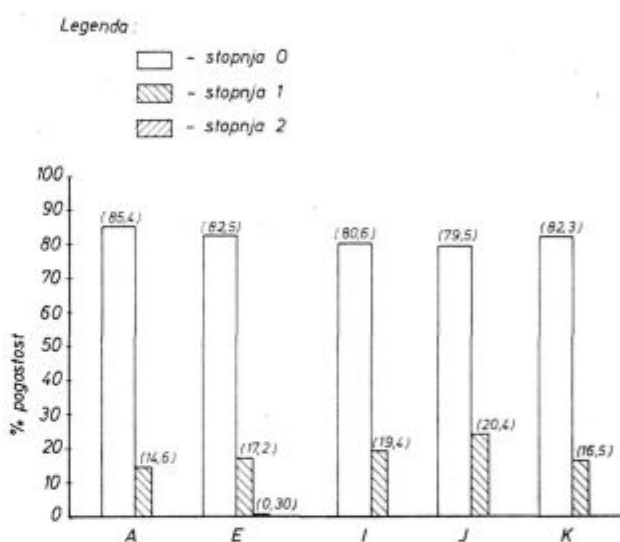


Diagram 16
Vpliv jeklarske tehnologije na silikatne vključke tipa C.

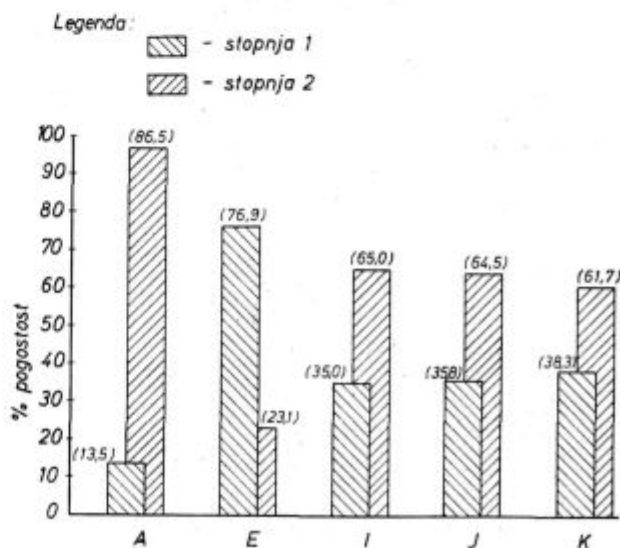


Diagram 17
Vpliv jeklarske tehnologije na globularne oksidne vključke tipa D.

Nastopajo ocene od 1,1 do 2,55. Vendar lahko ugotovimo, da se po tej metodi le da narediti dovolj čisto jeklo po sulfidnih vključkih. Več kot polovica šarž ima sulfide pod 2.

Metoda V, varianta F, ki je bila metalurško delana tako, da se je na golo kopel po končni oksidaciji in potegnitvi ca. 80 % žlindre dodalo 2 kg FeAl/tono, 1 kg SiMn/tono jekla v peč, dalje FeMn in FeCr ter končno v ponovco še 1 kg CaSi/tono in 0,25 kg Al/tono jekla, med 8-minutnim preprihovanjem z argonom v ponovci še dodatek 13 kg Al/30 ton za drobno zrno, ni dala na sulfidih bistvenega izboljšanja. Razsipanje med šaržami je manjše, krivulja bolj strma. Metoda daje sulfide med 1,9 do 2,43. To je v poprečju previsoko, zato smo se lotili ponovne spremembe metalurgije.

Metoda IV, varianta G, izdelana na ta način, da se opusti argon za preprihovanje taline v ponovci, doda pa se za fino zrno več Al v ponovco. Ob izpustu pa v curek se doda 2 kg CaSi/tono ter 9 kg Al/30 tonsko šaržo. Sulfidni vključki po tej metodi dajejo ponovno močno razsipanje, med 2 in 2,45 kot vse metode brez argona. V poprečju so še vedno previsoki.

Metoda III, varianta H kaže na sulfidih močan napredek. To je metoda klasične bele žlindre oz. dveh žlinder, ki ima za posledico daljše trajanje šarže, kar ni ugodno, daje pa malo sulfidov. Po tej metodi se je na potegnjeno oksidno žlindro dodalo na golo kopel 170 kg SiMn/30-tonsko talino. Naredila se je nova žlindra ter dodatno dodal še FeSi do končne koncentracije zahtevane analize. FeSi se je dodajal vsaj 40 minut pred izpustom taline, to pa pomeni podaljšanje trajanja šarže vsaj za 1 uro. Sulfidi so se znižali in znašajo 1,6 do 2,05, kar je v poprečju ugodno. Zrno pa ni garantirano, ker je dodatek 10 kg Al v ponovco za 30 tonsko šaržo prenizek, šarža ni z argonom preprihana.

Metoda VII, varianta I je predrugačena metoda H, je hitrejša. Po tej metodi se je aluminij pihal v talino v obliki Al prahu s pomočjo komprimiranega zraka. Metoda je hitra, vendar je pihanje Al ter njegova vsebnost v kislinotopni obliki v veliki meri odvisna od funkcionalnosti mehaniziranega sistema za vprihavanje prašnega aluminija. Poprečno smo dosegli sulfide 1,4—2,05. Isto metodo smo poizkusili z vprihavanjem Al s pomočjo argona. Izgubili smo v obeh primerih precej Al in Si. Metodo preizkušamo naprej v posebni nalogi, vendar je praksa zaenkrat še komplcirana ter sorazmerno draga.

Metoda VI, varianta J, kaže pri sulfidnih vključkih max. 1,95. Čeprav smo po tej metodi naredili v začetku malo šarž, kaže metoda ugodno sliko. Jeklo je narejeno na eno črno žlindro, s potegnitvijo enega dela žlindre po oksidaciji, nato dodatkom 1,0 kg Al/tono taline, sledil je dodatek FeMn in FeCr, v ponovco smo dodali 80 kg FeSi in 50 kg CaMnSi na 30 ton taline. Preprihovanje taline z argonom in vmesnim dodatkom 11 kg Al/30 ton

za drobno zrno. Drobno zrno je bilo doseženo. Večji dodatek CaSi oz. CaMnSi daje ugodnejše sulfide. Sulfidi so v mejah 1,7—1,95 bala, to pa je že pod balom 2, kar je bila naša začetna želja. Za samo 6-kratno stopnjo predelave ingota je to že ugodno. Tudi to metodo smo spremenili (modificirali) ter se odločili za dodatek FeSi v peč, ne v ponovco. Tako nastala metoda VI, varianta K, je pokazala najboljše rezultate, zato smo jo preizkusili z uporabo argona in brez uporabe argona za preprihovanje talin v ponovci. Ker smo dosegli v obeh primerih najboljše pogoje, smo metodo K vključili v nadaljnji tehnološki program redne proizvodnje cementacijskega jekla v vseh elektro obločnih pečeh v železarni Ravne. Razesipanje rezultatov je minimalno (1,52 do 1,65) bala prve poizkusne šarže. Metoda je v glavnem metalurško zelo hitra. Uporaba samo oksidacijske žlindre ter majhen dodatek hitro taljive žlindre po dodatku Al za preddezoksidacijo. Žlindro se po oksidaciji odstrani iz kopeli ca. 80 %, nato se legira 1 kg Al/tono taline ter še 6 kg SiMn/tono, nadalje se legira FeCr, po nadaljnjih 5 minutah še FeSi. Na te dodatke so dodani pri temperaturi taline ca. 1660—1670° C še hitrotaljiva žlindra iz 100 kg CaO + 50 kg CaF₂ + 10 kg CaSi ali FeSi (zdroba). Po raztalitvi te male količine žlindre, ki je ca. 0,5 % od teže taline, se talino premeša ter izpusti skupno z žlindro v ponovco. V curek se doda samo še 1,5 kg CaSi/tono. Aluminij se v ponovco ne dodaja, ampak šele med pihanjem z argonom po prvih 3 minutah preprihavanja. Dodatek Al znaša 13 kg na 30-tonsko šaržo. To zadostuje za dosego avstenitnega zrna > ASTM 5.

Ker je ta metoda dala najboljše rezultate na sulfidih, in kot bomo videli tudi pri drugih tipih vključkov, smo metodo preizkusili tudi brez uporabe argona, saj se lahko dogodi, da nam argona primanjkuje. Tudi tak način, ki je zahteval legiranje aluminija v ponovco od 0,5—0,7 kg/tono taline, je dal zadovoljive rezultate. Dosega žvepla pod 0,020 %. Pri metodi K pa moramo doseči čim nižje odžvepljanje za znižanje sulfidnih vključkov, ker metoda K omogoča izdelavo šarž v zelo kratkem času, manj kot 4 ure od šarže do šarže, to pa je le maks. 70 % od klasičnega načina izdelave, je metoda izredno rentabilna.

Ogledali smo si sulfidne vključke pri vseh preizkušanih metodah. Sedaj si oglejmo še druge tipe vključkov, ki so prikazani v tabeli 1.

Aluminati (B), silikati (C) in globularni oksidi (D) kažejo pri različnih variantah različna območja in vrednosti. Tudi tu se vidi prednost metod J in K, kar posebno potrjuje zadnja kolona vsote vključkov.

Celoten pregled ocen vključkov pri posameznih metodah podaja diagram št. 13.

Naslednjo primerjavo dajemo v diagramih in tabelah za porazdelitev ocen za 30 pregledanih mest na obrusu. Diagrami št. 14, 15, 16 in 17 kaže-

Tabela 1 — Območja in vrednosti nastopanja vključkov.

Varianta izdelave jekla	sulfidi A	aluminati B	silikati C	gl. oksidi D	vsota vključkov A + B + C + D
1	2	3	4	5	6
A	1,90—2,74	0,67—1,30	0,15—0,25	1,90—2,00	4,55—6,25
B	1,80—2,40	0,60—1,17	0,15—0,22	1,68—2,00	4,30—5,35
C	2,00—2,35	1,20—1,30	0,14—0,18	1,76—2,00	5,55—5,68
D	2,00—2,65	0,94—1,00	0,20	1,85—1,90	5,17—5,66
E	1,10—2,55	0,55—1,13	0,14—0,26	1,57—1,95	4,25—5,63
F	1,90—2,43	0,67—0,90	0,15—0,20	1,70—1,80	4,75—4,95
G	2,00—2,45	0,93—1,20	0,18—0,25	1,77—1,90	4,98—5,48
H	1,60—2,05	0,65—1,00	0,18—0,27	1,60—1,70	4,20—4,75
I	1,40—2,05	0,53—0,10	0,10—0,30	1,60—1,85	4,50—4,65
J	1,70—1,95	0,55—0,90	0,17—0,29	1,50—1,84	4,15—4,55
K	1,52—1,65	0,75—1,05	0,12—0,21	1,45—1,75	3,95—4,50

Tabela 2 — Procentna sestava vključkov

Metode jeklarske tehnologije	šarž Stevilo	Vključki tipa A v % stopnje				Vključki tipa B v % stopnje				Vključki tipa C v % stopnje				Vključki tipa D v % stopnje			
		0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
A	14		4,8	70,6	24,6	28,0	62,5	9,5		85,4	14,6			13,5	86,5		
B	14		2,2	91,8	5,9	31,8	64,3	3,6	0,3	86,5	13,3	0,15		0,9	10,1	89,0	
C	3		3,3	76,6	20,0	7,7	62,2	28,3	1,6	81,7	18,3			6,1	93,9		
D	3		2,7	59,5	37,8	25,0	65,5	8,9	0,7	86,1	13,9			8,9	91,1		
E	15		8,4	86,3	5,3	23,3	68,8	7,7	0,10	82,5	17,2	0,30		76,9	23,1		
F	3		5,0	75,5	19,5	30,0	60,0	8,3	1,1	82,3	17,7			18,8	81,2		
G	4		0,5	79,5	20,0	10,0	58,5	27,6	3,8	83,9	16,1			15,7	84,3		
H	7		36,1	63,5	0,25	23,3	62,2	12,5	1,7	78,0	22,0	0,25		35,3	64,7		
I	6		19,1	80,2	0,7	40,5	54,0	5,5		80,6	19,4			35,0	65,0		
J	7		15,5	84,5		39,1	56,1	4,8		79,5	20,47			35,5	64,5		
K	3		40,6	59,4		28,3	58,3	12,2	1,2	82,3	16,5			38,3	61,7		
25 T peč	12		18,6	81,1	0,3	30,7	62,6	6,7		86,5	13,5			31,8	68,2		
10 T peč	10		15,1	75,6	9,3	21,5	63,0	14,6	0,7	86,8	13,2			39,5	58,5		

jo, kako so se pogostosti stopnje posameznih tipov vključkov spreminjale po posameznih metodah izdelave jekla.

Diagram za tip vključkov A (sulfidi) kaže, da se je število grobih vključkov zmanjševalo od metode do metode. V glavnem pri zadnjih dveh metodah J in K, so padli vključki tipa A stopnje 2, naraslo pa je število vključkov tipa A stopnje 1. Tip A, stopnje 3 skoraj popolnoma izgine. Diagram za tip vključkov B kaže, da zadnje tri metode kažejo porast vključkov stopnje 0, padec stopnje 2, stopnja 3 je konstantna, medtem ko pada stopnja 1.

Diagram za tip vključkov C (silikati), se bistveno ni spreminjal po raznih metalurških metodah izdelave jekla, vendar se tudi tu vidi, da je tip C vključkov stopnje 0 narasel, padel pa je tip C stopnje 1.

Diagram za tip vključkov D (globuliti) najbolj nazorno kaže, kako najbolj nevaren tip globulitov v enojkah narašča, medtem ko v dvojkah pada. Ta slika je ugodna za čistočo jekla in kaže, da metode H, I, J in K dajejo že zelo ugoden rezultat.

Isto sliko nam kaže tabela št. 2, kjer lahko vidimo še rezultate ostalih karakteristik izdelanih šarž.

METALOGRAFSKI PREGLED JEKEL ZA CEMENTACIJO, IZDELANIH PO ENAJSTIH RAZLIČNIH JEKLARSKIH TEHNOLOGIJAH

Če se povrnemo k razlagi prejšnjih diagramov velikosti vključkov tipov A, B, C, D (14, 15, 16, 17 in tabeli 2), moramo poudariti, da smo laboratorijsko ocenili 79 različnih šarž jekla za cementacijo, izdelane na 30-tonski elektroobložni peči. Ocenjevali smo:

- nemetalne vključke po J. K. skali,
- velikost avstenitnega zrna po skali ASTM E 112 za ocenjevanje velikosti avstenitnega zrna ter
- modri lom po metodi I.A.S.

Probe za ocenjevanje teh količin so bile vzete iz valjanih gredic kvadrat 90 mm. Gredice so bile valjane iz ingotov OKGV 255 (poprečno kvadrat 230 mm), to je le šestkratna predelava.

Nemetalne vključke smo ocenjevali na vzdolžnih belih brusih. Pri skoraj vseh poizkusnih šaržah smo ocenili nemetalne vključke na dveh brusih. En brus je pripadal glavi ingota, drugi pa nogi ingota. Na vsakem brusu smo ocenili po 30 vidnih polj pri 100-kratni povečavi na optičnem mikroskopu. Rezultate smo podali na dva načina:

— Za vsak brus smo določili aritmetično sredino 30 pregledanih polj za posamezne tipe vključkov A, B, C, D, po J. K. (Jernkontoret) in vsoto srednjih vsebnosti A + B + C + D za vsak posamezni metalografski brus.

— Za vsako metodo jeklarske tehnologije (A — K) in za skupno število šarž vsake metode smo za posamezne tipe vključkov po J. K. skali (A, B, C, D), določili pogostost posameznih stopenj (0, 1, 2, 3, 4) in to izrazili v odstotkih. Delno to prikazujemo že na diagramih št. 14, 15, 16, 17 in v tabeli št. 2.

S tem smo želeli povečati občutljivost ocen za medsebojno primerjavo jeklarskih metod. Podajanje srednjih vrednosti in vsote vključkov po J. K. namreč ni dovolj občutljivo, ker ne pokaže dovolj razlik med vključki posameznih stopenj. Za primer vzemimo vključke tipa B pri jeklarski tehnologiji A. Ocenili smo 14 šarž z 28 metalografskimi obrusi. Ker smo na vsakem obrusu ocenili 30 vidnih polj, smo imeli za vključke tipa B samo pri tehnologiji A skupaj 840 ocen, pri čemer je bilo:

28,0 % ocen s stopnjo 0,
62,5 % ocen s stopnjo 1,
9,5 % ocen s stopnjo 2
100,0 %

Te pogostosti posameznih stopenj, izraženih v odstotkih, smo podali v »procentualni tabeli vključkov« št. 2 in diagramih za posamezne tipe vključkov.

Rezultati metalografskih preiskav na avstenitno zrno in modri lom so pokazali, da je velikost avstenitnega zrna zadovoljiva. Vse šarže, ki so imele grobo avstenitno zrno, niso vsebovale zadostne količine aluminija, ki zagotavlja fino zrno. Vse šarže z grobim zrnem so vsebovale celokupni Al nižji od 0,014 %. Iz tega sledi, da je tudi topni aluminij bil prenizek, ta je potreben za drobno zrno. Če še nadalje analiziramo, zakaj je ponekod Al nizek, ugotovimo, da imajo v glavnem samo one šarže nizek kislinotopni aluminij, katere smo izdelali brez uporabe argona za prepričevanje v ponovci. To pomeni, da je legiranje Al brez uporabe argona za prepričevanje nesigurno ter rezultat premočnega vpliva posameznikov, ki šaržo vodijo. Torej lahko mirno trdimo, da je za veliko sigurnost doseganja finega zrna argon za prepričevanje taline v ponovci zelo koristen.

Iz do sedaj pregledanih brusov se tudi vidi, da samo nizko poprečje (A + B + C + D) vključkov še ne vodi k zadovoljivim rezultatom kvalitete cementacijskega jekla. Videli smo, da so metode z višjim poprečjem dale mnogo boljše slike modrega loma kakor nekatere metode z nižjim poprečjem nemetalnih vključkov. Torej velikost, razporeditev in morfologija vključkov igrajo tu glavno vlogo.

Poizkusi so bili končani, ko smo se za nadaljnjo tehnologijo odločili. Izbrali smo tehnologiji J in K za nadaljnjo uporabo v proizvodnji cementacijskih jekel. Obe tehnologiji ob koncu članka navajamo.

Predno pa smo se odločili za uporabo tehnologije J in K, smo za sigurnost uporabe preizkusili tehnologijo K (brez uporabe argona), ker nam argona za prepričevanje jekla v ponovci včasih primanjkuje.

Tabela 3 — Rezultati metalografskih preiskav za 10-tonsko peč

Sarža	Kvalit.	Modri lom	Vključki po J. K. skali					Najslabše ocenjeno m.	zrno	Al cel	Al kisl
45432	EC 100	G v redu	2.20	0.93	0.10	1.53	4.76	3 2 1 2	5—6	0.053	0.028
		N izceje v sr.	1.96	1.10	0.10	1.66	4.82	3 3 1 2			
45433	EC 100	G v redu	2.07	0.90	0.17	1.59	4.73	3 2 1 2	7	0.053	0.033
		N v sr. moč. iz.	2.00	0.90	0.10	1.50	4.50	3 3 1 2			
45345	EC 60	G v redu	1.63	1.30	0.20	1.70	4.83	2 3 1 2	5	0.015	0.014
		N v redu	1.53	1.03	0.26	1.80	4.62	2 2 1 2			
45441	EC 80	G v redu	2.53	0.90	0.10	1.50	5.03	3 2 1 2	5	0.013	0.007
		N v redu	2.20	0.80	0.10	1.96	5.06	3 2 1 2			
45454	EC Mo 100	G v redu	1.73	0.90	0.16	1.63	4.42	2 2 1 2	5—7	0.060	0.021
		N rah. iz. v sr.	1.60	0.83	0.16	1.80	4.39	2 2 1 2			
45455	EC Mo 100	G v redu	1.79	0.67	0.10	1.63	4.19	2 1 1 2	6—7	0.059	0.019
		N 2 2 2 3	1.80	0.69	0.17	1.53	4.19	2 1 3 2			
45456	EC Mo 100	G 2 2 2 2	2.23	1.09	0.13	1.40	4.85	3 2 1 2	6	0.046	0.015
		N 2 3 2 2	2.23	0.93	0.13	1.33	4.62	3 4 1 2			
45458	EC Mo 100	G 2 2 1 2	1.86	1.23	0.10	1.40	4.59	2 2 1 2	6	0.040	0.008
		N 2 2 2 2	1.90	1.00	0.10	1.50	4.50	2 2 1 2			
45461	EC Mo 100	G v redu	1.90	0.86	0.20	1.76	4.72	2 1 1 2	6	0.050	0.020
		N v redu	1.77	1.10	0.16	1.70	4.73	2 2 1 2			
45463	EC Mo 100	G v redu	2.06	0.66	0.13	1.63	4.48	3 2 1 2	6	0.041	0.014
		N 2 2 2 3	2.00	0.83	0.13	1.60	4.56	2 2 1 2			

Tabela 4 — Rezultati preiskav za 30-tonsko peč

Sarža	Kvalit.	Modri lom	Vključki po J. K. skali					Najslabše ocenjeno m.	zrno	Al _{cel}	Al _{kisl}
24551	EC 80	G v redu	1.76	0.86	0.33	1.72	4.67	2 2 4 2	5—6	0.031	0.013
		N 1 1 1 1	1.73	0.70	0.16	1.73	4.32	2 2 1 2			
24553	EC 80	G v redu	1.90	0.76	0.10	1.60	4.36	2 1 1 2	6	0.027	0.025
		N rahl. iz. v sr.	1.80	0.73	0.10	1.77	4.40	2 2 1 2			
24554	EC 80	G v redu	1.89	0.60	0.10	1.79	4.38	2 1 1 2	5—6	0.024	0.019
		N rahl. iz. v sr.	1.53	0.57	0.13	1.73	3.96	2 2 1 2			
24560	EC 80	G v redu	2.00	0.90	0.13	1.53	4.56	2 2 1 2	5—6	0.026	0.013
		N v redu	1.89	1.00	0.13	1.64	4.66	2 2 1 2			
24561	EC 80	G v redu	1.93	0.83	0.10	1.70	4.46	2 2 1 2	6	0.048	0.031
		N v redu	1.76	0.80	0.13	1.73	4.42	2 1 1 2			
24562	EC 80	G v redu	1.90	0.70	0.10	1.70	4.40	2 1 1 2	5—6	0.044	0.039
		N rahl. iz. v sr.	1.60	0.83	0.26	1.73	4.42	2 2 1 2			
24566	EC 100	G 2 2 2 1	2.00	0.99	0.20	1.53	4.72	2 2 1 2	6	0.030	0.026
		N 2 2 2 2	1.89	1.13	0.16	1.53	4.71	2 2 1 2			
24567	EC 100	G v redu	1.99	1.06	0.13	1.50	4.68	2 2 1 2	6	0.028	0.018
		N 2 2 1 1	1.99	1.16	0.16	1.60	4.91	2 2 1 2			
24570	EC 100	G v redu	1.80	0.60	0.13	1.69	4.22	2 1 1 2	6—7	0.032	0.019
		N v sr. izceje	1.76	0.70	0.13	1.70	4.29	2 2 1 2			
24580	EC 80	G v redu	1.69	0.69	0.10	1.87	4.35	2 2 1 2	6	0.031	0.022
		N v redu	1.63	0.50	0.10	1.83	4.06	2 1 1 2			
24587	EC 80	G v redu	1.60	0.43	0.13	1.63	3.79	2 2 1 2	4—5	0.021	0.006
		N 2 1 2 2	1.70	0.47	0.13	1.70	4.00	2 2 1 2			
24591	EC Mo 100	G v redu	2.00	0.63	0.10	1.60	4.33	3 2 1 2	7	0.069	0.016
		N 2 2 2 1	2.00	0.60	0.13	1.80	4.53	3 2 1 2			

Izdelali smo 12 šarž po tehnologiji K v 30-tonski el. obločni peči ter 10 šarž v 10-tonski el. obločni peči. Rezultate navajamo v nadaljevanju s pomočjo tabele 3 in 4. Edina slaba stran opustitve argona pri tehnologiji K je, da se Al nahaja v zelo različnih koncentracijah kljub enakim dodatkom, vendar nam še garantira drobno avstenitno zrno jekla. Po teh 22 šaržah smo se dokončno odločili za bodočo uporabo metode K v redni proizvodnji.

Iz tabel 23, 24 je razvidno, da se metoda K z dovolj veliko sigurnostjo lahko uporabi tudi brez uporabe argona v redni proizvodnji cementacijskega jekla.

Predno smo se odločili za uporabo metode J in K v redni proizvodnji cementacijskega jekla, smo si predočili tudi približen *izračun mehanizma dezoksidacije* za šaržo št. 24 250, izdelano po metodi K.

MEHANIZEM DEZOKSIDACIJE ŠARŽE ST. 24 250, (J)

Ker je število vključkov oziroma pogostost nastopanja vključkov odvisno od prostega kisika v jeklu, smo preračunali primer mehanizma dezoksidacije za eno od izdelanih kvalitet. To je šarža EC 80, št. 24 250.

Popolnoma točno primerjavo o pravilnem izračunu bi morali primerjati pozneje z analizo kisika, to je končno izdelanem jeklu in bi lažje sklepali na pravi izračun mehanizma dezoksidacije. Kljub temu pa se v tem izračunu vidi, do katere koncentracije prostega, preostalega kisika je možno vezati kisik na dezoksidante po metodi uporabe argona in vmesnega dodatka 0,4 kg Al/tono za fino zrno.

Pri tej šarži smo imeli naslednje pogoje:

Žilavenje s kisikom je v času skupno 60 minut dalo žilavilno hitrost okrog 0,66 % C/60 minut, kar znaša 0,011 % C/minuto. Ta hitrost se smatra za normalno. Pri žilavenju je bil skupni kisik okrog 0,055 %, kar potrjujejo razne raziskave pri podobnih kvalitetah. Vezani kisik iz 0,006 % Al₂O₃ in 0,008 % SiO — pa je približno 0,007 %. Produkt C × O je 0,16 × 0,048 = 0,0077, kar je normalna koncentracija.

Normalno izkuhavanje znaša okrog 27 minut, kar je sicer nekoliko kratko, saj se kisik še ni približal ravnomočnosti porazdelitvi, vendar to ne more biti škodljivo pri takšni količini dodanega Al za preddezoksidacijo. Smatra se namreč, da je za efektno znižanje kisika potrebna njegova visoka koncentracija pred dodatkom aluminija in visoka temperatura, to pa je bilo doseženo pri tej šarži.

Izračun prostega kisika po izkuhavanju sledi formuli:

$$O = K_1 \times 1/C \times 1/t$$

Vsebnost prostega kisika po izkuhavanju je torej:

$$0,130 \times 1/0,16 \times 1/27 = 0,03 \%$$

Do te vsebnosti kisika pridemo tudi na podlagi dosedanjih študijev oz. diagramskih prikazov, kjer je produkt C × O po izkuhavanju v času 27 minut okrog 0,0047 in kisik = 0,0047/0,16 = = 0,029 %. (Če bi izkuhaval nekoliko dalj časa, recimo 35 minut, bi dobili kisik 0,023 % namesto 0,03 po 27 minutah izkuhavanja.) Po izkuhavanju bo SiO₂ okrog 0,006 %, Al₂O₃ okrog 0,003 %. Po izkuhavanju šarže je sledila preddezoksidacija z dodatkom 0,1 % Al (ali 1 kg Al/tono) in to ustreza vsebnosti topnega Al okoli 0,019 %. Po 13 minutah, kar je bilo časa do izpusta taline, se je znižal topni aluminij na približno 0,01 do 0,012 %.

Če sedaj pogledamo odnos med kisikom v talini pred dodatkom aluminija v talino pred izpustom, je slika naslednja:

skupni kisik pred izpustom 0,5 × skupni kisik pred dodatkom Al. Skupni kisik pred izpustom taline: = 0,5 × (0,003 + 0,004) = 0,017 %. Do zgoraj navedene koncentracije skupnega kisika v talini pred izpustom pridemo tudi na podlagi mehanizma dezoksidacije:

z 0,011 % topnega Al je ravnotežna količina prostega kisika okrog 0,0026 %. Razlika (0,03 manj 0,0026) = 0,027 % O reagira z Al, pri čemer nastane okrog 0,056 % Al₂O₃. Ta količina Al₂O₃ se zelo hitro izloči v obsegu okrog 60 %, kar je za normalne temperaturne pogoje in mešanje taline normalno. V talini torej ostane pred izpustom 40/100 × 0,056 + 0,003 = 0,025 % Al₂O₃. Skupni kisik znaša torej 0,012 + 0,003 + 0,0026 = 0,017 %, kar se s prejšnjim statističnim odnosom dobro ujema.

V ponovco pride torej talina z 0,025 % Al₂O₃, 0,006 % SiO₂, 0,0028 % O (FeO + MnO) in sledovi Cr₂O₃.

V ponovco je dodano skupno 0,29 % Si oziroma v šarži smo našli 0,3 % Si. Ta količina je v ravnotežju z 0,0068 % prostega kisika. Torej se teoretično (ker je v talini pred izpustom samo 0,0026 % prostega kisika) ne morejo tvoriti dezoksidacijski produkti. Skupno tvorjena količina SiO₂ znaša 0,006 % (iz peči), ki se v času izpusta 2 minut izloči okrog 45 %-no in 0,007 % SiO₂ pride iz ognjeodporne obloge ponovce in žleba; skupno nastane torej 0,01 % SiO₂.

V času izpusta pride do intenzivnega mešanja taline v ponovci in delež izločanja Al₂O₃ zaradi zelo ugodne visoke temperature bo v tem času okrog 70 %. V skupnem času do pričetka pihanja argona, to je okrog 5,5 minut, bo obseg izločanja Al₂O₃ okrog 78 %. V talini bomo torej pred pričetkom pihanja argona imeli 0,0055 % Al₂O₃, 0,01 % SiO₂, 0,0026 % O (FeO + MnO) in okrog 0,0003 % C kot Cr₂O₃. Redukcija SiO₂ ni možna zaradi prenizke vsebnosti Al topnega. Skupni kisik v talini pred pričetkom pihanja argona bo v koncentracijo ca. 0,01 %. Če predpostavimo, da bi ne bilo pihanja z argonom in tudi ne dodatka 11 kg Al v talino v ponovci med pihanjem argona, potem bi bila slika kinetike tvorbe in izločanja primarnih oksidov naslednja:

h kalkularanemu skupnemu kisiku 0,01 % pride na eni strani neznamen dodatek kisika zaradi sekundarne oksidacije Al v curku taline, na drugi strani pa se v skupnem času 8—10 minut do pričetka litja v kokile poveča obseg izločanja Al_2O_3 na okrog 82 %. Skupni kisik v izdelani šarži bi bil okrog 0,009 %.

Če predpostavimo, da bi bil izreden dodatek 11 kg Al tik pred izpustom oziroma med izpustom v ponovco, potem bi znašala vsebnost topnega Al v šarži okrog 0,014 do 0,016 %, ravnotežna količina kisika okrog 0,002 %, redukcija 0,01 % SiO_2 preko Al bi se izvedla do okrog 0,004 %, pri čemer bi nastalo dodatno 0,007 % Al_2O_3 in pri sekundarni oksidaciji curka taline bi prišlo do dodatne tvorbe $(1,9 \times 0,019 - 0,015) = 0,007$ % Al_2O_3 . Skupno se tvori $0,025 + 0,007 + 0,007 + 0,003 = 0,042$ % Al_2O_3 .

Pri 82 % obsegu izločanja bi ostalo v talini okrog 0,008 % Al_2O_3 . Vključki bi imeli približno naslednji sestav: 0,008 % Al_2O_3 , 0,004 % SiO_2 , 0,002 % O (FeO + MnO) in 0,0003 % O kot Cr_2O_3 . Skupni kisik bi potem znašal 0,0083 % (ca. 83 ppm).

Glede na novo tehnologijo se izvede okrog 5,5 minut (konkretno za to šaržo) pihanje taline v ponovci z argonom. To prepihanje se izvede, ko je vsa talina v ponovci. Faza odplinjevanja pri ca. 2,5 atm. pritiska argona traja ca. 3 minute, takoj po tem pihanju sledi dodatek 11 kg Al/30 tonsko šaržo, katerega se z drogom potopi skozi žlindro v talino ponovce. Ta dodatek v količini 0,36 kg Al/tono bistveno spremeni celotno sliko kinetike v naslednjem smislu:

dodatek 0,36 Al/tono nudi v talini 0,018 % topnega aluminija, oziroma v talini v ponovci $0,018 \times 1,3 = 0,024$ % topnega Al, ki je v ravnotežju z okrog 0,001 % prostega kisika. Razlika $(0,0026 - 0,001) = 0,0016$ % O reagira z Al, pri čemer nastane 0,0034 % Al_2O_3 .

Zaradi visokega aluminija pride do redukcije do SiO_2 na okoli 0,003 %, pri čemer nastane dodatno 0,0079 % Al_2O_3 . Pri sekundarni oksidaciji curka nastane $1,9 \times (0,024 - 0,018) = 0,018$ % Al_2O_3 , dodatno. Skupno nastane torej $0,025 + 0,0079 + 0,018 = 0,051$ % Al_2O_3 .

V skupnem času $2 + 3,5 + 3 = 8,5$ minut (čas izpusta + čas do pričetka pihanja z argonom + čas pihanja argona) znaša delež izločanja Al_2O_3 okrog 85 %.

Nekovinski vključki v talini v ponovci po dodatku 0,36 kg Al/tono oziroma pred pričetkom pihanja druge faze argona so naslednjega sestava:

0,007 % Al_2O_3 , 0,003 % SiO_2 , 0,001 % O kot (FeO + MnO), 0,0003 % O kot Cr_2O_3 . Skupni kisik v vključkih bi torej bil v koncentraciji 0,006 %.

S spremenjeno dezoksidacijsko prakso bi torej bilo doseženo znižanje kisika za okrog 25 do 30 %, kar je za kvalitetna jekla vsekakor velikega pomena. Seveda je potrebno pripomniti, da pri tej analizi nismo upoštevali, da bi pri sicer standardni praksi bila navzoča tudi difuzijska dezoksidacija, lahko pripomnimo, da nudi mehanizem dezoksidacije večjega števila šarž EC 80, pri katerih je bila

difuzijska dezoksidacija, poprečno doseženo vsebnost skupnega kisika med 0,0058 do 0,0065 %.

Z drugo fazo pihanja argona pri 1—1,5 atm. ca. 3 minute, to je faza čiščenja, pa se slika še dodatno spremeni, in sicer na ta način:

obseg izločanja Al_2O_3 se zaradi ugodnih pogojev temperature poveča na 90 do 92 %, SiO_2 v vključkih se zniža na poprečno 0,0010—0,0015 %, delež plinske dezoksidacije FeO + C znaša v ugodnih primerih pri višjem aluminiju okrog 30 %, pri nižjem aluminiju pa celo do 50 %. Iz navedenih dejstev bi sledila naslednja slika kinetike tvorbe in izločanja primarnih oksidov.

Skupno nastali Al_2O_3 je praktično enak, to je 0,051 %. Torej bo v vključkih $8/100 \times 0,051 = 0,004$ % Al_2O_3 , 0,001 % SiO_2 , 0,0007 % O (FeO + MnO) 0,0003 % Cr_2O_3 . Skupni kisik bi znašal okrog 0,0035 do 0,004 %.

K temu bi bilo treba še pripomniti naslednje: — Čim večji je topni aluminij, tem boljša je redukcija SiO_2 .

Torej bi bilo verjetno pravilneje dodati aluminij med izpustom taline v ponovco in nato prepihati talino z 2,5 atm. argonom 3 minute ter takoj 1,5 atm. argonom 3 minute, ne pa šele med obema fazama pihanja argona. Na ta način bi namreč prej prišlo do redukcije SiO_2 in do manjše količine prostega kisika in seveda do manjše tvorbe Al_2O_3 , zato pa do bolj čistega jekla že pred dodatkom argona.

— Dodatek aluminija 0,36 % kg/tono, katerega prakticiramo dodajati med pihanjem argona, bi se lahko znižal na 0,2—0,3 kg/tono, ker pri obdelavi taline z argonom dosežemo optimalne rezultate že pri 0,01 do 0,014 % topnega aluminija.

— Vprašanje je, ali je to garant za dosego finega zrna, če imamo le 0,01 % Al topnega. To še ni dokazano, zato bi ta druga metoda z 0,01 % do 0,014 % Al topnega bila ugodnejša za težke kovaške bloke, kjer je previsoka koncentracija topnega aluminija nevarna zaradi prečnih razpok, ki jih povzročajo preveč aluminijevega nitrida, kateri je nevaren že pri koncentraciji Al, topnega nad 0,02 %.

RENTABILNOST PROIZVODNJE CEMENTACIJSKEGA JEKLA PO METODI J IN K

Po tej metodi je potrebno dodatno uporabljati le Ar za prepihanje talin v ponovci.

Za 30-tonsko šaržo porabimo ca. 110 litrov argona na eno tono jekla. Cena argona znaša 240 Ndin na 6.000 litrov, kar znaša 0,04 Ndin/liter. Pri uporabi 110 l na 1 tono jekla znaša to:

110 × 0,04	4,40 Ndin
investicije	0,02 Ndin
porozni kamen	0,25 Ndin
Simteck vezivo	0,02 Ndin
Skupno:	4,69 Ndin
	na tono

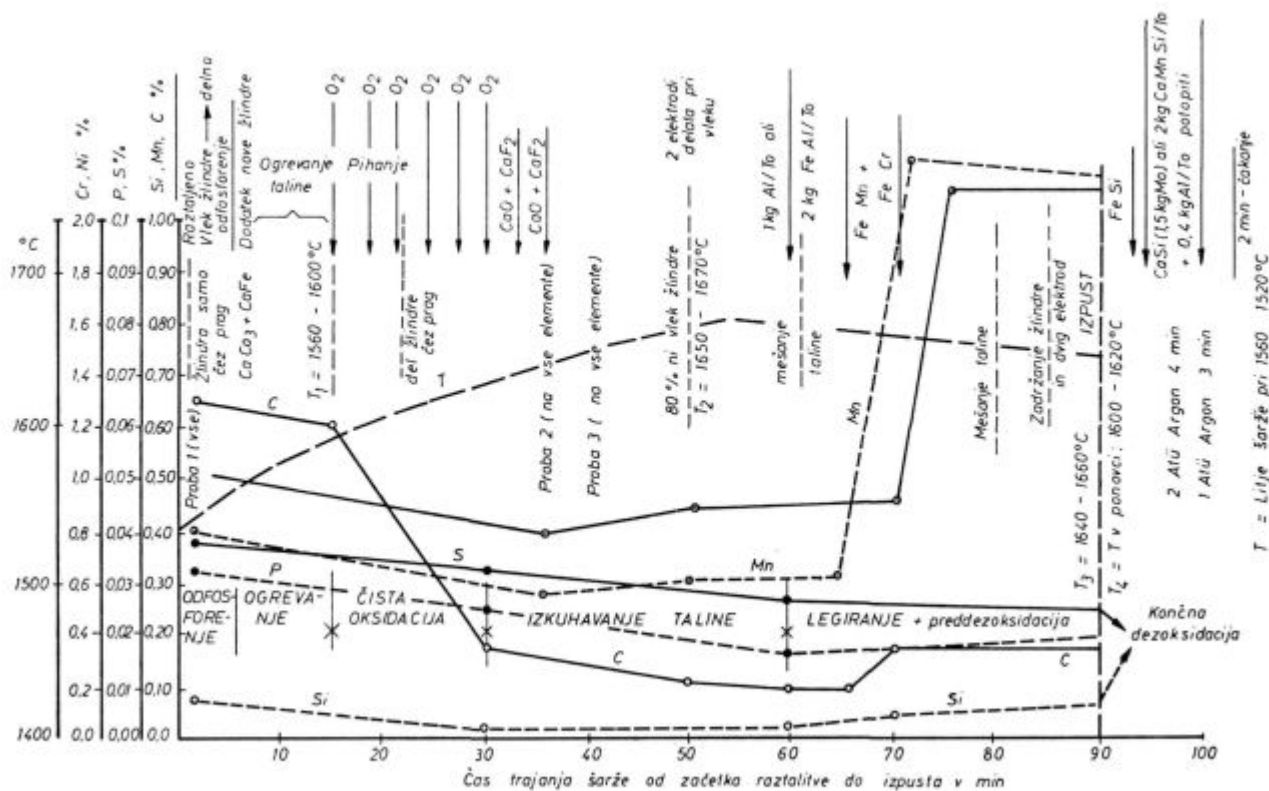


Diagram 18
Potek izdelave šarže po varianti J

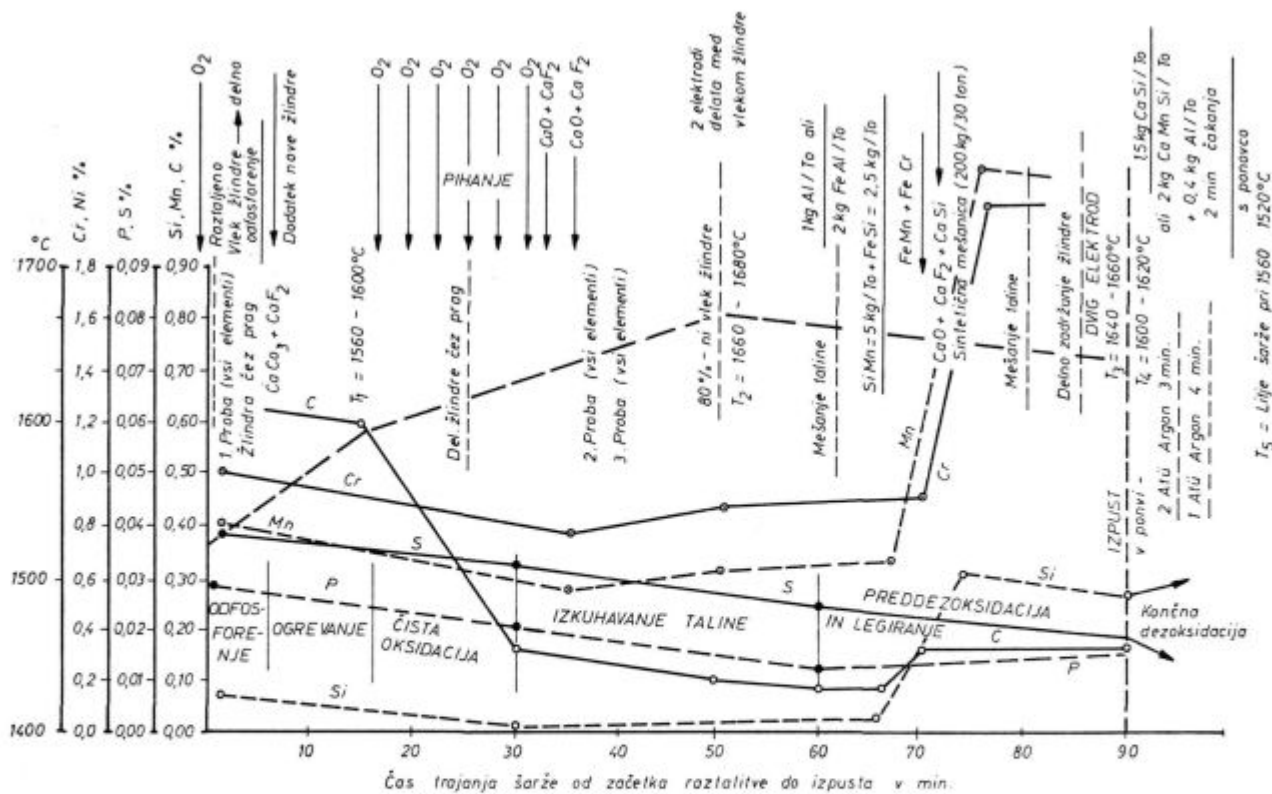


Diagram 19
Potek izdelave šarže po varianti K

Zaradi izrednega skrajšanja trajanja taljenja po metodah J in K se znižajo fiksni stroški izdelave jekla, delno tudi variabilni stroški. Če samo nekaj od teh stroškov upoštevamo (amortizacijo, investicijsko vzdrževanje, vodstvo, obresti in osebni dohodki), znižamo ceno jekla že za 34,81 Ndin na tono. Če od tega odštejemo stroške argona, smo takoj pri 1 toni izdelanega jekla po K metodi prihranili ca. 30 Ndin, kar znaša pri 15 000 tonah proizvodnje cementacijskega jekla že prihranek 450 000 Ndin poleg čistejšega jekla.

Tu nismo vračunali nobenih izpadlih šarž, katere smo prej zaradi nedoseženih lastnosti morali dati v sekundarno proizvodnjo ali celo v izmeček.

Torej, metoda se brez dvoma rentabilno obnese.

PREDPIS IZDELAVE CEMENTACIJSKEGA JEKLA PO METODI »J« IN »K«

Diagrama poteka šarž št. 18 in 19 na garantirano zrno kažeta, kako poteka izdelava cementacijskega jekla, izdelanega v 30-tonski električni obločni peči.

Obe metodi »J« in »K« sta pokazali od vseh enajstih preizkušenih najbolj ugodne rezultate. Med seboj se metodi zelo malo razlikujeta. Metoda »K« je v glavnem malo izboljšana metoda »J«, saj se razlikuje od metode »J« le v tem, da se za ugodnejše odžvepljanje uporabi posebej pripravljena žindra, ki ima nalogo, da po legiranju šarže z Al oz. FeAl dodatno deluje na talino v smislu odžvepljanja. Žindra je sestavljena iz $\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{FeSi}$ (ali CaSi) v drobno zmleti ali fino kosasti obliki. Ima lastnosti hitre raztalitve ter zaščiti talino. Doda se pred legiranjem FeCr in FeMn. Istočasno ima nekaj prostega CaO za dodatno odžvepljanje. Na ta način se lahko doseže pri majhnem (10-minutnem) podaljšanju šarže dodatno odžvepljanje; žveplo želimo doseči pod 0,020 %.

Postopek izdelave je v tem, da se vzame vložek običajen kot po navadi: staro železo, legirani odpadki, grodelj, tako da v vložku ni več kot 0,5 % Cr in približno toliko mangana. Vložek se raztali, delno se potegne žindra, nato se naredi nova žindra za oksidacijo. Šarža se zagreje na 1560° C minimalno ter nato piha s kisikom (oksidacija). Po končani oksidaciji se ca. 20 minut izkuhava. Izkuhavanje naj ne preseže 35 minut, ker se bi izgubilo preveč časa na trajanju šarže. Odstrani se 80 % žindre pod istočasnim delovanjem zadnjih dveh elektrod. V času prenehanja izkuhavanja naj bo temperatura okoli 1650° C ali nekaj več. Sledi dodatek 1 kg Al/tono do 1,5 kg Al/tono ali pa 2—2,5 kg FeAl/tono. Nadalje legiramo 5 kg SiMn/tono + 2,5 kg FeSi/tono ter FeMn + FeCr. Takoj dodamo že prej izdelano sintetično žindro, katero pustimo delovati ca. 10—15 minut med premešavanjem žindre in taline. Šarža je pripravljena za izpust v ponovco. Žindra, ki ne vsebuje FeO (razen malih koncentracij), se lahko

spusti skupno z jeklom v ponovco, da dosežemo še dodatno odžvepljanje. Skupna količina žindre naj bo ca. 200 kg na 30 ton taline.

V curek jekla v ponovco dodamo 1,5 kg CaSi/tono ali lahko tudi toliko CaMnSi.

Šarža se čimprej izlije v ponovco zaradi čim manjše sekundarne oksidacije, nato se prepiluje v ponovci z argonom ca. 4 minute pri 2—3 atm. pritiska. Sledi dodatek 0,3—0,4 kg Al/tono taline s pomočjo droga v ponovco. Nadalje moramo še 3 minute pihati z Ar pod pritiskom 1—2 atm. (flotacija). S tem je šarža izdelana in uporabna za litje v kokile po že znanih metodah.

Po metodah »J« in »K« lahko izdelamo vse šarže kvalitet EC 60, EC 80, EC 100, ECMo 80, ECMo 100, ECN 15, ECN 200, ECN 15, 25, 35. To pa so v glavnem grupe cementacijskih jekel, ki jih izdelujemo.

Za težke kovaške bloke nad 3 tone se predpis toliko spremeni, da se končni dodatek Al med pihanjem argona nekoliko zniža. Dodatek znaša le še 0,20—0,30 kg Al/tono jekla.

ZAKLJUČEK

Pod strogo kontrolo se je izdelalo preko 100 šarž, v glavnem na 30-tonski električni obločni peči. Šarže so bile izdelane po enajstih metodah, od katerih se v svoji tehnologiji principiarno razlikuje šest. Druge metode se razlikujejo med seboj le v manjših dopolnitvah oz. izmenjavah.

Rezultati poizkusov, ki so bili v članku obrazloženi ter diagramsko oz. tabelarično prikazani, so postopoma vodili k boljši čistoči, finejši zrnatosti cementacijskega jekla kakor tudi k večji proizvodnji.

Poizkusi so se vršili na kvalitetah EC, ECMo in ECN, vendar zaradi lažjega pregleda in statistike smo obravnavali v članku le Cr-Mn in Cr-Mn-Mo jekla. Postopoma smo prikazovali spremembe metod izdelave jekla in končno izdelali metodo, ki nam nudi dovolj ugodne pogoje za čistočo in zrnatost. Vse te pogoje smo pokazali:

- v čistoči jekla (vključki: sulfidi, aluminati, silikati, globularni oksidi in skupni vključki),
- v avstenitnem zrnu (po normah ASTM),
- v hitri izdelavi šarž (povečanju produktivnosti),
- v nizkem izmečku (sigurnosti izdelave).

Ker so razne metode dajale prednosti raznim tipom vključkov, smo izbrali oni dve metodi, ki sta zadovoljili zahteve vseh vrst vključkov. To sta metodi »J« in »K«.

Za drobno avstenitno zrno smo izbrali metodo prepilovanja talin v ponovci s plinastim argonom ter aluminiranja taline v ponovci med prepilovanjem argona. S tem smo z veliko sigurnostjo uspeli doseči koncentracijo kislinotopnega aluminija med 0,012 in 0,03 %, kar pa je garant za doseganje drobnega zrna.

Ugotovili smo dodatni padec kisika med prepihovanjem taline za ca. 20—30 % in tudi boljši izplen dodanega aluminija. Nadalje smo ugotovili da zadostuje že 0,010 % topnega aluminija za zahtevano drobno zrno.

Ugotovljeno je, da je potrebna temperatura taline ob času preddezoksidacije v peči ca. 1650° C, ob izpustu pa toliko visoka, da ima talina v ponovci pred začetkom pihanja vsaj 1600° C.

Metodi »J« in »K« omogočata dosego čistega jekla na vključke. Posebno metoda »K« nudi tudi ugodno razporeditev ter obliko vključkov vseh tipov po J K, (A, B, C, D).

Ob tej priložnosti bi se zahvalili inž. M. Velikonji, Reinstahl — Hattingen in dipl. inž. A. Prešernu, Metalurški inštitut — Ljubljana za sodelovanje.

Literatura

1. Plöckinger E., M. Wahlster: Untersuchungen über die Bildung und Abscheidung von Desoxidations — Produkten. Stahl u. Eisen 80 (1960), št. 10, stran 659—669.
- 2., 3. Plöckinger E., R. Rosegger: Desoxidation und technologische Eigenschaften beruhigter Thomasstähle. Stahl

u. Eisen 77 (1957), št. 11, stran 701—714 in št. 12, stran 798—804.

4. Fischer W. A., M. Wahlster: Untersuchungen über die Abscheidungsgeschwindigkeit primärer Desoxidationsprodukte aus Eisenschmelzen. Archiv des Eisenhüttenwesens 28 (1957), št. 10, stran 601—609.
5. Wahlster M.: Gedanken zur heutigen Stahlerzeugung. Radex — Rundschau št. 2 (1969), stran 465—477.
6. M. Wahlster, A. Choudury in H. Knahl A.: Freissmuth, Die Wirkung Kalziumhaltiger Legierungen auf Desoxidation, Entschwefelung und mechanische Eigenschaften von Feinkornbaustahl. Radex — Rundschau št. 2 (1969), stran 478—494.
7. M. I. Cehanskij: Vlijanje kompleksnogo raskislenia na metaličeskiye vlučenia v malouglerodistoi stali. Stal' št. 9 (1962), stran 798—799.
8. A. Schöberl, W. Holzgruber: Die Desoxidation von Chromlegierten Stählen mit Kalziumhaltigen Legierungen. Radex — Rundschau št. 2 (1969), stran 501—507.
9. E. Förster, H. Richter: Über Keimbildungsvorgänge bei der Entstehung von Desoxidationsprodukten. Radex — Rundschau št. 2 (1969), stran 518—523.
10. A. Schöberl, W. Holzgruber, H. Raisky: Ein Beitrag zur Desoxidation von Chrom-Nickel-legierten Einsatzstählen. Radex — Rundschau, št. 5 (1964), stran 251—265.
11. A. Schöberl, W. Holzgruber, E. Kahler: Verbesserung der Güte von austenitischen Chrom-Nickel-Stählen durch Desoxidationsmassnahmen.

ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden über 100 Schmelzen der niedrig legierten Einsatzstähle im 30 t Elektroofen erschmolzen. Bei der Stahlherstellung wurden 11 verschiedene Technologien angewendet, die sich eine von der anderen in grösseren oder kleineren Modifikationen unterscheiden. Im fertigen Stahl haben wir verschiedene Stahleigenschaften wie das Primärkorn, nichtmetallische Einschlüsse und anderes untersucht. Die Versuchsergebnisse welche im Artikel in Tabellen und Diagrammen dargelegt sind, haben uns nach und nach zu einer besseren Reinheit und zu einem feineren Primärkorn der Einsatzstähle geführt.

Unsere Aufgabe war es die folgenden Stahleigenschaften und Produktionsparameter zu verbessern:

- die Reinheit des Stahles (Verminderung der Nichtmetallische Einschlüsse)
- das primäre Austenitkorn
- die Steigung der Ofenleistung
- Die Verminderung des Abfalles (weniger Fehlschmelzen).

Mit den verschiedenen Methoden haben wir auch verschiedene Ergebnisse erzielt. Nach der einen war der Stahl reiner in Hinsicht der sulfidischen Einschlüsse, nach der anderen in Hinsicht der oxydischen oder tonerdehaltigen Einschlüsse. Zuletzt haben wir zwei Methoden aus gesucht, welche im ganzen einen reinen Stahl zu Folge

hatten. Sie sind mit »I« und »K« gekennzeichnet. Für die Technologie dieser zwei Methoden wurden technologische Vorschriften ausgearbeitet.

Zu derselben Zeit wurden ähnliche Versuche durchgeführt um ein feineres Austenitkorn zu erhalten. Es wurde eine Methode ausgewählt, die uns mit einer grössten möglichen Sicherheit ein feines Primärkorn im Einsatzstahl gewährleistet. Diese Methode benötigt ein 6 bis 7 Minuten langes Durchblasen der Schmelze mit Argon. Argon wird durch einen Spülstein im Boden der Pfanne durchgeblasen. Während des Spühlens mit Argon wird Aluminium in die Pfanne in solcher Menge gegeben, welche von 0,013 % bis 0,025 % Aluminium im Stahl und damit auch ein feines Austenitkorn gewährleistet. Wir haben festgestellt, dass die mit Argon gespülten Schmelzen eine kleinere Menge von Säurelöslichen Aluminium benötigen als die nichtgespülten Schmelzen, um garantiert ein Korn von ASTM 5 zu erhalten. Alle Schmelzen wurden im Ofen mit Aluminium vordesoxidiert.

Nach der beiden Verfahren »I« und »K« haben wir einen reinen Stahl wie auch ein feines Primärkorn, wie auch eine günstige Verteilung der einzelnen Typen der nichtmetallischen Einschlüsse erreicht. Deshalb sind diese Methoden für die Erzeugung der Einsatzstähle im Hüttenwerk Ravne eingeführt worden.

SUMMARY

More than 100 batches of the carburising steel (CrMn, CrMnMo — low-alloyed) were made in a 30 t electric arc furnace. Various steel characteristics were analyzed as primary austenitic grain, non-metallic inclusions, etc. Batches were melted by 11 various metallurgical technological methods. The methods differed in smaller or bigger modifications. Results of the experiments, cited in the paper as tables and diagrams led gradually to better purity and finer primary grain of the carburising steel.

The set task demanded improvements in the following items:

- purity of steel (non-metallic inclusions: sulphides, aluminates, silicates, spheroidal oxides),
- austenitic primary grain of steel,
- greater furnace efficiency (greater output),
- small rejection (minimal number of unsuitable batches).

Different methods gave different results. By some of them steel purer in sulphide inclusions, by the others purer in spheroidal oxides or aluminate inclusions was obtained. Finally two methods were chosen which gave

puer steel on the whole. They were marked as »J« and »K«. For the technology of these two methods technological prescriptions were worked out.

Similar experiments were simultaneously carried out in order to obtain fine austenitic grain. A technological method was found which enables to produce carburising steel with fine grain with great certainty. The method demands 6 to 7 minute blowing of steel melt in the ladle by gaseous argon. Argon is blown through a porous stone, mounted on the ladle bottom. By adding aluminium into the ladle during the argon blowing, so that soluble Al

reached 0.013 to 0.025 %, fine austenitic grain is obtained with a great certainty. It was found that batches which were blown by argon did not need so high soluble aluminium content as those which were not blown by argon but also fine grain over ASTM 5 is guaranteed. All melts were predeoxidized by aluminium in the furnace.

Methods »J« and »K« gave good results for purity of steel, for primary austenitic grain, and had also very favourable distribution of individual types of inclusions, therefore they were introduced in the regular production programme of carburising steel in Ravne Ironworks.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для исследования взято свыше 100 плавков (CrMn, CrMnMo), низколегированной стали для цементации произведенных в электрической дуговой печи. Оценка стали относилась на примарное аустенитное зерно, неметаллические включения и пр. Выплавка велась по 11 разных методах металлургической технологии. Эти методы несколько отступали между собой в более или менее отклонением модификаций. Результаты этих опытов, которые в форме диаграмм и таблиц поданы в работе, постепенно дали возможность произвести цементационную сталь высшей чистоты и с мелкозернистым примарным аустенитом.

Отмеченная задача требовала следующие улучшения: 1. чистоту стали (неметаллические включения, сульфиды, алюминаты, силикаты, глобулярные окиси), 2. аустенитное примарное зерно стали, 3. увеличение производительности печи и 4. низкий брак (чем меньше неуспешных плавков).

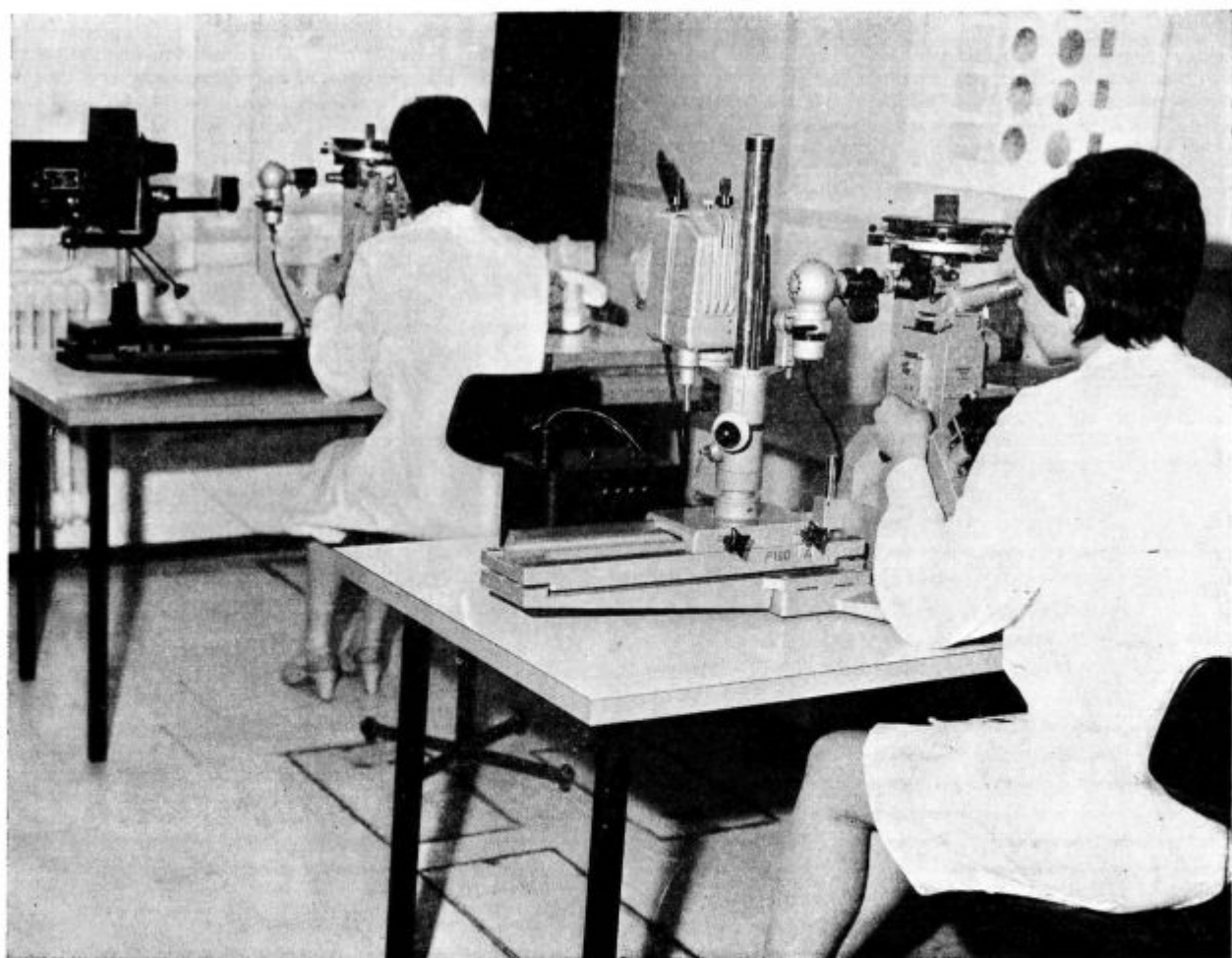
Разные способы плавки дали разные результаты. В некоторых случаях сталь была чище что касается сульфидных включений, в другом случае было меньше глобулярных окисей или алюминатных включений итд. В результате выбраны два метода которые в целом дали самую чистую сталь. Для этих плавков

которые означены с буквами »J« и »K« приготовлены технологические правила.

Параллельно велась выплавки стали с целью получения мелкозернистого аустенита. Выбран такой технологический метод, на основании которого присутствие мелкозернистого аустенита загарантировано. Этот способ требует чтобы расплавленную сталь продували в ковше в течении 6—7 мин. с аргонем. Аргон вдувают посредством пористого камня который находится на дне ковша. С добавкой алюминия на содержание 0.013—0.025 % расплавленного в стали во время продувания аргона в ковше с большой надёжностью получена плавка с мелкозернистым аустенитом.

Опыты указали, что плавки которые продуты с аргонем не требуют высокого содержания отпленного алюминия а, несмотря на это, мелкое зерно аустенита по таблицы ASTM свыше 5 также загарантировано.

Предварительно все плавки были раскислены с алюминием. Методы »J« и »K« дали в результате сталь хорошей чистоты, с мелкозернистым примарным аустенитом, с соответствующим распределением отдельных видов включений. Эти способы нашли промышленное применение в металлургическом цехе Zelezarna Ravne (Югославия).



Ravska jekla natančno metalografsko kontrolirajo

Uvajanje vakuumske metalurgije

S serijo šarž, evakuiranih v komori pri 0,5—1,0 Torra, smo skušali ugotoviti vpliv tehnologije izdelave šarže, dodatka Al za dezoksidacijo, časa in pritiska evakuiranja na zmanjšanje Al_2O_3 in SiO_2 v vključkih ter na intenzivnost odstranjevanja vodika in dušika. Z verjetnim mehanizmom dezoksidacije smo predvsem osvetlili vpliv opeke ponve in stopnjo dezoksidacije na količinske odnose med glavnimi oksidi v vključkih. Podana je tudi primerjava med komponentami v vključkih za šarže, obdelane samo s plinastim argonom in za evakuirane šarže.

UVOD

Z določenimi dezoksidacijskimi tehnologijami na splošno moremo vplivati na obliko, velikost in razdelitev oksidov v vključkih, zmanjšanje količine vodika pa je le delno odvisno od kvalitete porabljenih surovin v vložku oz. med dezoksidacijo.

Uspešno zmanjšanje vodika je možno z industrijskim evakuiranjem, saj so danes znani postopki, kjer z veliko sigurnostjo znižamo vodik do 65 %.

Evakuiranje jeklenih talin postaja zaradi določenih specifičnih prednosti, ki jih evakuirano jeklo izkazuje napram standardnim proizvodnim postopkom, praktično nujno delovna operacija za razne kvalitete jekla.

Učinek evakuiranja na splošno je odvisen od višine podtlaka, časa evakuiranja in od reakcij, ki so v talini sami funkcija različnih pogojev t. j. količine aluminija, stopnje predhodne dezoksidacije, temperature taline in kvalitete proti ognju odpornega materiala.

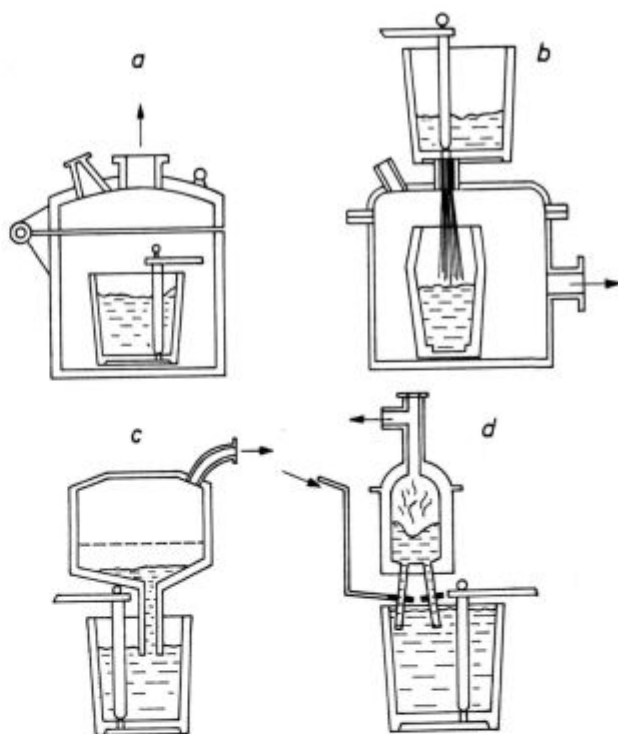
1. OBDELAVA TALINE V VAKUUMU (splošni literaturni pregled)

Značilno za postopek evakuiranja je, da potrebuje podtlake 0,5—10 Torra, razmeroma kratke čase za potrebne reakcije, kar je omejeno z določeno izgubo temperature taline v ponvi oz. z livno tehniko in je uporaben praktično za vse teže šarž. Evakuiranje se lahko izvede med samim litjem — evakuiranje curka med litjem v vakuumsko komoro, ali pa po stacionarni metodi, s cirkulacijo taline (R-H) in z dviganjem taline (D-H), (glej sliko 1).

Evakuiranje taline v ponvi po stacionarni metodi je najenostavnejše.

Polno livno ponev postavimo v komoro, jo prekrijemo s pokrovom, vklopimo črpalke za vakuum. Pri evakuiranju nepomirjene taline pride do zelo živahnega izkuhavanja, do učinkovite degazacije. Pri evakuiranju pomirjene taline ni izkuhavanja, zato dovajamo inertni plin, s čemer moremo običajno doseči željeno znižanje vodika. Slično degazacijo dosežemo pri cirkulaciji taline po R-H postopku ali z dviganjem taline po D-H.

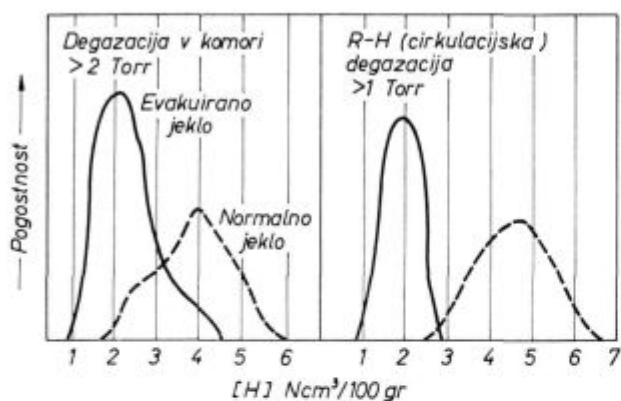
Prednost teh načinov degazacije je v tem, da moremo končno dezoksidacijo in delno dolegiranje izvesti šele po evakuiranju, kar dovoljuje večje sigurnosti, zahteva manj dezoksidantov in izdelano jeklo je bolj čisto.



a - Degazacija ponve v komori
b - Litje v vakuumu
c - D-H degazacija
d - R-H (cirkulacijska) degazacija

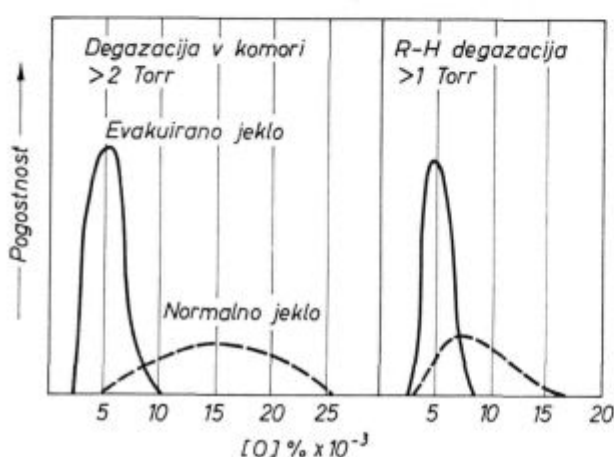
Slika 1

Različni načini degazacije jeklene taline



Slika 2

Vpliv različnih načinov degazacije na odstranjevanje vodika



Slika 3

Vpliv različnih načinov degazacije na odstranjevanje kisika po dezoksidaciji

Problem je v kvaliteti obloge ponve — možnost reakcij med talino in oksidi iz obloge — in v sigurnem načinu dodajanja nujno potrebne količine aluminijskega v talino v ponvi.

Praktično dosegljive vrednosti vodika in kisika pri omenjenih načinih degazacije prikazujemo v slikah 2 in 3.

Izboljšave, ki jih prinese evakuiranje, so obsežne v:

- izboljšanje tople predelave,
- višji vrednosti raztezka in kontrakcije,
- višji vrednosti žilavosti v prečni smeri,
- zmanjšanje nagnjenosti h kosmičavosti,
- izboljšanje magnetnih lastnosti transformatorske pločevine.

V tehnološkem smislu dovoljuje uspešno evakuiranje sledeče:

- pri obločnem elektro postopku moremo opustiti belo žlindro, ki jo nadomesti degazacija,

2. STACIONARNA DEGAZACIJA TALINE V VAKUUMSKI KOMORI V JEKLARNI RAVNE

2.1. Opis postrojenja

Vakuumska naprava »Stokes« je bila namenjena za pretočno evakuiranje.

V Železarni Ravne so jo preuredili na evakuiranje jekla v ponvi.

Uporabljajo običajno 30 t ponev, podaljšano za 700 mm. Kljub temu povišanju nastopajo pri težah šarže preko 27 t težave — brizganje taline preko roba ponve, kar predstavlja obratovalne nevšečnosti.

Da bi lahko evakuirali tudi 30 t taline, je v konstrukciji nova ponev. Ponev je obzidana z normalno šamotno opeko, prav tako je normalno obzidan zamašni drog. Dosedanje praktične izkušnje kažejo, da pride do abnormalno velikih erozij opeke na ponvi in drogu v višini žlindre in pri dnu oz. v območju okrog poroznega kamna za prepihanje s plinastim argonom.

Vzdržnost ponve je trenutno poprečno 12 šarž z vmesnim krpanjem.

Naprava je grajena za 30 t šaržo. Stopnja vakuuma je 500...850 mikronov, to je 0,5...0,8 Torra. Ciklus evakuiranja traja 15 do 18 minut.

Poraba vode znaša 1500...2400 l/min, odvisno od temperature vstopne vode. Temperatura vode v kondenzatorjih je 20...24°C. Pritisk vode je 2,2...2,4 atm.

Poraba pare je 6000 kg/h, temperatura pare 280°C, pritisk 8...8,5 atm.

Število ejektorskih stopenj je 7, prostornina vakuumske komore 88,3 m³, sesalna moč brez 6 in 7 stopnje pa 1600 m³/min pri 0,6 Torra.

Poraba argona, ki ga spustimo skozi talino po prvi stopnji, to je po 5—6 min. znaša 70...100 litrov/min.

Ponev normalno pripravijo z dodatnim ovijanjem ročice za pritrditev zamašnega droga in zgornji del vodila z azbestnim platnom. Zamašni drog ojačajo v območju največje erozije z ovijanjem azbestnega traku, namočenega v šamotno malto.

Ponev pred uporabo ne ogrevajo dodatno, toplota je le toliko kolikor zadrži toploto od predhodne šarže to je okrog 400°C. Novo obzidano ponev posušijo in odlijejo eno šaržo brez evakuiranja. Pred šaržo, ki jo nameravajo evakuirati, najprej evakuirajo prazno ponev najmanj eno uro pri novi ali zakrpani ponvi in najmanj pol ure pri že uporabljeni dobri ponvi. S predevakuiranjem ponve so povečali učinek evakuiranja taline za okrog 35 % napram rezultatom, ki so jih dobili brez tega manevriranja.

Talino izlijejo iz peči v predevakuirano ponev, v kateri izvedejo tudi končno dezoksidacijo. Žlindre zadržijo čim več v peči, praktično v količini 70...90 %. Ponev s talino postavijo nato v komoro, priključijo zaščiteno kovinsko fleksibilno cev

za dovod plinastega argona, pokrijejo komoro in prično z evakuiranjem. Najprej vklopijo 6. 5. 4. in 3. stopnjo, po dveh do treh minutah, ko dosežejo 150 mm Hg pritiska, vklopijo še 2. stopnjo in pri 200 mm Hg, to je po cca 4 min., še prvo stopnjo. Ko dosežejo po cca 6 minutah tlak okrog 0,6 mm Hg, dodajo argon za premešanje taline. Med evakuiranjem in preprihovanjem taline z argonom se vakuum nekoliko spreminja in sicer med vrednostjo 0,6—1,0 mm Hg.

2.2. Program raziskav

Da bi določili najvplivnejše parametre, ki degazacijo spremljajo, smo v 25 t E-peči izdelali 14 šarž po internem standardnem tehnološkem regulativu z vakuumsko degazacijo.

Pri vseh šaržah smo zasledovali:

- skupni kisik po normalnem izkuhavanju taline v peči,
- skupni kisik 20—35 min. pred izpustom,
- skupni kisik v talini ob koncu izpusta, ko je bila ponev napolnjena,
- skupni kisik v talini po evakuiranju,
- skupni kisik po odlitju druge livne plošče.

Vzorčevanje smo izvedli delno s potopnimi kokilami, delno z evakuiranimi cevkami.

Glavne oksidne spojine Al_2O_3 in SiO_2 v vključkih smo analizirali na vzorcih taline 6—7 min. in pol minute pred evakuiranjem in po evakuiranju.

v vseh vzorcih smo analizirali količino kislinc topnega aluminija.

Vodik in dušik smo analizirali:

— v vzorcih taline 6—7 min. pred evakuiranjem, ko je ponev napolnjena, po evakuiranju in v izdelani šarži. Vzorčevanje za vodik in analiziranje je izvedel po standardni metodi kemijski laboratorij Železarne Ravne.

Kot je razvidno iz tabele 1 je bilo izdelanih 10 šarž kvalitete Utop Ex. 1 oz. 2, po ena šarža ECN 200, TV 4, VCN Mo 200 in St 523. Količine ogljika v izdelanih šaržah so bile med 0,49... 0,57 %, v mehkejših kvalitetah med 0,15... 0,26 %.

Normalno izkuhavanje po oksidaciji je trajalo med 32 in 40 minut, izjemoma 25, 67 in 90 minut.

Na splošno so bili tehnološki parametri izdelave šarž v ozkih mejah odstopanja, tako da je bilo možno rezultate vpliva teh parametrov primerjalno uporabiti.

V tabeli 1 prikazujemo poleg kemijske sestave jekla še količine skupnih kisikov v posameznih vzorcih, kalkulacijsko količino nevezanega kisika ob koncu normalnega izkuhavanja taline in čas izkuhavanja. V tabeli 2 navajamo podatke o aluminiju, količine kislincotopnega Al pred in po evakuiranju ter kemijsko analizo glavnih oksidov v vključkih pred in po evakuiranju.

V tabeli 3 so analize vodika in dušika pred in po evakuiranju.

Tabela 1

Sarža št.	Kvaliteta	C	Si	Mn	O	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	Čas izkuhavanja — min.
24159	Utop ex. 1	0,56	0,29	0,63	0,002	0,0242	0,0148	0,0082	0,0118	0,0072	0,0026	36
24181	"	0,55	0,25	0,57	0,0018	0,0246	0,0138	0,0082	0,0105	0,0084	0,0025	32
24183	"	0,57	0,31	0,64	0,0048	0,0233	0,0128	0,0068	0,0163	0,0097	0,0085	39
24184	"	0,55	0,28	0,57	0,0045	0,0277	0,0129	0,0073	0,0147	0,0088	0,0044	40
24214	ECN 200	0,16	0,3	0,43	0,0076	0,0313	0,0322	0,0254	0,0178	0,0128	0,0074	37
24210	TV 4	0,51	0,3	1,27	0,005	0,0298	0,0143	0,0088	0,0102	0,0087	0,0064	45
24211	VCN Mo 200	0,26	0,33	0,38	0,0062	0,0260	0,0268	0,0150	0,0148	0,0148	0,006	38
24157	Utop ex. 1	0,57	0,20	0,56	0,0032	0,0246	0,0106	0,0046	0,0089	0,0073	0,0037	67
24158	Utop ex. 1	0,57	0,27	0,6	0,0027	0,0285	0,0105	0,005	0,0127	0,0081	0,0038	90
24272	"	0,55	0,3	0,55	0,0022	0,0202	0,0162	0,0102	0,0104	0,0079	0,0029	37
24273	"	0,51	0,21	0,5	0,0038	0,0213	0,0121	0,0061	0,0116	0,0072	0,0039	36
24274	"	0,49	0,23	0,58	0,0068	0,0267	0,0162	0,0106	0,0146	0,0089	0,0068	25
24277	Utop ex. 2	0,49	0,25	0,56	0,0045	0,0270	0,0158	0,010	0,0122	0,0065	0,0044	30
24220	St 523	0,15	0,36	1,17	0,0031	0,0466	0,0396	0,0355	0,0064	0,0064	0,0034	40

O — skupni kisik v izdelani šarži

O₁ — skupni kisik v talini 20—35' pred izpustom

O₂ — skupni kisik v talini po izkuhavanju (5—15' pred izpustom)

O₃ — nevezani kisik v talini po izkuhavanju

O₄ — skupni kisik v talini 6—7' pred evakuiranjem

O₅ — skupni kisik v talini 1/2' pred evakuiranjem

O₆ — skupni kisik v talini po evakuiranju

Tabela 2

Šarža št.	Dod. Al kg/t	Nekovinski vključki %								
		Al ₁	Al ₂	Al ₃	(Al ₂ O ₃) ₁	(SiO ₂) ₁	(Al ₂ O ₃) ₂	(SiO ₂) ₂	(Al ₂ O ₃) ₃	(SiO ₂) ₃
24159	0,47	0,032	0,026	0,007	0,016	0,004	0,0064	0,004	0,001	0,002
24181	0,51	0,038	0,027	0,004	0,017	0,003	0,0107	0,003	0,0006	0,003
24183	0,51	0,031	0,023	0,003	0,018	0,007	0,007	0,007	0,002	0,012
24184	0,48	0,023	0,017	0,004	0,014	0,006	0,007	0,006	0,001	0,0055
24214	0,5	0,015	0,012	0,003	0,005	0,014	0,004	0,013	0,001	0,008
24210	0,43	0,018	0,014	0,007	0,014	0,007	0,005	0,01	0,002	0,007
24211	0,4	0,017	0,014	0,004	0,013	0,011	0,0064	0,008	0,001	0,01
24273	0,48	0,021	0,016	0,004	0,004	0,009	0,005	0,006	0,001	0,002
24158	0,48	0,032	0,026	0,009	0,012	0,0105	0,008	0,007	0,0007	0,005
24157	0,48	0,027	0,023	0,004	0,010	0,006	0,006	0,003	0,001	0,003
24272	0,48	0,027	0,023	0,004	0,008	0,008	0,006	0,003	0,001	0,0034
24274	0,47	0,017	0,011	0,004	0,009	0,012	0,004	0,011	0,0031	0,007
24277	0,6	0,033	0,027	0,004	0,015	0,002	0,007	0,002	0,003	0,004
24220	0,9	0,021	0,018	0,007	—	—	0,005	0,003	0,0032	0,003

Al₁ — količina kislinotopnega (Al) % 6–7' pred evakuiranjem

Al₂ — količina kislinotopnega (Al) % 1/2' pred evakuiranjem

Al₃ — količina kislinotopnega (Al) % v izdelani šarži
 (Al₂O₃)₁ — količina Al₂O₃ % —7' pred evakuiranjem
 (Al₂O₃)₂ — količina Al₂O₃ % 1–2' pred evakuiranjem
 (Al₂O₃)₃ — količina Al₂O₃ po evakuiranju

Tabela 3

Šaržna št.	Ncm ³ /100 gr		%		/C/×/0/ po izku- havanju	/C/×/0/ po eva- kuiranju
	H ₁	H ₂	N ₁	N ₂		
24159	5,9	3,2	0,0069	0,0021	0,00395	0,00028
24181	4,2	5,1	0,0064	0,0023	0,00436	0,001
24183	—	—	0,009	0,0036	0,00375	0,00051
24184	6,3	4,2	0,0073	0,0039	0,0034	0,00033
24214	5,1	3,5	0,0083	0,005	0,00358	0,00008
24210	5,0	4,0	0,0065	0,004	0,00335	0,00041
24211	6,1	5,1	—	—	0,00314	0,00018
24157	6,5	5,0	0,0069	0,0026	0,0023	0,00051
24158	4,7	2,4	0,0076	0,0029	0,0022	0,00017
24272	4,5	2,6	—	—	0,00387	0,00011
24273	5,7	2,8	0,0073	0,0033	0,00336	0,00021
24274	4,2	2,4	0,0077	0,0042	0,00518	0,00049
24277	4,7	2,5	0,007	0,0036	0,0046	0,00029
24220	2,7	2,3	0,0081	0,003	0,00353	0,000045

H₁ — količina vodika v talini pred evakuiranjem

H₂ — količina vodika v talini po evakuiranju

N₁ — količina dušika v talini pred evakuiranjem

N₂ — količina dušika v talini po evakuiranju

2.3. Izdelava poizkusnih talin

Po raztaljenju vložka so bile količine ogljika v prvi probi okrog 0,3...0,6 % iznad zahtevane končne analize. Pri vseh šaržah smo izvedli oksidacijo s plinastim kisikom s poprečno žilavilno hitrostjo 0,026 % C/min. Vse sarže so bile izdelane

z eno žlindro. Temperatura talin po oksidaciji je bila med 1670 in 1730° C, pred izpustom 1680 in 1720° C, temperatura curka med 1650 in 1700° C, temperatura taline pri litju 10 in 14 t ingotov pa 1440...1500° C + K. Temperatura taline po odlitju zadnjega (drugega) ingota je bila 1420...1465° C + K.

Vrednotenje rezultatov dovoljuje naslednje splošne pripombe:

— v času 5...15 minut pred izpustom oz. ob koncu izkuhavanja po oksidaciji je v talini poprečno 0,014 % skupnega kisika, odvisno od ogljika in časa izkuhavanja. V času 6...7 minut pred evakuiranjem je poprečna količina kisika 0,012 % in 0,5...1 minuto pred evakuiranjem poprečno 0,008 %. V evakuirani šarži je okrog 0,0031 % kisika. Redukcija skupnega kisika v poprečnem času evakuiranja 15 minut, pri poprečnem podtlaku 0,71 Torrov znaša 62 %. Pri slični primerjavi šarž preprihane s plinastim argonom znaša zmanjšanje kisika okrog 45 %.

— Količine dodanega aluminija se gibljejo med 0,4 in 0,5 kg/t pri trdih kvalitetah in 0,9 do 1,0 kg Al/t pri srednjeogljčnih saržah. V talini pred evakuiranjem je 0,011 do 0,027 % Al, v izdelanih šaržah smo ga analizirali 0,003...0,007 %.

— Kemijska sestava glavnih oksidnih spojin Al₂O₃ in SiO₂ v vključkih ob koncu izpusta je značilna po poprečno visokih količinah Al₂O₃ in zelo spremenljivih količinah SiO₂. Mogli bi delno zaključiti, da je pri nižjih vsebnostih topnega Al v talini večja količina SiO₂ v vključkih. 0,5...1 minute pred evakuiranjem t. j. okrog 8–10 minut po dodatku dezoksidantov se SiO₂ v vključkih bistveno ne zmanjša, znatno pa se zniža količina Al₂O₃.

— V oksidnih vključkih evakuirane taline ugotavljamo izredno nizke vsebnosti Al_2O_3 — največ 0,001 % — in zelo spremenljive količine SiO_2 — od 0,002...0,012 %. Tu pride jasno do izraza vpliv topnega aluminija na obseg redukcije SiO_2 . Primerjava sestave teh vključkov z onimi pri argonsko obdelanih talinah kaže znatno izboljšavo evakuiranih talin v pogledu Al_2O_3 in v povprečju višje količine SiO_2 tudi pri višjih vsebnostih topnega Al. To dejstvo predstavlja negativni pojav v celotnem mehanizmu evakuiranja oz. zahteva čim nižje vsebnosti SiO_2 v talini že pred evakuiranjem. Ta pa spet potrjuje nujnost višjih količin Al za izdatno redukcijo ali pa take pogoje za kinetiko medsebojnih reakcij, da teoretično ne pride do nastanka SiO_2 v času dezoksidacije oz. evakuiranja. Torej šamotna ponev ni prikladna za to operacijo.

— Vrednost produkta $[C]/[O]$ po normalnem izkuhanju je v ravnotežnem pogojju približno 0,0028. Pri poizkusnih talinah je ta vrednost v povprečju 0,0037. Napram kalkulaciji količine nevezanega kisika po izkuhanju bi bil potreben čas izkuhanja sledeč:

$$t = K_1/O \times C = 0,154/0,0028 = 55 \text{ minut}$$

Konkretno je znašal čas izkuhanja okrog 32 minut in poprečna količina nevezanega kisika je torej:

$$[O] \% = 0,135/0,55 \times 32 = 0,0079 \%$$

Kljub temu ne smatram, da bi bil potreben daljši čas izkuhanja, saj je z naknadno degazacijo možno doseči znatno manjše vrednosti nevezanega kisika.

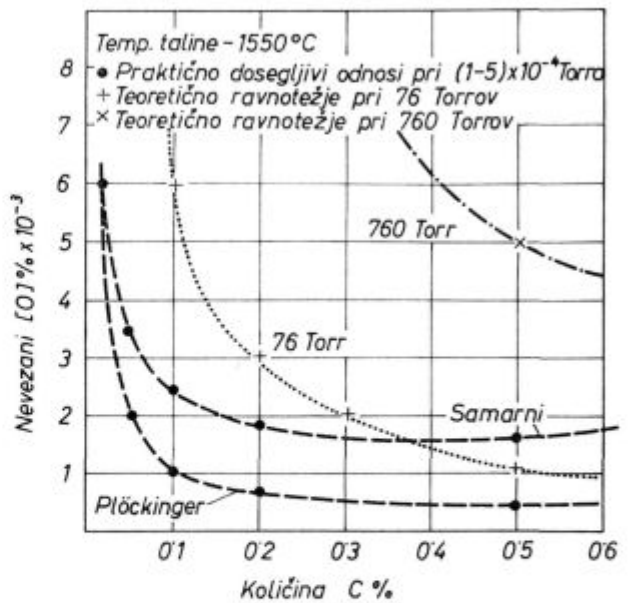
— Vrednost produkta $[C]/[O]$ po evakuiranju poizkusnih talin pri 0,71 Torrov znaša 0,0001 do 0,0005. Pri poprečno 0,55 % C je količina nevezanega kisika okrog $0,0002/0,55 = 0,00046$ %. Napram sliki 4 zaključujemo, da je pri teoretičnem ravnotežju, pri podtlaku 76 Torr in 0,55 % C v talini približno 0,0012 % nevezanega kisika.

Plöckinger in Samarini navajata, da je praktično možno dobiti v talini okrog 0,005 do 0,0016 % nevezanega kisika pri podtlaku $(1-5) \times 10^{-4}$ Torrov, ki pa je pri industrijski degazaciji nedosegljiv, saj je obratovalni podtlak 0,5 do 10 Torrov.

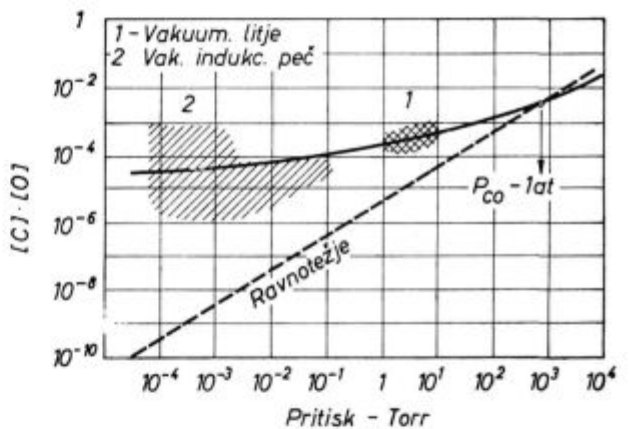
Če predpostavimo, da smo poizkuse izvajali pri 1 Torru, potem bi teoretično (slika 5) imeli v talini okrog 0,001 % kisika pri 0,5 % C; napram sliki 6 pa imamo v talinah praktično 0,007 % nevezanega kisika, kar se z zgoraj prikazano konkretno dosegljivo vrednostjo zadovoljivo ujema.

Torej bi mogli zaključiti, da smo v pogledu zmanjšanja količine nevezanega kisika dosegli z obratovalnim podtlakom 0,71 Torrov take rezultate, kot se jih pri dobri degazacijski praksi splošno doseže (slika 7).

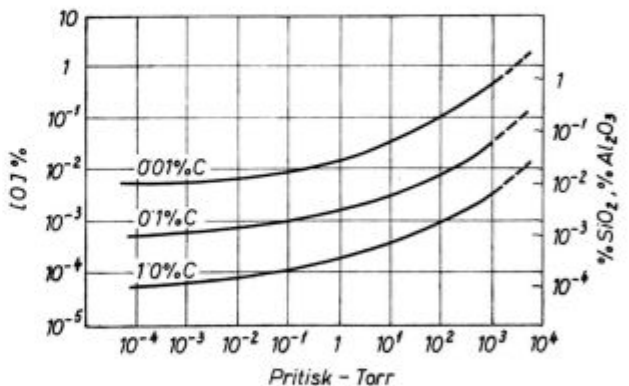
— Iz slike 8 moremo tudi zaključiti, da je 0,0006—0,0007 % nevezanega kisika v ravnotežju s približno 0,55 % Al (+ 0,5 % Mn). To pomeni, da



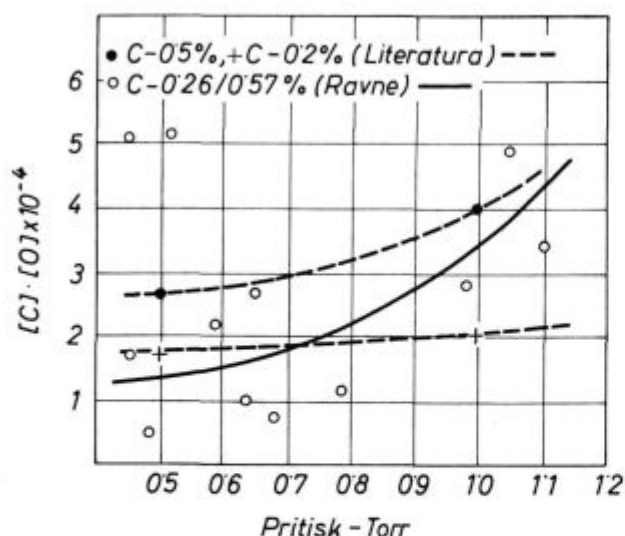
Slika 4
Vpliv pritiska na odnose med C in O v talini



Slika 5
Vpliv pritiska na vrednost produkta $[C]/[O]$

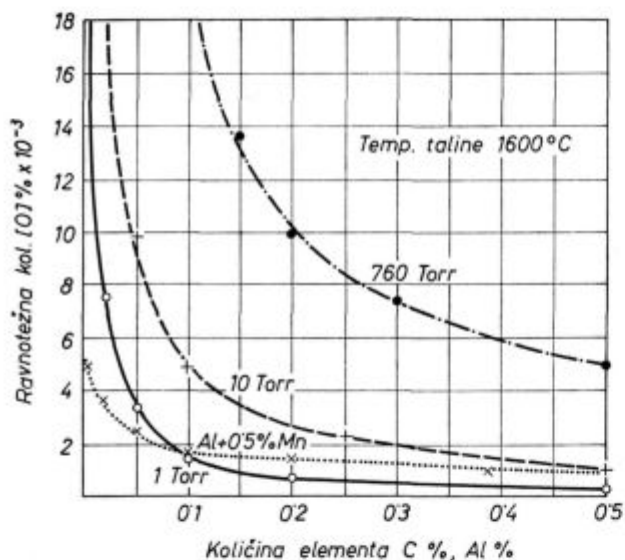


Slika 6
Medsebojni odnosi med pritiskom, O, C in oksidnimi komponentami v vključkih



Slika 7

Primerjava vpliva pritiska na $[C]/[O]$ med srednje in visokoogljčnim jeklom



Slika 8

Primerjava desoksidiacijske sposobnosti C in Al v odvisnosti od pritiska

je praktično možno s podtlakom okrog 1 Torr doseči učinkovitejšo desoksidacijo in vsled čiste plinske degazacije še znatno čistejše jeklo, kot pri uporabi normalno visoke količine Al.

3. VERJETNI MEHANIZEM DEZOKSIDACIJE IN EVAKUIRANJA

Vse navedene pripombe označujejo okvirno vrednost vakuumske obdelave talin, ne dovoljujejo pa zaključkov o verjetnih medsebojnih odnosih, ki jih sam proces evakuiranja diktira, niti ni možen vpogled v kinetiko nastanka in izločanja

spojin ter medsebojnega reagiranja elementov taline z oblogo ponve kot funkcijo časa in obsega evakuiranja.

Po vzoru že večkrat analiziranega verjetnega mehanizma dezoksidacije, smo tudi pri konkretnih poizkusnih talinah izdelali podrobno tehnološko analizo in s pomočjo dobljenih rezultatov iz tabele 1 in 2 (skupni in nevezani kisik, kislinotopni Al, SiO₂ in Al₂O₃ v vključkih) prikazali verjetni mehanizem medsebojnih odnosov v fazi izkuhavanja taline v peči, med dezoksidacijo, med evakuiranjem in v talini po evakuiranju.

3.1. Konkreten primer:

Šarža 24159 — Utop ex. 1

C — 0,56 % Si — 0,29 %, Mn — 0,63 %, top. Al — 0,007 %, top. Al v talini pred evakuiranjem 0,026 %.

Po žilavenju s plinastim kisikom je nastopila faza normalnega izkuhavanja brez dodatka Al + SiMn in je trajala 36 minut.

Kalkulacijska količina nevezanega kisika ob koncu izkuhavanja:

$$[O] / \% = K \times 1 / C \times 1 / t$$

$$[O] / \% = 0,141 \times 1 / 0,47 \times 1 / 36 = 0,0082 \%$$

Napram rezultatom preiskav številnih elektro šarž je v vključkih ob koncu izkuhavanja približno 0,004 % Al₂O₃, 0,0075 % SiO₂ in vezani kisik približno 0,0058 %.

Skupni kisik ob koncu izkuhavanja je 0,0082 + 0,0058 = 0,014 %.

12 minut po normalnem izkuhavanju je sledil izpust taline. Predpostavljamo, da se v tem času niso bistveno spremenile količine nevezanega kisika in glavne oksidne spojine v vključkih. Dodali smo le FeMn in FeCr.

V talini pred izpustom je torej okrog 0,0082 % nevezanega kisika, 0,0035 % Al₂O₃, 0,007 % SiO₂, okrog 0,001 % Cr₂O₃ in skupna količina vezanega kisika je 0,0055 %. V talini je v trenutku izpusta približno 0,0082 + 0,0055 = 0,0137 % skupnega kisika.

V curek taline dodamo 0,47 kg Al/t. V času 3 minut po dodatku, torej ko se je ponev napolnila s talino in žlindro, smo določili v vzorcu, vzetem iz taline v ponovci, 0,032 % topnega Al. To pomeni, da je bil vzorec vzet prehitro in da še ni prišlo do dokončne stopnje kinetičnih odnosov med oksidnimi spojinami v talini (višina ponve).

Kalkulacija odnosov v času 10 minut po pričetku izpusta oz. 7 minut po končanem izpustu, t. j. v času preden smo ponev postavili v vakuumsko komoro:

Temperatura taline ob izpustu je bila 1750° C. V času 7 minut je verjetni obseg izločanja Al₂O₃ spojin okrog 80 %.

Količina topnega Al v talini je 0,026 % in ravnotežna količina nevezanega kisika 0,0012 %. Si v jeklu je 0,29 % in ravnotežna količina nevezanega

kisika okrog 0,008 %. Praktično pride torej le do nastanka malih količin SiO_2 med dezoksidacijo.

Razlika $(0,0082 - 0,0012) = 0,007$ % O reagira z Al in nastane 0,0147 % Al_2O_3 . Po prej izvedeni analizi znašajo skupno nastale SiO_2 spojine 0,016 %. Redukcija z Al bo toliko učinkovita kot je prej navedeno in nastala količina Al_2O_3 je približno 0,013 %.

Skupno nastane $0,0147 + 0,0035 + 0,013 + 1,9(0,032 - 0,026) = 0,0426$ % Al_2O_3 spojin. Pri temperaturi taline ob izpustu 1680°C je verjeten obseg izločanja Al_2O_3 spojin okrog 85 % in v vključkih ostane $0,15 \times 0,0426 = 0,0064$ % Al_2O_3 .

Sestav vključkov pred pričetkom evakuiranja taline je:

0,0064 % Al_2O_3 , 0,004 % SiO_2 , 0,0012 % O ($\text{FeO} + \text{MnO}$), 0,001 % Cr_2O_3 , 0,0005 % ($\text{CaO} + \text{MgO}$).

Skupni kisik je približno 0,0072 %.

Ce bi ne evakuirali taline in bi z litjem v kokile pričeli po 10 minutah pri normalnih temperaturnih prilikah, bi znašal skupni kisik, po slični kalkulaciji, okrog 0,0078 %.

Talino smo evakuirali 14,3 minute pri 5 stopenjskem podtlaku. Poprečni podtlak znaša 0,68 Torrov, poprečni dodatek Ar 85 l/min.

Količina skupnega kisika po evakuiranju je 0,002 %. Oksidni vključki so sestavljeni iz 0,001 % Al_2O_3 , 0,002 % SiO_2 . V času evakuiranja so se torej zmanjšale količine oksidnih spojin kot sledi:

Al_2O_3 za $(0,0064 - 0,001) \times 100/0,0064 = 85$ %

SiO_2 za $(0,004 - 0,002) \times 100/0,004 = 50$ %

Ostali oksidi ($\text{FeO} + \text{MnO} + \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$) za $(0,0089 - 0,0065) \times 100/0,0089 = 27$ %.

Kisik v ostalih oksidih se je zmanjšal za $(0,002 - 0,0011) \times 100/0,002 = 45$ %. V času nadaljnjih 8 do 9 minut po evakuiranju (skupni čas od izpusta do pričetja litja znaša 33 minut) smo določili v vzorcu taline pred pričetkom litja v kokile 0,002 % skupnega kisika. Torej se je kisik ostalih oksidov znižal skupno za $(0,002 - 0,0005) \times 100/0,002 = 75$ %. Temu znižanju kisika ostalih oksidov odgovarja torej čas evakuiranja in čas čakanja s ponjivo do pričetka litja v kokile.

Nastane tehtno vprašanje, kje pride do dodatnega odgora topnega Al, ki je v talini pred pričetkom evakuiranja 0,026 %, v izdelanem jeklu po evakuiranju pa le 0,007 %.

Za dezoksidacijo se vsled specifičnega vpliva podatka za obseg plinske dezoksidacije ni porabil.

Odgovor nam omogoča verjetni mehanizem v kinetiki tvorbe in izločanja oksidnih produktov kot sledi.

V času t minut evakuiranja se izloči iz obloge ponve količina X % opeke, v kateri je 0,65 X % SiO_2 .

Pri redukciji $/(0,65 X + 0,004) - 0,002/$ % SiO_2 z Al nastane:

$$1,13/(0,65 X + 0,004) - 0,002/ \text{Al}_2\text{O}_3.$$

Po bilanci ostane v šarži 0,007 % Al oz. v talini v ponvi približno $1,4 \times 0,007 = 0,01$ % Al.

$$0,01 = 0,026 - 54/102 \times 1,13/0,65 X + 0,002/ \cdot X = 0,037 \text{ %}.$$

Pri predpostavki, da je izločanje SiO_2 med evakuiranjem nekaj manjše kot smo ga ugotovili v času 10—15 minut cirkulacije taline v indukcijski peči, t. j. okrog 50 %, potem je:

$$X = 0,074 \text{ % in } \text{SiO}_2 = 0,65 \times 0,074 = 0,048 \text{ %}.$$

$$0,074 = K \times (14,3 + 1)^2 \times 16,8$$

$$K = 7,8 \times 10^{-5}$$

Količina topnega Al, potrebna za nastanek določene količine Al_2O_3 znaša:

$$54/102 \times 1,13 (0,65 X + 0,002) = 0,016 \text{ %}$$

V talini v ponvi bo torej $0,026 - 0,016 = 0,010$ % topnega Al, v jeklu bi ga naj bilo okrog $0,6 \times 0,010 = 0,006$ %. Stvarno smo ga analizirali 0,007 %.

Skupno nastane $0,026 + 0,0064 = 0,0324$ % Al_2O_3 . Po analizi izolata je v vključkih 0,001 % Al_2O_3 . Verjetni obseg izločanja znaša:

$$(0,0324 - 0,001) \times 100/0,0324 = 96 \text{ %}.$$

Značilno za fazo evakuiranja — v pogledu čiščenja taline — je znatno povečana intenzivnost izločanja Al_2O_3 spojin, saj je pri normalnih dezoksidacijskih pogojih ta obseg okrog 82 do 85 %. Obseg izločanja SiO_2 spojin moramo kalkulirati s 50 %, izločanje ostalih oksidov s 25—30 %.

Napram standardni dezoksidacijski praksi se je zmanjšala količina skupnega kisika za $(0,0072 - 0,002) \times 100/0,0072 = 72$ %.

Po prikazanem mehanizmu smo analizirali vse ostale poizkusne šarže.

3.2.

Vrednotenje vseh tehnoloških parametrov, rezultatov analize kisika, Al_2O_3 in SiO_2 v vključkih, topnega Al in faktorjev, kot jih nudi verjetni mehanizem evakuiranja, dovoljuje naslednje ugotovitve:

— Količina kislinskega Al je funkcionalno povezana z dezoksidacijo in z evakuiranjem:

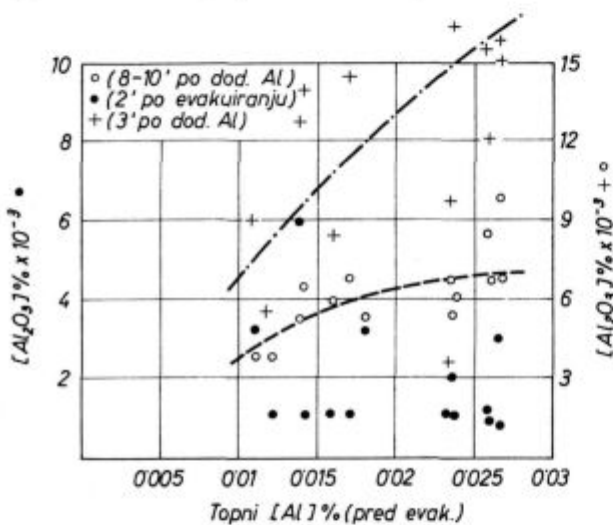
— V času evakuiranja jeklene taline v šamotni ponvi pride do znatnega znižanja vsebnosti kislinskega Al. Poprečno znaša redukcija okrog 78 %.

— Vrednost produkta $/C/ \times /O/$ pri 0,5 % C in poprečno 0,71 Torrov je 0,0002. Torej je količina nevezanega kisika v talini po evakuiranju okrog $0,0002/0,5 = 0,00004$ %. Ker je pri konkretnih količinah Al v talini pred evakuiranjem — 0,018 % — nemogoče doseči tako nizke količine nevezanega kisika, ni bil torej porabljen Al za dezoksidacijo, temveč za redukcijo SiO_2 . Da je ta reakcija zelo obsežna, torej delež SiO_2 iz obloge ponve znaten, zaključujemo iz naslednjega:

— Skupni kisik v talini po evakuiranju oz. z odlitem jeklu je funkcija količine topnega Al pred evakuiranjem. S povečano količino Al se zmanjšuje skupni kisik.

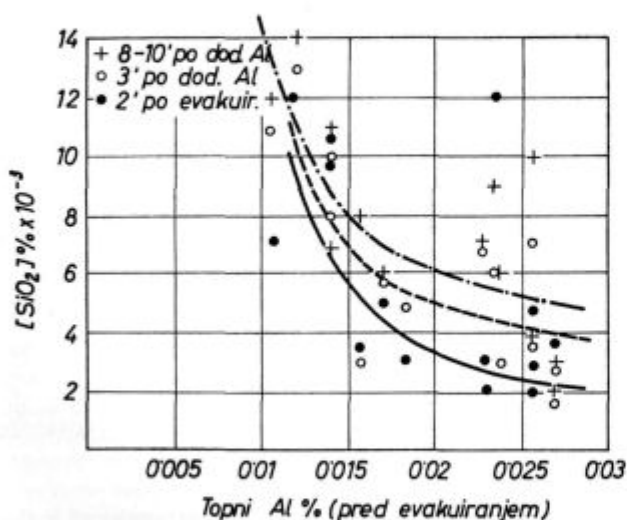
— V slikah 9 in 10 vidimo, da vpliva povečana količina Al na povečanje Al_2O_3 spojin v vključkih po normalni dezoksidaciji, da pa po evakuiranju tega vpliva ni zaslediti. Vsebnosti Al_2O_3 so minimalne (0,0006—0,001 %). Povsem drug je vpliv Al na obnašanje SiO_2 v vključkih. S povečano količino Al se zmanjšuje SiO_2 . Intenzivnost zmanjšanja je večja med evakuiranjem kot med standardno dezoksidacijo. Prav gotovo je zaskrbljujoče dejstvo, da kljub tehnično visokemu topnemu Al ne dosežemo znižanja SiO_2 do minimalnih vrednosti.

— Če prisvojimo odnos erozije opeke v talino med izpustom (vsled mešanja) in med evakuiranjem, kot smo ga prikazali v verjetnem mehaniz-



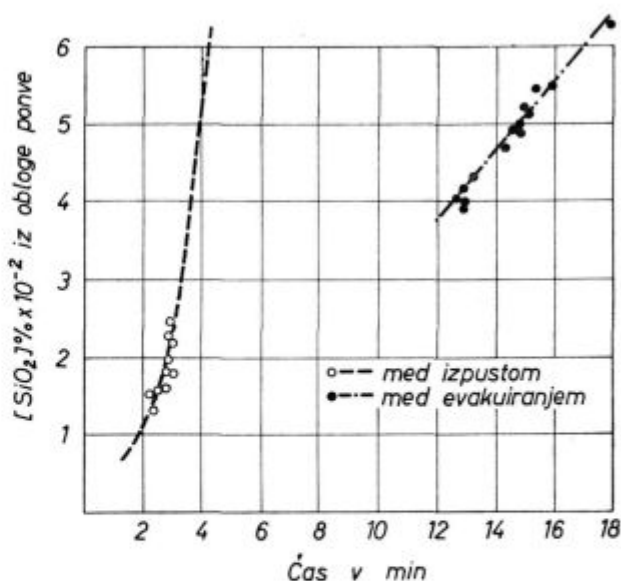
Slika 9

Vpliv količine topnega Al v talini na Al_2O_3 v vključkih



Slika 10

Vpliv količine topnega Al v talini na SiO_2 v vključkih



Slika 11

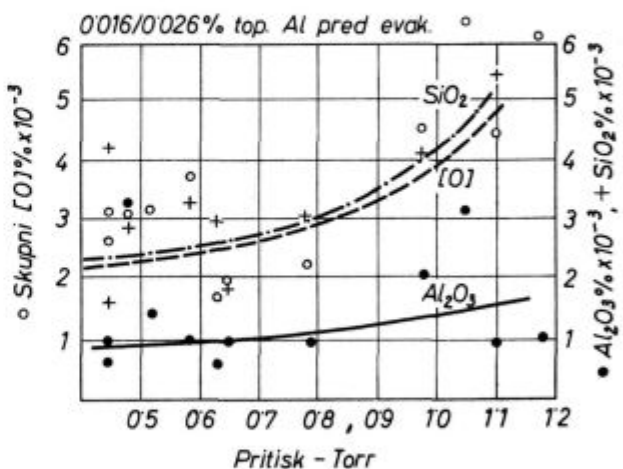
Odnosi med časom in količino SiO_2 , ki ga jeklena talina izluži iz opeke ponve

mu evakuiranja ($K = 7,8 \times 10^{-5}$), potem vpliva čas evakuiranja na količinske odnose SiO_2 , ki pride iz obloge v talino med izpustom in med degazacijo, kot prikazujemo v sliki 11.

— Uspešnost evakuiranja v pogledu znižanja skupnega kisika je torej neposredno odvisna od količine topnega Al, čeprav je teoretično možno izdelati v vakuumu popolnoma dezoksidirano talino brez dodatka Al — seveda pri praktično inertnem vplivu obloge ponve na talino.

— Na sliki 12 prikazujemo vpliv podtlaka v Torrih na obnašanje skupnega kisika, Al_2O_3 in SiO_2 v vključkih. S pritiskom se znatno povečujeta skupni kisik in SiO_2 ter delno Al_2O_3 . Obseg redukcije skupnega kisika je torej funkcija podtlaka.

— Čas evakuiranja ne predstavlja bistvenega tehnološkega parametra v pogledu zmanjšanja kisika, t. j. čiščenja taline.



Slika 12

Vpliv pritiska evakuiranja na odnose med glavnimi oksidi v vključkih

4. DEGAZACIJA POIZKUSNIH TALIN

4.1. Vodik

Stopnja degazacije je odvisna od specifičnosti industrijskega načina evakuiranja. Pri uporabi degazacije curka taline bo v odlitem ingotu okrog 1,8 do 2 Ncm³ H/100 gr, s cirkulacijsko degazacijo (RH—postopek) je možno pri 0,5 Torrov doseči do 2,5 Ncm³ H/100 gr.

S stacionarno degazacijo taline v ponvi v vakuumski komori (Ravne) je možno znižati vodik do 2 Ncm³/100 gr, vendar je ta uspeh odvisen od časa in podtlaka ter v občutni meri od inertne plina, ki ga po določenem času (5 do 6 min.) dodajamo skozi talino. Brez tega plina bi kljub istemu končnemu podtlaku dosegli višjo količino vodika, saj se izvaja degazacija v glavnem le v višjih plasteh taline.

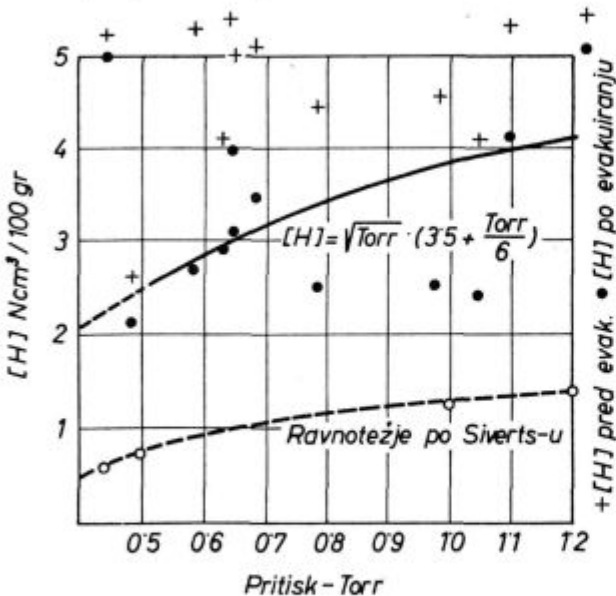
Iz slike 13 vidimo, da je bilo možno doseči pri poskusnih talinah okrog 2,6 do 3,2 Ncm³ H/100 gr pri 0,5 do 0,7 Torrov ter naknadnim prepihanjem taline s plinastim argonom, da pa je le znatno odstopanje od Sievertsovih odnosov.

Statistični odnos vpliva podtlaka na količino vodika sledi obrazcu $[H]/\% = \text{Torr} \times (3,5 + \text{Torr}/6)$.

Praktični zaključek bi bil, da bi naj izvajali degazacijo pri končnem podtlaku 0,5—0,6 Torrov, kar pa je stvarno otežkočeno zaradi dodatka argona.

Čas evakuiranja vpliva na absolutno znižanje vodika, količina vodika po evakuiranju je odvisna od vodika v talini pred evakuiranjem.

Zaključiti moremo, da znaša pri obstoječi obratovalni tehnologiji degazacije obseg zmanjšanja vodika okrog 45 %, če traja evakuiranje 15 minut pri podtlaku 0,7 Torrov.



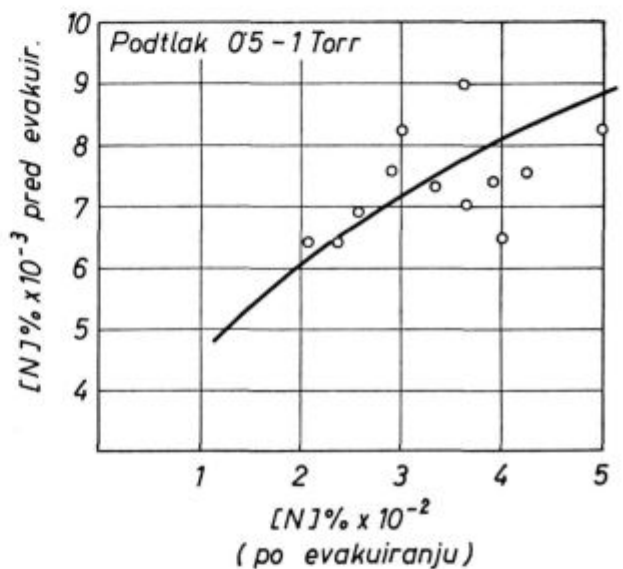
Slika 13

Odvisnost vodika v talini od pritiska pri katerem izvajamo degazacijo taline

4.2. Dušik

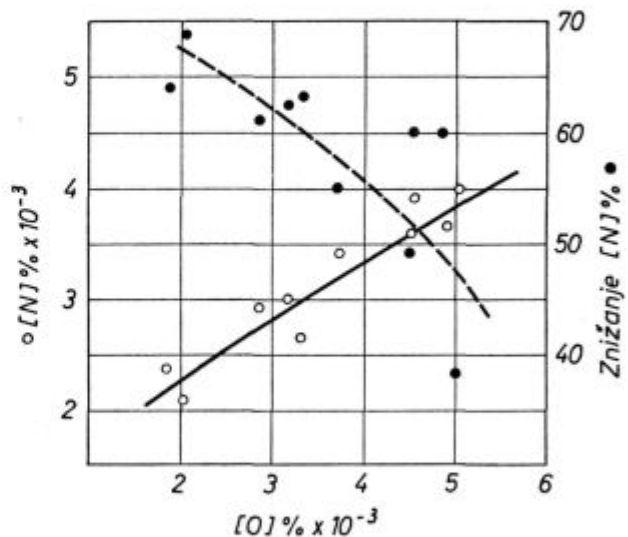
Medtem ko se postopek zmanjševanja vodika v talini izvaja v glavnem po Sievertsovem zakonu, je pri odstranjevanju dušika mnogo faktorjev, ki znatno spreminjajo odnose. Z lahkoto dosežemo odstranjevanje vodika v vakuumu do vrednosti nižjih od 0,001 %, medtem ko je dušikov atom velik, delež difuzije znatno manjši in odstranjevanje omejeno. Ugotavljamo, da je sicer možno zmanjšati dušik na približno 0,002 do 0,003 %, vendar je intenzivnost izločanja tega plina odvisna od stopnje učinkovitosti dezoksidacije s C in Si, torej od količine kisika v talini. Čim nižji je končni kisik, tem nižji je dušik. V povprečju ugotavljamo 65 do 80 % izločanje dušika.

Pri poskusnih talinah (tabela 3) smo ugotovili pred evakuiranjem v talini okrog 0,007 % dušika,



Slika 14

Odnosi med dušikom pred in po evakuiranju pri določenem podtlaku



Slika 15

Vpliv količin kisika v talini na odstranjevanje dušika.

po evakuiranju pa med 0,0021 do 0,005 %. Absolutno znižanje vodika je 39 do 69 %, v poprečju okrog 58 % (sl. 14). Vpliv količine kisika v talini po odlitju druge livne plošče na končno količino dušika oz. na absolutno zmanjšanje tega plina je razviden na sl. 15.

Stopnja dezoksidacije oz. uspeh evakuiranja v pogledu zmanjšanja oksidnih spojin v vključkih direktno vpliva na intenzivnost izločanja dušika med degazacijo.

5. TEMPERATURNE PRILIKE

Izpustne temperature talin z 0,5 % C so med 1670 in 1680° C, kar je za pribl. 80 do 90° C višje od standardnih livnih pogojev (pri litju velikih ingotov). Napram argonski obdelavi taline, kjer je zahtevana temperatura curka taline na izpustu okrog 1620° C, je torej potrebna okrog 50—60° C višja temperatura.

Pri mehkejši kvaliteti (0,15 do 0,25 % C) je potrebna izpustna temperatura taline okrog 1680 do 1690° C. Livna temperatura je enaka oni pri standardnem litju v kokile, t. j. okrog 1445 do 1460° C + K pri 0,5 % C in 1465 do 1480° C + K pri 0,2 % C.

Ti odnosi nujno zahtevajo pravičen in elastičen temperaturni cikel vodenja šarže že pred izpustom. Zato je potrebno postaviti v tehnološki regulativni temperaturni intervale, kot morajo slediti po oksidaciji, ob koncu izkuhanja, ob koncu rafinacije.

IZVLEČEK

V 25 t obločni elektro peči v jeklarni Ravne smo izdelali serijo poizkusnih talin s poprečno 0,5 % C (Utop ex. 1, 2) in 0,15 do 0,26 % C (St 523, TV 4, VCN Mo 200) po standardni tehnologiji. Evakuiranje v vakuumski komori — stacionarni način — je bilo izvedeno pri poprečno 0,71 Torrov v skupnem času 13 do 18 minut. Po 6 minutah je bil dodan plinasti argon. Jeklarske livne ponve so bile grajene s šamotno opeko. Temperatura talin pri izpustu je bila poprečno 1670 do 1680° C pri 0,5 % C in 1680 do 1690° C pri 0,2 % C. Temperatura litja v 10 in 14 t kovaške ingote je bila enaka oni pri standardni livni tehnologiji. Ugotovili smo naslednje prednosti evakuiranja:

— Čiščenje taline t. j. zmanjšanje Al_2O_3 in SiO_2 je lahko zelo učinkovito, če je količina topnega Al vsaj 0,018 % v talini pred evakuiranjem. V tem slučaju je količina SiO_2 v vključkih do 0,003 %, količina Al_2O_3 pa je, precej neodvisno od vsebnosti Al, v minimalnih vrednostih 0,0006 do 0,001 %.

— Produkt $[C/X_2/O]$ po evakuiranju je med 0,0002 do 0,0005. To pomeni, da je v talini 0,0004 do 0,001 % nevezanega kisika na osnovi učinkovite plinske dezoksidacije, kar je možno doseči brez dodatka Al.

Količina kislinotopnega Al se je v času evakuiranja zmanjšala za poprečno 78 %. V izdelanem jeklu je okrog 0,004 % Al, v talini pred evakuiranjem pa 0,018 %. Razlika v aluminiju se je porabila za redukcijo SiO_2 .

Iz mehanizma dezoksidacije zaključujemo, da je glavni izvor SiO_2 spojin nastal med evakuiranjem z erozijo šamotne obloge ponve. Ugotovili smo, da znaša delež SiO_2 iz opeke v 15 min. evakuiranja poprečno 0,053 %. Pri verjetnem izločanju okrog 50 % ostane v talini 0,026 % SiO_2 , kate-rega naj bi znižala do 0,002 oz. 0,003 % zadostna količina kislinotopnega aluminija. Pri inertni oblogi ponve bi potrebni dodatek Al za redukcijo SiO_2 v glavnem odpadel.

— Z ozirom na specifično vlogo reakcij med šamotno oblogo ponve in talino, kar je med evakuiranjem pri industrijskih podtlakih 0,5 do 10 Torrov sicer specifično manj obsežno kot v času mešanja taline ob izpustu iz peči ponve, predstavlja pa vsled znatno daljšega časa — 15 minut evakuiranja napram 2,7 minut izpusta — absolutno znatno večjo količino (do 3 ×) erodirane opeke oz. SiO_2 iz obloge v talino, je nujno potrebno rešiti vprašanje boljše vzdržnosti proti ognju odporne obloge ponve.

Z uporabo korundne opeke na splošno je težko zadostiti že itak zahtevnim temperaturnim pogojem. Obstaja pa možnost izgradnje posameznih zelo obremenjenih delov ponve in zamašnega droga s korundno opeko. Pri nerešenem problemu opeke ponve moremo z evakuiranjem doseči slabšo čistost jekla kot pri uspešni obdelavi taline s plinastim argonom.

— Nerešen kvalitetni problem opeke ne dovoljuje, da izkoristimo možnosti uspešne plinske dezoksidacije t. j. da moremo samo z ogljikom znižati količino nevezanega kisika do vrednosti manjših od 0,001 % brez dodatka Al.

Pri naših poizkusnih talinah je bil dodatek Al potreben samo za redukcijo SiO_2 spojin, ki pridejo iz obloge ponve v talino.

— Pri poizkusnih talinah smo v času evakuiranja dosegli poprečno 45 % znižanja vodika; končne količine vodika v jeklu so bile med 2,6 in 3,2 Ncm³/100 gr. Ti rezultati niso zadovoljivi, saj prikazuje literatura možnosti znižanja vodika celo do 60 %.

Pri naknadnih talinah, ki jih v tem elaboratu nismo obdelali, so poprečne količine vodika že okrog 0,00027 %. Določene spremembe, ki so vplivale na uspešnejšo degazacijo so v boljši praksi industrijskega evakuiranja, pravilnejši žlindri, možnosti zadržanja večine žlindre v peči, poprečno nižjih podtlakih in konstantnem času 15 do 16 minut evakuiranja.

— Znižanje dušika med degazacijo je bilo poprečno 58 %. V izdelanih šaržah smo ugotovili 0,0021 do 0,005 % dušika.

ZUSAMMENFASSUNG

Im 25 t Elektroofen hergestellte nichtlegierte Schmelzen haben wir in einer Vakuumkammer bei dem Druck von 0.71 Torr und in der Zeit von 13 bis 18 Minuten entgasst. Die Pfannen waren mit der Schamotte ausgemauert. Wir haben folgendes festgestellt:

Die Kinetik der Bildung und Ausscheidung von Al_2O_3 und SiO_2 ist anders als bei der Argonspüllung von Stahl. Bei der Entgassung der Schmelzen werden sehr kleine Mengen von Al_2O_3 und verhältnismässig grösseren Mengen von SiO_2 im Stahl als beim Argonspülen erreicht. Bei der Entgassung kommt zu einer grösseren Errosion der Pfannenausmauerung. Es wäre nötig die Schamotte mit einer hochtonerdehaltigen oder Dolomitausmauerung zu ersetzen.

Wegen der Schamotteausmauerung der Pfanne mussten wir eine grössere Menge von Aluminium dem Stahl zugeben. Bei der Anwendung einer besseren Pfannenausmauerung könnten wir eine gute Qualität mit einer kleineren Aluminiumzugabe ausfertigen.

Die durchschnittliche Wasserstoffabnahme betrug 45 %. Die Endwasserstoffgehalte betrugen von 2.6 bis 3.2 Ncm³ per 100 gr. Wir vermuten, dass die Entgassung noch nicht zufriedenstellend ist, denn bei einem richtigen Verfahren sollte die Wasserstoffabnahme bis zu 60 % betragen.

Die Stickstoffabnahme betrug im Mittel 58 %.

SUMMARY

Medium carbon plain steels were made in a 25 t electric arc furnace and evacuated in a vacuum chamber for 13 to 18 minutes at the pressure 0.71 torr. Steel casting ladles were lined with fire-clay bricks. The following findings were established:

— kinetics of formation and precipitation of Al_2O_3 and SiO_2 are different from those when melts are processed in argon. While in evacuated batches amounts of Al_2O_3 were minimal, amounts of SiO_2 were relatively higher in the samples of trial batches than in the argon batches. When evacuated erosion of the ladle lining is more severe.

It is therefore necessary to replace the fire-clay bricks with high alumina or with dolomite bricks.

— due to fire-clay ladle lining greater amounts of Al had to be added. Using suitable bricks good steel qualities can be obtained by evacuating only with minimal Al amounts.

— hydrogen content was reduced averagely for 45 %, and final hydrogen content in steel ranged from 2.6 to 3.2 Ncm³/100 g. Our opinion is that the vacuum practice is still not quite satisfactory as hydrogen content must be reduced for 60 % in a correct degassing.

— nitrogen content was reduced for 58 % in average.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 25-т-ой дуговой электрической сталеплавильной печи выплавлены нелегированные с средним содержанием углерода сорта стали. При давлении от 0.71 Торр, в течении 13—18 мин. жидкую сталь эвакуировали в вакуумной камеры. Футеровка сталеразливочных ковшей была выделана из шамота. При этом опыте обнаружено следующее: 1. кинетика зарождения и выделения Al_2O_3 и SiO_2 отстает от кинетики обработки расплавленного металла с аргонном. 2. обнаружено более высокое количество SiO_2 в сравнении с аргонскими шихтами; из чего можно заключить,

что при эвакуированию происходит более сильная эрозия футеровки. Шамотную футеровку надо заменить с доломитовым кирпичем или с кирпичем высокого содержания Al_2O_3 . 3. вследствие шамотной футеровки добавка алюминия была выше. 4. количество водорода уменьшилось прибл. на 45 %, так что содержание его в стали было между 2.6—3.2 см³/100 гр. Из полученных результатов опытов можно заключить, что практика эвакуирования ещё не совсем удовлетворительная так как при успешной дегазации можно ожидать уменьшения содержания водорода до 60 %. 5. содержание азота уменьшилось в среднем до 58 %.

Sodelavcem - železarjem iz Raven

čestitke ob visokem jubileju

Začetek fužinarstva na Koroškem nas pripelje še v dobo pred prihodom Rimljanov na območje današnje Koroške, kjer so že Kelti izdelovali slovito noriško jeklo. Ko so Rimljani nekaj let pred našo ero zasedli keltski NORIK, so nadaljevali z jeklarstvom. V viharnem obdobju preselejanja narodov s prihodom Slovanov pa je fužinarstvo prenehalo za dolga stoletja.

Znova so začeli taliti jeklo leta 1620 v Črni in to letnico so železarji iz Mežiške doline sprejeli za rojstno letnico fužinarstva na Koroškem. Zrastle so fužine v Prevaljah, Črni, Mežici in na Ravnah. Druga za drugo so zaradi pomanjkanja premoga in železove rude skozi stoletja fužine propadle, dokler se ni jeklarstvo skoncentriralo samo na Ravnah, kjer se je že po prvi svetovni vojni začela svitati doba moderne, sodobne jeklarske industrije. Vendar pa je šele zmaga v narodnoosvobodilni borbi prinesla resnično renesanso jeklarske industrije na Koroškem. Le-to predstavlja danes železarna Ravne s svojo proizvodnjo plemenitih jekel, ki skupaj z železarno Štore in našo železarno zadnje leto ubira isto pot še svetlejšim obzorjem železarstva na Slovenskem nasproti.

Železarna Ravne kot potomec nekaj tako razvitega fužinarstva v Mežiški dolini, je po drugi svetovni zabeležila nesluten razmah, saj je še leta 1946 znašala proizvodnja jekla 34.000 ton, medtem, ko bo letos znašala njihova proizvodnja jekla že blizu 170.000 ton. Petindvajsetletni razvoj po osvoboditvi je Ravnam prinesel večji napredek,

kakor preje tri stoletja. Danes v železarni dela 3600 ljudi, medtem ko jeblo leta 1945 zaposlenih le 622 delavcev. Ravenski železarji so znani po svoji kvaliteti tako doma kakor v tujini, saj izvažajo svoje izdelke tja do daljne Kitajske.

S tovarno pa so rasle tudi Ravne s sodobno urejenim naseljem na Sečovju. V obdobju od leta 1945 dalje je zrastle 375 individualnih stanovanj in prek 1100 stanovanj v družbenem sektorju. Železarna pa je sodelovala tudi pri gradnji gimnazije, zdravstvenega doma, bolnišnice, športno rekreacijskega centra in pri reševanju drugih komunalnih potreb. Zgradili so tudi novo metalurško industrijsko šolo z interantom, adaptirali stari grad in v njem uredili imenitno strokovno knjižnico itd., itd.

Tri in polstoletja, se je ob taljenju jekla kalil tudi današnji rod ravnenskih železarjev, ki so lahko le prekaljeni v borbi za svoj obstoj dosegli tako lepe rezultate v povojnem obdobju. Vseskozi pa je bila prisotna tudi skrb za kadre, saj imajo npr. samo danes 357 študentov na vseh šolah, čez 160 izrednih dijakov in študentov, za delavce prirejajo razne tečaje in seminarje, v svoji poklicni šoli pa so po osvoboditvi usposobili 1624 mladih železarjev.

OB NJIHOVEM JUBILEJU JIM KREPKO STISKAMO ROKO IN ZELIMO, DA BI ZDRUŽENI DOSEGALI SE VECJE USPEHE.

Železarna Ravne ob svoji 350-letnici



Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljčnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika

1. del

Prvi del članka opisuje praktično reševanje perečega problema trganja površine valjanca med vročim valjanjem. Navedene so najbolj občutljive vrste jekla, glede na trganje, vplivi kemične sestave in aluminijevega nitrida ter nitridotvornih elementov, Ti, V in Nb. Narejena je analiza slabih šarž. Opisani so poskusi ogrevanja pri visoki temperaturi in z mrzlim zakladanjem. Jekla z visokim Al in N, ki so občutljiva na trganje, se ne trgajo, če jih mrzle založimo. Trgajo se tudi ne jekla, ki so izdelana po enožilrnem postopku, kljub visokemu aluminiju, ker normalno vsebujejo manj dušika kot jekla, izdelana z dvema žilndrama.

(»Članek je razširjeno predavanje avtorjev na simpoziju septembra 1970 v Velenju.)

1. SPLOŠNO

Trganje površine valjanca med vročo predelavo je eden najbolj neprijetnih pojavov, ki spremljajo vroče valjanje. Trganje se začne na površini, ki je obremenjena na nateg in sega lahko globoko v notranjost.

Vzroki za trganje še do danes niso popolnoma razjasnjeni. Vsekakor pa značaj teh raztrganin nima nič skupnega z lomom v rdečem, z zažgano površino, s slabo površino bloka ali pečno atmosfero.

Posebno močno so nagnjena k trganju mehka nelegirana jekla z ogljikom od 0,10 do 0,25 %, ki so pomirjena z aluminijem. Posebno občutljiva so jekla z višjo vsebnostjo aluminija, to so proti staranju odporna in fino-zrnata konstrukcijska jekla. Aluminij se tem jeklom dodaja v večji meri kot je za dezoksidacijo potrebno, zato da veže dušik v jeklu in tako zmanjša nagnjenje k staranju. Izločeni aluminijevi nitridi pa povzročijo, da ima jeklo fino-zrnato strukturo, s čimer se izboljšajo mehanske lastnosti.

Z naraščajočim ogljikom občutljivost za trganje pada. Poleg tega je trganje odvisno tudi od načina izdelave jekla. Jekla, izdelana v elektro pečih, se mnogo bolj trgajo kakor SM jekla.

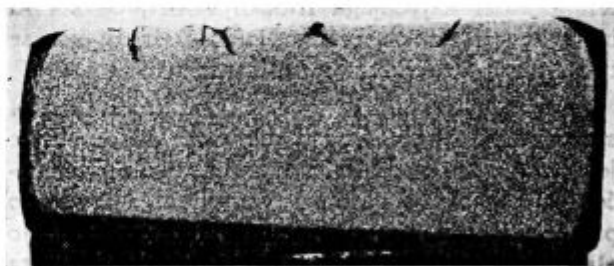
Med najbolj občutljive vrste jekla spadajo pri nas fino-zrnata konstrukcijska jekla kvalitete

Č 0560, Č 0561 in Č 0562, proti staranju odporna jekla Č 1203, Č 1205 in jekla za ladijsko pločevino LR-C, LR-D in LR-E, če so izdelana v električni peči.

Izgled raztrgane površine kaže slika 1, slika 2 pa kaže raztrganine v prerezu.



Slika 1
Videz raztrgane površine valjanca



Slika 2
Prečni prerez skozi raztrgano mesto na valjancu

2. VPLIV KEMIČNE SESTAVE JEKLA

Praktične izkušnje v valjarni kažejo, da nagnjenje k trganju v vročem narašča z naraščanjem aluminija v jeklu. Podobno vpliva dušik. Čim več ga je v jeklu, večja je nevarnost za trganje.

Ogljik vpliva pozitivno. Čim več ga je, manj se jeklo trga v vročem. Drugi spremljajoči elementi, posebno pa vsebnost žvepla in razmerje Mn:S ne vplivajo na trganje v vročem. 1).

Aluminij lahko vpliva na trganje v vročem na dva načina:

1. Vpliva na obliko, sestavo in razporeditev sulfidnih vključkov, tako da se ti lahko porazdelijo po mejah primarnih zrn v obliki verige. Aluminij prav tako znižuje tališče in površinsko napetost sulfidnih vključkov.

2. Aluminij tvori z dušikom aluminijev nitrid. Tega je tem več, čim več je dušika in aluminija v jeklu. V električni peči izdelano jeklo ima lahko 2 ali 3 krat več dušika kot SM jeklo. Zato so k trganju površine nagnjena predvsem v električnih pečeh izdelana jekla ali z dušikom legirana jekla.

3. VPLIV ALUMINIJEVEGA NITRIDA

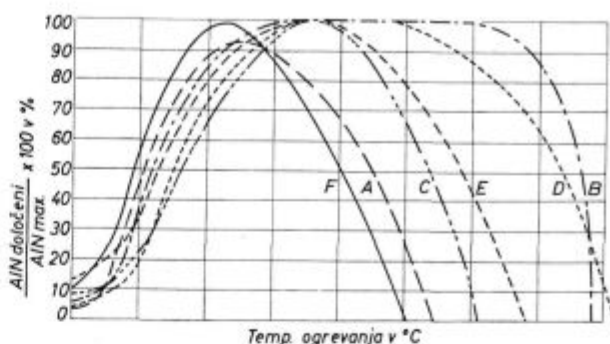
V pričujočem delu bomo obravnavali le vpliv aluminija, vezanega kot aluminijev nitrid.

V dosedanji praksi smo namreč lahko potrdili le en sam primer, da se je jeklo trgalo zaradi neugodne razporeditve sulfidnih vključkov tipa II po mejah primarnih zrn.

V litem stanju je količina dušika, ki je vezan na aluminij, zelo majhna. Dušik je v jeklu v glavnem raztopljen. Med segrevanjem se od 700 do 1100°C hitro tvori AlN, če je na razpolago dovolj aluminija za vezanje. V naslednjih dveh slikah in tabeli navajamo podatke W. Dahla in Hengstenberga²⁾ o vplivu aluminija in dušika na temperaturo raztapljanja AlN in na trganje v vročem. Iz slike 3 je razvidno, da je temperatura raztapljanja AlN tem višja, čim višja je količina aluminija in dušika v jeklu.

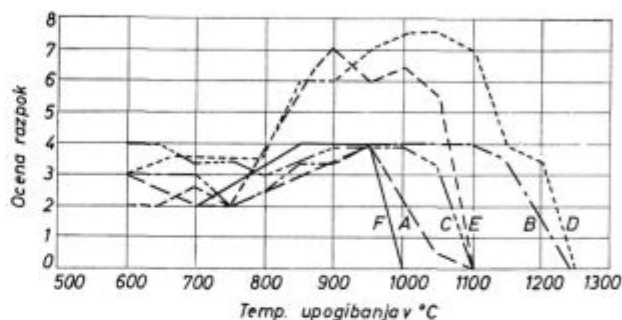
Slika 4 pa kaže, da se jeklo najbolj trga pri temperaturi največjega izločanja AlN, če sta Al in N dovolj visoka. Primer jeklo D in E, kar se tudi popolnoma sklada z našimi izkušnjami.

Na osnovi oblike krivulj v grafikonih 3 in 4 sta prišla Dahl in Hengstenberg do sklepa, da se jeklo ne trga, če so nitridi v jeklu popolnoma izločeni ali če so popolnoma raztopljeni. Nasprotno pa, če se nitridi med vročim valjanjem izločajo ali raztapljajo, se jeklo trga na površini. Na ta sklep se bomo povrnili, ko bomo analizirali mehanizem trganja v drugem delu članka.



Slika 3

Vpliv aluminija in dušika na temperaturo raztapljanja AlN



Slika 4

Vpliv aluminija in dušika na trganje v vročem

Tabela 1 — Sestava jekel iz slike 3 in 4

Jeklo	Al topni %	N skupni ppm	Temp. topnosti aluminijevega nitrida	
			izračunana °C	določena s poskusi °C
A	0,023	52	990	1030
B	0,127	58	1185	1280
C	0,017	154	1065	1100
D	0,053	143	1190	1300
E	0,038	80	1080	1150
F	0,009	110	970	1000

4. VPLIV TITANA, VANADIJA IN NIOBA

Aluminij je iz mnogih ozirov kot dezoksidant in kot element, ki daje jeklu določene tehnološke lastnosti, cenen in uporaben element. Zato so metalurgi iskali možnosti, kako jeklu z višjo vsebnostjo aluminija zagotoviti dobro preoblikovalnost v vročem. Najboljša rešitev je ta, da se dušik v jeklih z višjo vsebnostjo aluminija z močnimi nitridotvornimi elementi veže v obliko, ki ne vpliva na predelavnost jekla v vročem.

Znano je, da titan tvori zelo stabilne nitride, ki se raztopijo šele blizu tališča jekla. Tako znaša temperatura raztapljanja za titannitrid po Gureviču 3) pri 0,010 % N in 0,001 % Ti približno 1357°C, pri 0,01 % Ti približno 1497°C in 0,1 % Ti

1660° C. To pomeni, da se že pri najmanjših dodatkih titana tvorijo titanovi nitridi, ki se pri toplotni predelavi ali obdelavi več ne raztopijo. Zaradi visoke tvorbenne energije titanovega nitrida je jasno, da se, če je dodatek Ti zadosten, ves dušik veže na titan. Za vezanje dušika je torej treba 4 krat toliko titana. Če predpostavimo, da je v našem elektro jeklu 0,0100 % N, potem zadoštuje za vezanje N 0,04 % titana. Pri dodatku titana so nitridi med ogrevanjem in valjanjem ves čas izločeni in ne vplivajo na poslabšanje predelovalnosti v vročem. To nam dokazuje tudi naše jeklo Č 0562 Q z dodatkom titana, ki se praktično nikoli ne trga.

Le nekaj manjšo afiniteto do dušika ima vanadij. Iz ravnotežne konstante za vanadijev nitrid izračunane temperature raztapljanja pri 0,010 % N so pri 0,01 % V približno 850° C, pri 0,1 % V približno 1070° in pri 1 % V približno 1380° C. Kakor se vidi iz navedenih podatkov, so temperature raztapljanja vanadijevega nitrida mnogo nižje od aluminijevega nitrida. Pri temperaturah vročega valjanja so vanadijevi nitridi raztopljeni v gama fazi in tako *izboljšujejo* plastičnost jekla pri valjanju nad 1000° C.

Niob je znan dodatek za izboljšanje plastičnosti v vročem. Niobov nitrid se tvori že v staljenem jeklu, ker ima pri tej temperaturi večjo tvorbeno energijo kot aluminijev nitrid. Zato ostane manj dušika za vezanje aluminija. Pri temperaturi vroče predelave so niobovi nitridi izločeni in se tako jeklo, ki je mikrolegirano z Nb, ne trga pri vročem valjanju. Najboljši dokaz za to je naše jeklo St 52 Cb, ki ima po podatkih statistične analize

70 % vseh vrednosti nad 80 ppm N₂ in 80 % vseh vrednosti nad 0,030 % topnega aluminija in Nb v mejah od 0,04 do 0,02 %, pa se pri valjanju nikoli ne trga.

5. PREISKAVA SLABIH ŠARŽ KVALITETE Č 0562, IZDELANIH NA ELEKTRIČNI PEČI

S problemom trganja površine nizkoogljicnih konstrukcijskih jekel pri vročem valjanju smo se prvič srečali, ko sta začeli obratovati obe veliki električni peči in ko smo ob enem začeli tudi vlivati velike bloke. Od takrat pa do danes se je pogosto dogajalo, kakor sta pač slučajno sovpadala visok aluminij in dušik, da smo imeli večji ali manjši izmeček zaradi raztrgane površine. Preobremenjena pa je bila tudi naša čistilnica, kjer te napake, če niso pregloboko, odstranjujemo s flemanjem.

V tabeli 2 navajamo nekaj šarž s podatki o sestavi jekla, o analizi valjanja (slaba) na N cel, AlN in topni Al in o ogrevanju ingotov in bram v globinskih pečeh.

Vse šarže so bile po valjanju na blumingu močno raztrgane, da so šle v izmeček.

Iz analize lahko ugotovimo, da sta aluminij in dušik razmeroma visoka in da je 80 ppm dušika po naših izkušnjah spodnja meja, pri kateri se jeklo še trga. Aluminijev nitrid, analiziran v slabih, je zelo visok, saj je 80 do 100 % skupnega dušika vezanega na Al.

Ogrevanje bram je bilo normalno in razmeroma kratko, vendar za tako sestavo jekla prav gotovo ne pravilno.

Tabela 2

Št. šarže	Kval.	Kemična sestava								Analiza valjanca				Čas v h		Temp. °C		Čas v h	
		C	Si	Mn	P	S	Sn	Cu	Al	N	AlN	NAI	Al _i	TT	hom.	prič.	ogr.	izen.	ogr.
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
EL 1855	Č 0562	15	42	118	11	8	31	26	52	86	225	77	48	4 ³⁰	0 ⁵⁰	1050	1250	3 ⁴⁰	4 ⁵⁰
EL 1856	Č 0562	15	35	110	15	20	46	24	47	116	279	85	40	4 ⁴⁵	1	1070	1300	2 ³⁰	4 ³⁰
EL 1849	Č 0560	22	35	130	22	17	35	27	55	107	306	104	44	5 ⁴⁵	1	880	1300	2 ⁵⁰	6
	Ve																		
EA 4967	Č 0560	21	29	120	13	9	27	24	36	100	259	88	32	5 ³⁵	0 ⁴⁵	920	1300	2 ³⁰	4 ⁵⁰
	Ve																		
EA 4972	Č 0562	16	39	125	20	16	35	26	46	96	215	73	37	4 ³⁰	0 ⁴⁵	1070	1300	3 ⁴⁰	5 ³⁰
EA 4976	Č 1206	16	19	68	11	9	40	27	43	77	123	42	34	5 ³⁰	—	900	1300	2 ⁰⁵	3 ⁵⁵
EA 4978	Č 0562	16	38	129	15	14	33	29	40	107	200	79	36	5 ³⁵	1	960	1300	2 ⁴⁵	4 ⁴⁰
EA 5208	Č 0562	17	39	127	13	10	27	21	36	112	190	65	23	5 ³⁰	—	850	1300	0 ³⁵	4 ¹⁵
EL 2110	Č 0562	15	35	109	11	23	—	28	46	105	88	31	36	5 ²⁵	—	950	1300	3 ²⁰	6 ²⁵

Vrednosti za C, Si, Mn in Cu so v % X 10⁻²

Vrednosti za P, S, Sn in Al so v % X 10⁻³

9 skupni dušik

10 aluminijev nitrid

11 dušik vezan na aluminij

12 topni aluminij

13 TT — čas od preboda do zkladanja v peč

14 čas homogenizacije na začetni temperaturi

15 temp. na začetku ogrevanja

16 temp. ogrevanja

17 čas izenačevanja na temp. ogrevanja

18 skupni čas blokov v peči

6. VPLIV NAČINA OGREVANJA NA TRGANJE POVRŠINE PRI VROČEM VALJANJU

6.1. Vroče zakladanje

Vroče zakladanje bram in ingotov v globinske peči je pri nas normalno. Temperatura blokov, ko gredo v peč, se giblje okrog 800° C, včasih več, včasih manj, odvisno od tega, koliko časa preteče od preboda do zakladanja (TT + track time v tabeli 2). Ta čas pa pri nas niha od 4 do 6 ur.

Glede na spoznanje iz četrtega poglavja, da je začetna temperatura valjanja za jekla z visokim aluminijem pri nas prenizka, smo eno šaržo z višjo vsebnostjo aluminija namerno ogrevali pri temperaturi komore 1350° C.

Poskusna šarža EL 2057:

Sestava: C 0,14 %, Si 0,33 %, Mn 1,13 %, P 0,017 %, S 0,019 %, Cu 0,32 %, Sn 0,020 %, Al_{top} 0,032 %, N 91 ppm.

Vroče smo založili 4 brame. Brame smo valjali po 2, 4, 6 in 6,5 urnem izenačevanju na temperaturi. V peči pa so bile 3²⁰, 5²⁰, 7²⁰ in 7⁵⁰ ure. Vse brame so bile lepo ogrete. Dve minuti traja, da pride brama iz peči do valjanja. Medtem temperatura na površini hitro pada. Brama se še dalje hladi pod valji. Po četrtem vtiku je bilo že opaziti trganje, približno pol metra od noge navzgor. Od sredine navzgor proti glavi so se trgali le robovi. Njmočneje je bila raztrgana prva brama, ki je bila valjana po 2 urah izenačevanja. Najmanj napak sta imeli brami po 6 in 6,5 urnem izenačevanju.

Analiza slabov posameznih bram:

Vzorci za analizo skupnega dušika, aluminijevega nitrida in topnega aluminija smo vzeli pri glavi, to je na tistem delu, kjer je bilo najmanj napak in ki se je po valjanju najhitreje hladil. Analizo kaže tabela 3.

Primerjava s tabelo 2 kaže, da se je količina AlN, oziroma vezanega dušika bistveno zmanjšala, ko smo dvignili temperaturo ogrevanja. Vendar je

Tabela 3 — Sarža EL 2057, vroče založene v peč, temp. ogrev. 1350° C, raztrgane

Štev. brame	Al topni %	AlN ppm	N cel. ppm	NAI ppm	% vezan. dušika	dobitek %
1	0,032	117	93	40	43	27,6
2	0,028	149	91	51	56	41,0
3	0,028	108	91	37	40	55,0
4	0,036	96	84	33	39	55,7
<i>mrzle založene, temp. ogrev. 1300° C, dobre</i>						
5	0,031	155	102	55	54	84,0
6	0,034	123	98	42	43	84,0
7	0,024	149	93	51	55	85,0

bila temperatura ogrevanja, kakor kažejo globoke raztrganine v spodnjem delu brame in slab dobiček, še vedno prenizka. Tudi Wiester¹⁰ navaja, da so dosegli popolno raztopitev AlN šele pri začetni temperaturi valjanja 1360° C. Tako visoke temperature ogrevanja pa praktično ne pridejo v poštev, zato smo iskali ugodnejše rešitve.

6.2. Mrzlo zakladanje

Znano nam je bilo, da nekateri veliki tuji proizvajalci pločevine zakladajo brame v mrzlem stanju, vendar pretežno s flemano površino in da trganja površine praktično ne poznajo.

Tudi mi smo že zakladali brame z visokim aluminijem in dušikom, mrzle in flemane. Zato smo menili, da je morda vzrok prav v tem, da je površina flemana.

Poskus smo ponovili na preostalih treh bramah šarže EL 2057 (bilo jih je 7), od katerih smo 4 že založili vroče in so se močno trgale. Dve od zadnjih treh bram smo flemali in od njih vzeli tudi vzorce za preiskavo lite strukture. Tretjo bramo smo pustili neflemeno.

Brame smo ogrevali po običajnem režimu za mrzlo zakladanje pri maksimalni temperaturi komore 1300° C in jih pustili 4 ure na tej temperaturi.

Vse tri brame tako flemane kakor neflemena, so se izvaljale z brezhibno površino.

Rezultati analize slabov za brame št. 5, 6 in 7 so v tabeli 3.

Poskus smo ponovili še na dveh šaržah EL 2097 in EL 2284, od katerih smo po dve brami založili vroči, ostale pa mrzle. Pri obeh šaržah sta bili vroč založeni raztrgani, mrzlo založene (neflemane) pa ne.

Iz tega lahko zaključimo, da ni flemanje tisti vzrok, da se jeklo med valjanjem ne trga, kakor smo preje domnevali, pač pa ohladitev na navadno temperaturo in ponovno ogrevanje.

7. VPLIV NAČINA IZDELAVE JEKLA NA VSEBNOST DUŠIKA IN NA TRGANJE POVRŠINE MED VROČIM VALJANJEM

Vse doslej obravnavane šarže so bile izdelane po postopku z dvema žlindrama, predvsem zaradi strogih zahtev po nizkem žveplu.

Znano pa je, da imajo jekla, izdelana z dvema žlindrama, splošno višji dušik kakor jekla, ki so izdelana le pod črno žlindro. Dušik namreč naraste po menjavi žlindre v času rafinacije jekla.

Kako izgleda porazdelitev dušika pri naših konstrukcijskih jeklih (C 0562 in St 52 Cb ter St 52 CbV), odvisno od načina izdelave, kaže slika 5.

V verjetnostnem diagramu je nanesena na ordinati kumulativna frekvenca vrednosti za dušik, na abscisi pa absolutni iznos dušika v ppm.

Po enem in drugem načinu dobimo podobno porazdelitev dušika, le da sta premici vzporedno premaknjeni. Srednja vrednost dušika znaša pri delu s črno žlindro 76,8 ppm, pri delu z dvema žlindrama po 90,9 ppm. Preko 90 % vrednosti je normalno porazdeljenih, okrog 10 % pa jih močnejše odstopa, kar kaže odklon premice v desno. Pri dveh žlindrah so ta odstopanja večja; ali točneje, raztros je večji, saj dosega posamezne vrednosti tudi preko 160 ppm dušika.

Ta velika odstopanja se pri nekaterih šaržah dajo razložiti z nenormalno dolgo rafinacijo, z mehko raztalitvijo in podobno. Večinoma pa se nenormalno velikih odstopanj ne da razložiti in je s tem treba računati.

7.1. Prednosti izdelave konstrukcijskega jekla s črno žlindro

Glavna prednost izdelave jekla s črno žlindro nasploh je v manjši vsebnosti plinov. Kakor kaže porazdelitev na sliki 5, je pri naših konstrukcijskih jeklih, če so izdelana s črno žlindro, 65 % vseh vrednosti pod 80 ppm dušika, pri delu z dvema žlindrama pa je le 23 % vrednosti pod 80 ppm dušika, vse ostale imajo višjo vsebnost dušika.

Z ozirom na spoznanje, da je nivo dušika pri delu z eno žlindro mnogo nižji kot pri delu z dvema žlindrama, smo začeli kvaliteto C 0561, nato pa tudi C 0562 namenoma izdelovati le s črno žlindro, če le žveplo ob raztalitvi zagotavlja, da v končni sestavi lahko dosežemo dovoljeno zgornjo mejo 0,045, oziroma 0,035 % S.

Ta ukrep se je močno odrazil na dobitku (izplenu) dobrega materiala, saj je le-ta močno pora-

stel in se giblje sedaj v mejah od 84 do 85 % (mesečno povprečje). Površinskih napak pa praktično ni več.

Jeklo, ki je izdelano pod črno žlindro, ni več občutljivo na trganje kljub visokemu aluminiju.

V tabeli 4 prikazujemo nekaj takih šarž, ki so slučajno padle z višjim aluminijem in so izdelane pod črno žlindro. Iz sestave se vidi, da je dušik na splošno nižji kakor v tabeli 2.

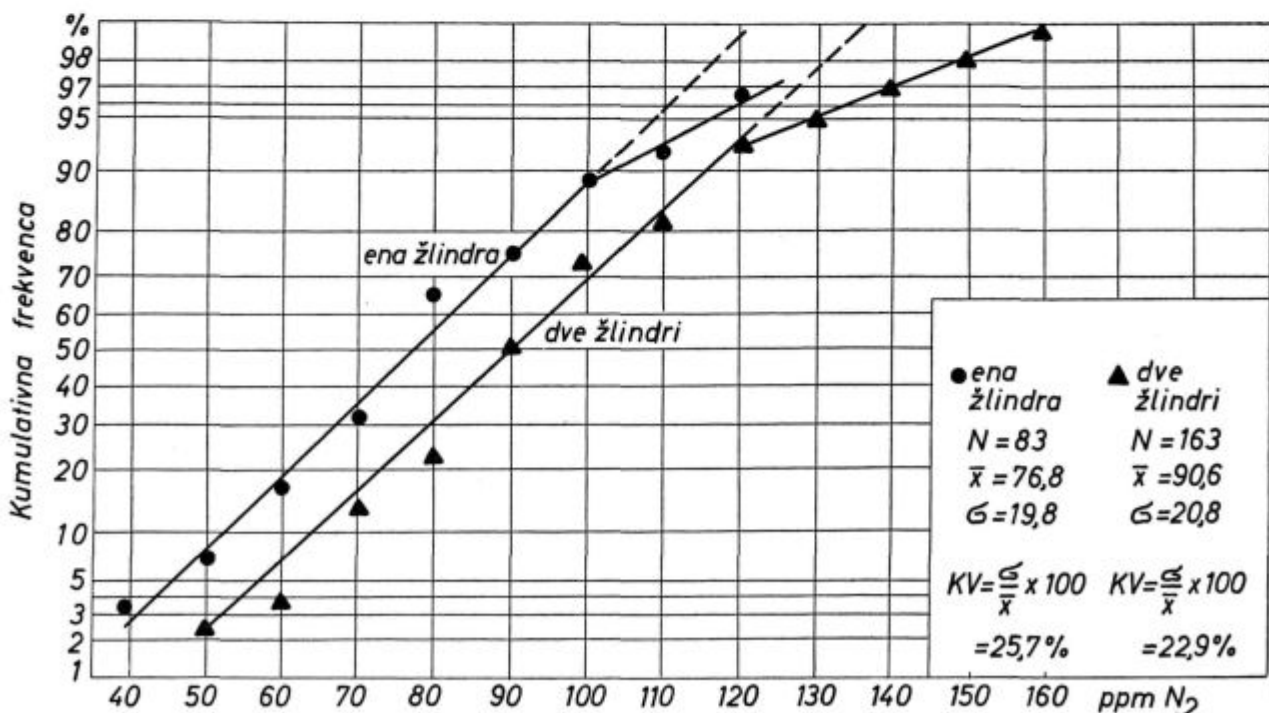
Med temi šaržami sta posebno zanimivi šarži EL 2156 in EL 2266, obe z visokim aluminijem in visokim dušikom; prva dolgo in druga hitro ogreta, kar kaže, da čas iznenačevanja in skupni čas ogrevanja pri tako izdelanih šaržah nima nobenega vpliva na obnašanje jekla med valjanjem, oziroma na nagnjenost k trganju površine. Prav tako lahko sklepamo iz teh dveh šarž, da jeklo, ki je bilo izdelano pod črno žlindro ni občutljivo na trganje površine pri vročem valjanju, kljub visoki vsebnosti aluminija in dušika in vročem zalaganju.

8. ZAKLJUČKI

Omenjeno delo predstavlja zaključno fazo nekajletnih prizadevanj za rešitev dokaj kočljivega problema trganja površine nizkoogljicnih konstrukcijskih jekel med vročim valjanjem.

Rešitev problema pa je v sledečem:

1. Nevarnost, da se bodo nizkoogljicna konstrukcijska jekla z visoko vsebnostjo dušika ali aluminija, če so izdelana po dvožlindrnem postopku, trgala med vročim valjanjem, odstranimo, če take šarže pustimo ohladiti in jih mrzle zalozimo v ogrevne peči.



Slika 5 Porazdelitev dušika pri eno in dvožlindrnem procesu

Tabela 4

St. šarže	Kval.	Končna sestava										temp. prič. °C	temp. ogr. °C	čas izen. h	čas ogr. h	
		C	Si	Mn	P	S	Sn	Cu	Al sk.	top.	N ppm					TT h
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
EL 2113	Č 0561	15	39	127	15	47	100	34	36	32	58	3 ⁵⁵	870	1300	3 ⁰⁰	5 ⁴⁰
EL 2130	Č 0561	18	40	134	21	28	32	31	61	37	88	5 ³⁵	1000	1300	2 ¹⁵	4 ¹⁵
EL 2148	Č 0561	16	38	113	17	23	29	24	44	33	75	5 ²⁵	920	1300	1 ¹⁰	6 ²⁰
EL 2153	Č 0562	15	33	120	21	18	46	28	33	20	75	9 ²⁵	820	1300	1 ⁵⁰	7 ¹⁰
EL 2155	Č 0562	15	43	122	18	35	25	23	48	33	70	5 ²⁰	1000	1280	3 ⁰⁰	5 ⁰⁰
EL 2156	Č 0562	13	46	118	26	37	41	25	67	41	103	4 ¹⁵	900	1280	5 ⁴⁰	9 ⁰⁰
EL 2196	Č 0561	17	31	116	42	33	81	37	39	26	64	6 ³⁵	700	1250	5 ²⁰	8 ⁰⁰
EL 2198	Č 0561	14	40	117	21	36	36	25	36	31	77	4 ³⁵	1150	1270	3 ⁵⁰	4 ⁵⁰
EL 5361	Č 0561	17	39	131	14	27	18	16	58	41	93	6 ²⁵	800	1300	3 ⁴⁰	7 ⁴⁵
EL 2221	Č 0561	15	36	97	6	19	28	22	33	25	100	4 ⁵⁰	1030	1290	0 ⁴⁰	5 ⁰⁰
EL 2235	Č 0561	16	37	122	40	29	42	26	34	33	80	6 ⁰⁵	860	1290	2 ¹⁰	4 ¹⁵
EL 2263	Č 0561	18	47	124	14	20	24	20	37	28	77		800	1290	3 ³⁰	11 ¹⁵
EL 2265	Č 0561	19	33	98	6	15	25	22	36	34	115	4 ²⁵	960	1300	3 ¹⁰	4 ³⁰
EL 2266	Č 0562	16	42	125	40	35	37	25	57	47	111	3	1110	1290	0	3 ⁵⁰

Vrednosti za C, Si, Mn in Cu so v % X 10⁻²Vrednosti za P, S, Sn in Al so v % X 10⁻³

8 skupni aluminij

9 topni aluminij

10 skupni dušik

11 TT — čas od preboda do zakladanja v peč

12 temperatura na začetku ogrevanja

13 temperatura ogrevanja

14 čas izenačevanja na temp. ogrevanja

15 skupni čas blokov v peči

Tiste vrste nizkoogljivega konstrukcijskega jekla, ki jih iz različnih razlogov izdelujemo po dvožlindrnem postopku in ki imajo v končni sestavi, slučajno ali pa namenoma, zaradi doseganja posebnih fizikalnih lastnosti visok aluminij, zakladamo mrzle v peč, če je v končni sestavi več kot 0,030 % skupnega, oziroma več kot 0,025 % topnega aluminijskega.

2. Nevarnost za trganje teh jekel tudi zmanjšamo, oziroma odstranimo, če ta jekla izdelamo le pod črno žlindro.

Zato manj zahtevne vrste jekla, npr. za debelo pločevino, kjer lahko z enožlindrnim postopkom dosegamo zadovoljivo čistočo, ali če nam nizko žveplo ob raztalitvi zagotavlja nizko končno žveplo, izdelujemo le pod črno žlindro, ker nam višji aluminij v končni sestavi v takem primeru ne škoduje.

Rezultati teh ukrepov se neposredno kažejo v povečanju dobitka dobrega materiala in zmanj-

šanju površinskih napak na minimum. Tako tudi pri doslej občutljivih kvalitetah sedaj dosegamo enako dobre rezultate kakor pri ostalih mehkih jeklih.

3. Sposobnost za vročo predelavo nizkoogljive konstrukcijske jekel izboljšamo in nevarnost trganja odstranimo, če dušik v jeklu vezemo z močnimi nitridotvornimi elementi, kot so titan, niob in vanadij. Nitridi teh elementov se raztapljajo pri višji ali pa pri nižji temperaturi, kot je temp. vročega valjanja. Sem spadajo jekla z visoko mejo raztezanja, ki so mikrolegirana z niobom in vanadijem in imajo zaradi posebnih fizikalnih lastnosti tudi visok delež dušika in aluminijskega.

Literatura

1., 2., 3. Dahl, Hengstenberg: Archiv für das Eisenhüttenwesen, 1964, str. 1129 do 1137.

Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljčnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika

2. del MEHANIZAM TRGANJA POVRŠINE PRI VROČEM PREOBLIKOVANJU

V prvem delu članka je kritična analiza literaturnih podatkov o mehanizmu vpliva AlN na preoblikovalnost jekla, v drugem so opisani rezultati eksperimentov, katerih cilj je bil, da se ugotovi

vi hitrost izločanja AlN pri počasnem ohlajanju jekla in hitrost raztapljanja AlN pri izotermnem ogrevanju, v tretjem delu pa je razlaga nove hipoteze o vplivu AlN na preoblikovalnost jekla.

1. ANALIZA LITERATURNIH PODATKOV

V strokovnih člankih je precej razširjeno mnenje, da je vzrok trganja v aluminijevem nitridu, ki se med ohlajanjem avstenita izloča po kristalnih mejah in tako zmanjšuje kohezijo med kristalnimi zrnji. Opazovanje v elektronskem mikroskopu pa ni v jeklih z normalno vsebnostjo AlN nikdar pokazalo kristalnih mej, ki bi bile obogatene z nitridnimi izločki. Take izločke sta opazila Woodfine in Quarrell¹ le v jeklih z 0,2 % Al, kar je abnormalno veliko in ne more biti dokaz za njuno trditev, da so izločki AlN po kristalnih mejah vzrok za trganje pri preoblikovanju jekel, ki imajo nekajkrat manj aluminija. Tudi za domnevo Opel-a in Wagnerja¹¹, ki zmanjšano plastičnost povezujejo z izločki AlN, markiranimi primarnimi austenitnimi mejami, ni nobenih eksperimentalnih dokazov. Stevilni raziskovalci (3, 4, 5, 6, 7 in 8) so objavili posnetke, iz katerih se jasno vidi, da so izločki, ki nastajajo pri ohlajanju ali izotermnem zadržanju jekla v temperaturnem področju izločanja AlN iz avstenita, enakomerno porazdeljeni v jeklu. Velikost kockastih ali prizmatičnih izločkov raste s temperaturo izločanja ali s trajanjem žarjenja⁸. So pa eksperimentalni dokazi za to, da se AlN izloča v obliki tankih open, če izločanje poteka paralelno z rekristalizacijo hladno predelanega jekla⁹. Trganje se pojavlja v intervalu 800 do 1100° C, ko je rekristalizacija mnogo hitrejša kot izločanje. Iz vsega tega lahko precej gotovo sklepamo, da ni verjetno, da bi bil vzrok za trganje izločanje AlN po takih ali drugačnih mejah.

Portevin¹⁰ je razvil hipotezo, da je trganje posledica raztapljanja nitridov, zaradi katerega se na posameznih mestih poveča vsebnost Al nad topnost v avstenitu in nastajajo feritni otoki, nastala dvofazna struktura pa ima slabšo preoblikovalnost od enofaznega avstenita. Dahl in Hengstenberg sta to hipotezo o škodljivosti raz-

širila še na izločanje AlN, kajti njuni upogibni preizkusi v vročem so pokazali, da je deformacijska sposobnost jekla najslabša prav v temperaturnem intervalu izločanja AlN iz avstenita, v katerem pa poteka tudi normalno valjanje jekla.

Analizirajmo eno in drugo hipotezo. Trganje se pojavlja pri padajoči temperaturi, ko se AlN izloča, ne pa raztaplja. Če bi se v trenutku raztopilo v avstenitu 0,05 % Al, bi pri topnosti AlN v avstenitu 1 % nastalo teoretsko lahko največ 5 % ferita pod pogojem, da v avstenitu ni raztopljeno nič aluminija, to pa je nemogoče, saj je v avstenitu do 1 % Al. Če upoštevamo to dejstvo, da se AlN ne raztopi naenkrat, marveč v določenem temperaturnem intervalu, je malo verjetno, da bi pri raztapljanju sploh prišlo do nastanka ferita in tudi če bi ta nastal, bi bila množina ferita daleč pod mejo, ki bi bila lahko škodljiva s stališča dvofazne strukture. V tej zvezi bi opozorili na dejstvo, da menimo, da majhna množina ferita celo zmanjšuje pokljivost v vročem zvaru nerjavnih elektrod. Podobni so razlogi, zaradi katerih lahko izključimo možnost, da pri ohlajanju nastane škodljiva množina AlN zaradi izločanja AlN. To izločanje je počasno, hitrost izločanja je za nekaj redov velikosti bolj počasna kot proces preoblikovanja. Opel in Wagner¹¹ navajata, da nista opazila, da bi imela deformacija avstenita v vročem vpliv na hitrost izločanja AlN.

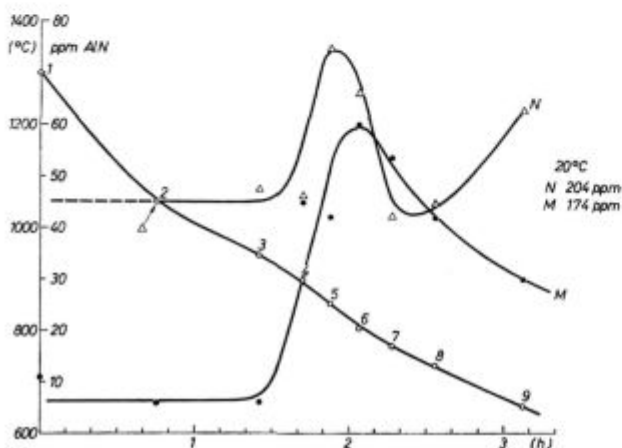
2. EKSPERIMENTALNO DELO

Zanesljivih podatkov o izločanju AlN med počasnim ohlajanjem jekla, ki bi ga lahko primerjali z ohlajanjem jekla v bramah po ulivanju, v literaturi nismo našli. Z namenom, da bi preverili hipotezo o škodljivosti izločanja, smo izmerili kinetiko izločanja nitrida med počasnim ohlajanjem. Zdi se nam namreč, da ni pravilno, da primerjamo, kot sta napravila že omenjena Dahl in Hengsten-

berg, deformacijo, ki se izvrši v nekaj sekundah in izločanje, ki se izvrši med enournim žarjenjem. Za poizkus smo izbrali 2 jekli, eno s precej, drugo z malo AlN. Vzorci smo vzeli iz bram, ulitih v Železarni Jesenice, jih segrevali najprej 1 uro pri 1300°C, nato smo jih počasi ohlajali v peči in ob določenih temperaturah gasili v vodi. Vsebnost AlN smo določili po Beeglijevi metodi. V tabeli 1 podajamo sestavo jekel, katere smo uporabili za ta in za naslednji poizkus, v tabeli 2 pa so podane temperature gašenja in vsebnosti AlN. Za primerjavo je še podana vsebnost AlN po ohladitvi v peči na temperaturo ambienta in po 1 urnem žarjenju pri 950°C. Na sliki 1 so rezultati iz tabele 2 prikazani grafično. Enakomerno pada-

joča krivulja prikazuje ohlajanje peči; na njej so označene temperature gašenja posameznih vzorcev. Krivulja M prikazuje stopnjo izločanja AlN v jeklu z malo nitrida, krivulja N pa v jeklu z mnogo nitrida. Obe krivulji izločanja sta po obliki zelo podobni in jasno kažeta, da v avstenitu, ki se ohlaja s temperature 1450°C, ni nobenega izločanja, dokler temperatura ne doseže približno 950°C. Pod to temperaturo se začne energično izločanje, vendar se že od pribl. 850°C vsebnost nitrida ponovno zmanjšuje. Pod temperaturo 750°C vsebnost izločenega nitrida v jeklu z veliko aluminija in dušika ponovno raste, v jeklu z malo aluminija pa naprej pada. Pri nadaljevanju ohlajanja v peči do navadne temperature se je v obeh jeklih izločilo približno 70% od vsebnosti nitrida, kolikor ga je analiza pokazala v ohlajenem ingotu. Na osnovi tega in podatkov o ohlajanju bram po vlišanju, ki so navedeni v prvem delu tega članka, lahko sklepamo, da krivulji M in N na sliki 1 dajejo realno sliko o tem, kar se dogaja tudi med ohlajanjem bram.

Z naslednjim preizkusom smo hoteli ugotoviti kinetiko raztapljanja nitrida v avstenitu pri temperaturah med 1070 in 1300°C. Za preizkus smo izbrali 4 jekla z različno količino aluminija in dušika. Pred preizkusom smo vse vzorce žarili 1 uro pri 950°C, da se je izločilo čim več nitrida. Vzorce smo nato žarili pri 5 temperaturah v omejenem intervalu, v trajanju 0,5, 1, 2 in 4 ure. Po žarjenju smo vzorce gasili v vodi. Rezultate kaže tabela 3 in grafikon na sliki 2. Iz oblike krivulj se lepo vidi, da se v jeklih K in D, teoretično je v njih 270, oz. 240 ppm AlN, nitrid praktično takoj raztopi v vsem temperaturnem področju poizkusov in ostane v avstenitu konstantna količina



Slika 1

Vsebnost aluminijevega nitrida v jeklih M in N v odvisnosti od trajanja ohlajanja in temperature gašenja med ohlajanjem v peči. Sestava jekel je v tabeli 1.

Tabela 1 — Sestava jekel uporabljenih za preizkuse (%)

Sarža	Oznaka	C	Si	Mn	S	P	N	Al ¹	Cu
EL 1849	A (N)	0,22	0,35	1,30	0,017	0,022	0,0105	0,042	0,27
EL 1366	D	0,16	0,30	1,19	0,029	0,018	0,0082	0,032	0,27
3020	K	0,13	0,30	1,07	0,028	0,018	0,0105	0,018	0,20
3026	L	0,16	0,32	1,13	0,03	0,01	0,021	0,058	0,20
EL 4967	M	0,21	0,29	1,20	0,009	0,013	0,0105	0,032	0,24

¹ — topni Al

Tabela 2 — Vsebnost aluminijevega nitrida v odvisnosti od temperature ohlajanja v peči

Temperatura peči °C	1300 1	1050 2	950 3	900 4	850 5	800 6	770 7	725 8	650 9	20	A	B
Vsebnost AlN												
ppm M	11	6	6	45	42	60	54	42	30	174	270	261
N	21	45	48	45	75	66	42	63	63	204	291	274

A — žarjeni 1 uro pri 950°C in gašeni v vodi

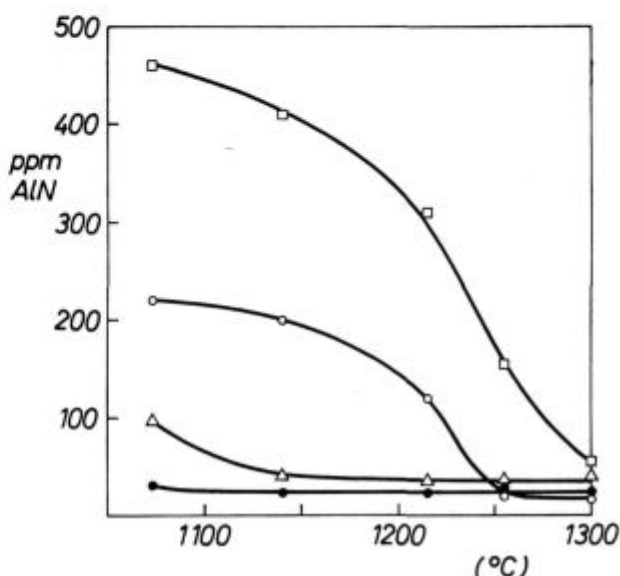
B — ohlajen slab

Tabela 3 — Kinetika raztapljanja AlN v avstenitu pri različnih temperaturah. Vsebnost AlN je v ppm.

Tempe žarjen	Trajanje žarjenja h	Sarža A (N)	Sarža D	Sarža K	Sarža L
1300	0,5	18	20	39	176
	1	24	20	42	167
	2	18	20	36	74
	4	12	27	42	53
1255	0,5	21	27	32	240
	1	18	19	32	240
	2	24	22	35	205
1215	0,5	147	24	35	387
	1	124	19	38	375
	2	132	20	38	348
1140	0,5	194	23	64	460
	1	186	—	35	450
	2	216	22	51	372
1070	0,5	219	27	94	454
	1	195	30	81	445
	2	219	29	99	443
950	0,5	219	29	96	463
	1	258	207	270	490

največ AlN, pa je vsebnost 50 ppm dosežena šele po več kot 2-urnem žarjenju pri 1300° C. Zanimivo je, da pri tem jeklu tudi pri ostalih temperaturah žarjenja raste množina raztopljenega nitrida s trajanjem žarjenja.

A ○ 0,042 Al; 0,0105 N
D ● 0,032 Al; 0,0082 N
K △ 0,018 Al; 0,0105 N
L □ 0,058 Al; 0,021 N



Slika 3

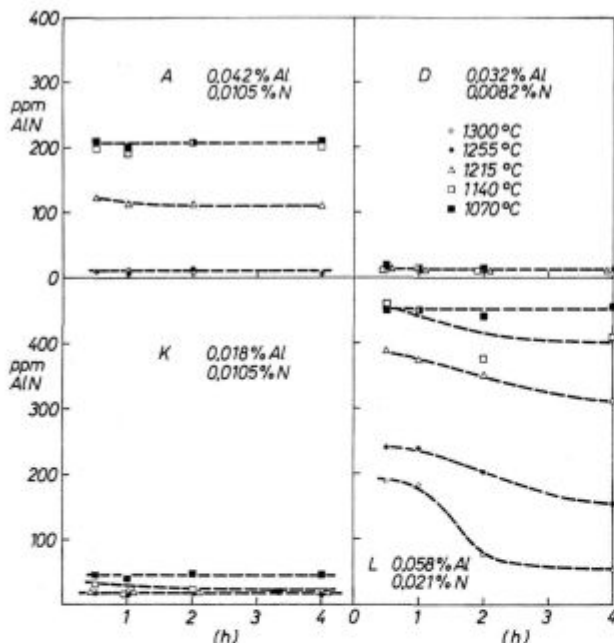
Vsebnost AlN po 4-urnem ogrevanju pri različnih temperaturah v različnih jeklih. Sestave jekel so podane v tabeli 1.

V grafikonu na sliki 3 je pokazano, kako s temperaturo pada množina neraztopljenega nitrida po 4-urnem žarjenju pri preizkusnih temperaturah. V tem diagramu se ponovno jasno pokaže razlika med jekli. Pri 1150° C je dosežen maksimum v množini raztopljenega nitrida v šarži K z 270 ppm AlN; v jeklu A, ki ima le nekoliko več AlN, teoretično 310 ppm, pa se je nitrid raztopil šele pri 1255° C. Razliko v ponašanju je verjetno treba iskati v prebitku aluminija v tej šarži. Oblika krivulj kaže, da nad 1255° C topnost AlN v avstenitu močnejše raste kot pri nižji temperaturi, kajti pri 1300° C ostane samo še cca 50 ppm AlN neraztopljenega v jeklu, ki ima teoretično 620 ppm AlN (šarža L).

3. ANALIZA EKSPERIMENTALNIH DOGNANJ

Iz rezultatov naših preizkusov lahko povzamemo naslednje splošne sklepe:

— v temperaturnem intervalu valjanja bram do temperature 950° C praktično ni pričakovati izločanja AlN.



Slika 2

Kinetika raztapljanja AlN med ogrevanjem jekel A, D, K in L pri različnih temperaturah. Sestava jekel je v tabeli 1.

nitrida pod 30 ppm, kar je red velikosti analitske napake metode, katere smo uporabili za analizo. V jeklu A, ki ima teoretično 310 ppm AlN, je ves nitrid raztopljen šele pri 1255° C, v jeklu L, ki ima

— pri standardni vsebnosti dušika v jeklih med 0,008 in 0,01 % zraste na temperaturi ogrevanja pred valjanjem množina neraztopljenega AlN, ko zraste vsebnost aluminija nad 0,03 %. To kaže, da je precej močan vpliv prebitnega aluminija na raztapljanje nitrida.

— v jeklih s standardno, pa tudi nekoliko povečano vsebnostjo aluminija (0,04 %) se količina AlN, ki se pri ogrevanju ohrani neraztopljen v avstenitu, ne razlikuje po polurnem in po 4-urnem žarjenju na temperaturi. To pomeni, da se s podaljšanjem žarjenja množina raztopljenih nitridnih izločkov ne poveča, zato si ne moremo razlagati izboljšanja preoblikovanosti jekla, zaradi podaljšane ogrevanja jekla pred valjanjem.

Po analizi literaturnih podatkov in dognanj naših preizkusov smo prišli do sklepa, da so do sedaj objavljene hipoteze o mehanizmu vpliva AlN na preoblikovalnost jekla precej problematične, in mislimo, da je najverjetneje, da preoblikovalnost zmanjšujejo zelo drobni nitridi z izločki, ki ostanejo neraztopljeni, če jeklo vsebuje več AlN kot se ga lahko raztopi v avstenitu pri izbrani temperaturi ogrevanja. Znano je, da vse disperzne faze s primerno velikostjo, med take faze spadajo tudi izločki AlN, zavirajo gibanje dislokacijskih linij in rast kristalnih zrn, oziroma dovoljujejo eno in drugo, samo dokler polmer ukrivljenosti dislokacijske črte ali kristalne meje rastočega zrna ne doseže določene velikosti. Vpliv izločkov je torej lahko dvojen: direkten, če se manifestira v tem, da zavira gibanje dislokacij med vročo deformacijo, kar nedvomno zmanjšuje preoblikovalnost jekla, ali pa indirektno, če se manifestira v zaviranju rekristalizacije jekla in odpravi posledic deformacije, zaradi česar bi lahko prišlo do neke vrste utrjenosti jekla. Mogoče je seveda, da se oba mehanizma seštevata.

Če naša hipoteza drži, bi se dalo poboljšati preoblikovalnost s tem, da se poveča hitrost rekristalizacije jekla. To lahko dosežemo s povečanjem hitrosti deformacije, ko se v kristalno mrežo kovine vnese mnogo več kristalnih napak, vrzeli in dislokacij kot pri počasni deformaciji in se s tem olajša rekristalizacija. Opel in Wagner sta dokazala, da je z rastočo vsebnostjo AlN za dobro preoblikovalnost potrebna večja hitrost deformacije.

Vemo tudi, da se pri enako veliki vsebnosti AlN ne trgajo jekla, ki imajo povišano množino ogljika. Naša opazovanja na visokotemperaturnem mikroskopu kažejo migracijo kristalnih mej avstenita v jeklu z 0,49 % C, razmeroma hitra je že pri 1200° C, v tehnično čistem železu brez ogljika in s praktično enako množino AlN pa se migracija ne opazi tudi pri za 1500° C višji temperaturi. Ne znamo še razložiti mehanizma vpliva ogljika; teoretično je mogoče, da ogljik pospešuje raztapljanje AlN v avstenitu ali pa zmanjšuje površinsko napetost avstenita tako, da je pri enaki velikosti in množini nitridnih izločkov manjša sila, ki se upira

premikanju kristalnih mej in dislokacijskih linij. Iz detajlne analize AlN v jeklu, katero je pripravil Kveder¹⁴, povzemamo sklep, da je temperatura popolne raztopitve nitrida v jeklih, ki imajo 0,2 % C in 1,5 % Mn višja kot v jeklu za globoki vlek. Zdi se torej, da je drugo tolmačenje vloge ogljika bolj na mestu. Direktnih dokazov za veljavnost naše hipoteze še nimamo, upamo pa, da jo bomo lahko eksperimentalno preverili.

Poglejmo sedaj, kako bi se dalo na osnovi te hipoteze pojasniti razliko v preoblikovalnosti med bramami, ki so bile založene v valjalniško peč hladne (s tem označujemo brame, založene ohlajene na temperaturo pod 500° C) in bramami istega jekla, ki so bile založene v peč ohlajene na največ 800° C. Gotovo je, da je edina razlika med takimi bramami v velikosti nitridnih delcev; v enih in drugih bramah se namreč izloči ves netopni AlN med ohlajanjem ali med sledečim ogrevanjem, ter v vsebnosti vodika. Ni nam znano, da bi kdo kdaj pripisal zmanjšano preoblikovalnost v vročem povečani vsebnosti vodika, zato bomo eventualni vpliv vodika zanemarili. Kveder je eksperimentalno dognal, da je po 100 minutah izotermnega žarjenja v temperaturnem intervalu 700 do 900° C količina izločenega nitrida v jeklu kvalitete C-0560 praktično enaka. Hultgren¹⁵ navaja, da se nitridi že pri počasnem ohlajanju jekla (nitridi že izločeni v avstenitu), ponovno raztopijo v feritu pri transformaciji gama-alfa, ker je pri isti temperaturi topnost AlN v feritu večja kot v avstenitu. Do istega sklepa pridemo z analizo preje omenjenih Kvedrovih dognanj. Popolnoma isto kažeta zelo jasno krivulji na sliki 1. Lahko torej sklepamo, da bo v jeklu, ohlajenem na nizko temperaturo, prišlo do izločanja dela nitrida pri nižji temperaturi in da bodo zato nastali novi nitridni izločki.

Po Gladmanu in Pickeringu se velikost nitridnih izločkov poveča približno 5-krat za vsakih 100° C povečanja temperature izločanja. To kaže, da bodo nitridni izločki v jeklu, ki je bilo ohlajeno na okoli 800° C, večji in bolj redki kot v jeklu, ki je bilo ohlajeno na nižje temperature.

Na temperaturi ogrevanja pred valjanjem se bo v obeh primerih raztopila v avstenitu enaka množina AlN, razlika pa bo nastala v velikosti in gostoti preostalih neraztopljenih izločkov AlN. V jeklu, ki je bilo ohlajeno na višjo temperaturo, se bodo v povprečju enako veliki delci enakomerno zmanjšali, ostali bodo številni drobni izločki z ohranjeno sposobnostjo blokiranja kristalnih mej in dislokacij. Po Zenerju je namreč zavorna sila disperzne faze premo sorazmerna z množino in obratno sorazmerna z velikostjo delavcev disperzne faze. V jeklu, ki je bilo ohlajeno na nižjo temperaturo, se bodo hitreje raztopili bolj drobni nitridni izločki in ostali bodo neraztopljeni večji izločki, nastali pri visoki temperaturi. Ti izločki so bolj redki in večji kot v prvem primeru, zato ne morejo tako učinkovito zadrževati gibanja dislo-

kacij in zavirati rekristalizacije. Rezultat je, da bo v tem primeru pri isti množini neraztopljenega AlN boljša preoblikovnost jekla. Znižanje temperature bo povečalo množino izločenega nitrida in zato slabšalo preoblikovnost jekla. S podaljšanjem žarjenja pri isti temperaturi se bo število zrn AlN zaradi koagulacije zmanjšalo, rezultat bo povečana preoblikovnost jekla. To je znan pojav, ki so ga dosedaj tolmačili s povečanjem množine raztopljenega AlN.

Na kratko: po tej hipotezi je isti razlog za slabo preoblikovnost jekel s precej aluminija in dušika v izločkih AlN, ki so ostali neraztopljeni v avstenitu ali so se iz njega izločili zaradi znižanja temperature, razliko preoblikovnosti med hladno in vroče založenimi bramami pa v velikosti in gostoti neraztopljenih izločkov pri temperaturi valjanja.

Zaenkrat ne znamo razložiti, če zanemarimo vpliv vodika, razlike v predelovalnosti med jekli, ki so bila izdelana po enožilndrnem postopku, in med jekli, ki so bila izdelana po dvožilndrnem postopku in imajo pri enaki sestavi tudi enako vsebnost AlN.

SKLEP

1. Eksperimentalno smo ugotovili, da se med počasnim ohlajanjem jekla, ki ga lahko primerjamo z ohlajanjem bram po ulivanju, začne izločanje nitridov šele pri temperaturi pod 950°C, vendar že od temperature 850°C vsebnost nitrida v jeklu pada, zato ker se v avstenitu izločeni nitrid ponovno raztaplja v feritu. Pri nadaljevanju ohlajanja se nitrid ponovno izloča.

2. V jeklih s standardno množino aluminija in dušika razlika v trajanju ogrevanja na temperaturi, ki je normalna za ogrevanje pred valjanjem, praktično ne vpliva na množino nitrida, ki ostaja neraztopljen v avstenitu.

3. Analiza naših eksperimentalnih dognanj in literarnih podatkov kaže, da objavljene hipoteze o mehanizmu vpliva aluminijevega nitrida na preoblikovnost jekla ne držijo. Zato smo razvili novo hipotezo, po kateri so neraztopljeni izločki AlN vzrok za slabšo preoblikovnost jekla.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Warmbrüchigkeit der Blockoberfläche bei der Warmverformung ist eines der unangenehmsten Erscheinungen, die das Warmwalzen begleiten. Die Risse, die auf der freien Oberfläche bei hohen Zugspannungen auftreten, können mehr oder weniger tief sein und verursachen je nach dem viele Schwierigkeiten beim Putzen des Walzgutes und auch kleiner oder grösseren Auswurf.

Besonders stark neigen zur Warmbrüchigkeit die weichen nichtlegierten mit Aluminium beruhigten Stähle mit einem Kohlenstoffgehalt von 0.10—0.25%. Zu diesen zählen vor allen Stähle denen Aluminium absichtlich im grösseren Masse zugegeben ist, wie alterungsbeständige

Literatura

1. B. C. Woodfine in A. G. Quarrell: »Effect of Al and N on the Occurrence of Intergranular Fracture in Steel Castings — Journal of Iron and Steel Institute (London) 195, 1960, št. 4, 409... 414.
2. W. Dahl in H. Hengstenberg: Untersuchungen über die Ursachen für das Auftreten von Warmbruch an niedrig legierten allgemeinen Baustählen; Archiv für das Eisenhüttenwesen, dec. 1964, št. 12, 1123—1131.
3. I. Kubik, A. Legat in R. Mitsche: »Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Topologie des AlN in weichen Stählen — Radex-Rundschau (Radenthein), 1961, št. 6, 739... 745.
4. W. Dahl, P. Schwab in H. Hengstenberg: »Übermikroskopischer Nachweis von Aluminiumnitrid in betriebsmässig erschmolzenen Baustählen« — Archiv für das Eisenhüttenwesen (Düsseldorf) 32, 1961, 7, 475... 478.
5. A. Ambroz: »Influence de l'aluminium sur la structure et les propriétés des aciers grosses pièces de forge« — Revue de Métallurgie (Paris) 64, 1967, št. 1, 1.
6. U. Vrtel: »The Susceptibility to Aging of Fine Grained Steel Used for Pressure Vessels«. Predavanje na konferenci: Oceli pro energeticky a chemický prumysl, Tatranska Lomnica, junij 1967.
7. F. Vodopivec, L. Kosec in A. Kveder: »O morfologiji in topologiji nitridnih izločkov in o njihovem zaviralnem vplivu na rast avstenitnih zrn v jeklih«. Rudarsko-Metalurški zbornik, 1969, št. 1, 13—24.
8. T. Gladmann in F. B. Pickering: »Grain Coarsening of Austenite« — Journal of Iron and Steel Institute 205, 1967, št. 6, 653... 667.
9. H. Borchers in Zae-Quan Kim: »Das Ausscheidungsverhalten des Aluminiumnitrides in beruhigtem weichen Stahl« — Archiv für das Eisenhüttenwesen (Düsseldorf) 36, 1965, št. 4, 311... 316.
10. P. Portevin: Influence de divers oligoéléments sur la forgealite de l'acier mi dur: Disertacija na Univerzi v Parizu, maj 1962.
11. P. Opel in S. Wagner: Die Warmverformbarkeit von Stählen im Temperaturbereich um 1000°C: Archiv für das Eisenhüttenwesen, 1964, št. 12, 1113—1144.
12. W. Koch, C. Ilshner-Gensh in H. Rohde: Das Auftreten einer Kubischen Nitrids im aluminiumlegierten Stählen — Archiv für das Eisenhüttenwesen 27, 1956, 701—706.
13. F. Vodopivec in J. Megušar: »O vplivu vsebnosti neoksidiranega aluminija in dušika na velikost avstenitnih zrn v jeklih« — Rudarsko-metalurški zbornik (Ljubljana) 1964, št. 3, 297... 305.
14. A. Kveder: »Nitridi v jeklu«. Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, junij 1967.
15. F. A. Hultgren: »The Reversion and Re-precipitation of Aluminium Nitride in Aluminium Killed Drawing Quality Steel« — Blast Furnace and Steel Plant 56, 1958, št. 2, 149... 156.

und feinkörnige Baustähle und auch andere weiche Stähle, wenn sie zufällig einen höheren Aluminiumgehalt aufweisen.

Die Neigung zur Warmbrüchigkeit ist auch von der Art der Stahlherstellung abhängig. Die im Elektroofen hergestellten Stähle sind warmbrüchiger weil sie mehr Stickstoff enthalten.

Die Warmbrüchigkeit ist in Jesenice im grösseren Maasse aufgetreten wenn die Stahlherstellung in den beiden Grossraumlichtbogenöfen losging und wir mit dem Giessen der grossen Brammen begonnen haben. Alle diese warmbrüchige Stähle wurden nach dem Zweischlackenprozess hergestellt.

Nach unseren Erfahrungen wird der Stahl warmbrüchig, wenn es mehr als 0.025 % säurelöslichen Aluminium und mehr als 80 ppm Stickstoff enthält.

Die einfachste Art die Warmrissigkeit herab zu setzen ist das Aluminium unter 0.020 % zu halten. Und wie bei den Stählen welche einer höheren Aluminiumgehalt enthalten müssen um besondere physikalische Eigenschaften zu erreichen? Die Warmbrüchigkeit wird verhindert wenn der Stickstoff durch starke Nitridbildner wie Ti, Nb und V abgebunden wird wie es bei den hochfesten Stählen St 52 Cb und St 52 COV der Fall ist.

Die Warm brüchigkeit wird auch verhindert, wenn die Blöcke bis auf die Raumtemperatur abgekühlt und kalt in die Tiefofen eingesetzt werden. Die Erklärung ist wahrscheinlich in den aus der α Phase sehr fein ausgeschiedenen Al-nitriden welche beim nachfolgenden Erwärmen schneller in die Lösung gehen als die groben Al-nitridteilchen, welche aus der γ Phase ausgeschieden sind, wenn die Blöcke heiss (etwa 800° C) eingesetzt worden sind.

Diese Stähle sind auch nicht warmbrüchig, wenn sie nach dem Einschlackenprozess hergestellt sind trotz höherem Aluminium und Stickstoffgehalt.

SUMMARY

Cracking of the rolled piece surface during the hot forming is one of the most undesired phenomena which are present at the hot rolling. Cracks can extend deep into the inside and cause great troubles and bigger or smaller rejection when pieces are cleaned.

Especially soft plain steels with 0.10 to 0.25 % C, killed with aluminium, are very susceptible to cracking. This group contains steels to which Al is intentionally added in greater amounts, as the steels resistant to ageing, fine-grained structural steels, and also other soft steels if accidentally contain greater amounts of aluminium.

Susceptibility to cracking depends also on the way of steel producing. Steels produced in the electrical furnace are more susceptible to cracking as they contain greater amounts of nitrogen.

In Jesenice Ironworks troubles with cracking appeared when steel was produced in big electrical furnaces and cast into big ingots. These steels were made by the two-slag process.

Our experiences showed that steel severely cracks if it contains more than 0.025 % of dissolved aluminium and more than 80 ppm of total nitrogen.

The simplest solution is to reduce aluminium under 0.020 %. But what to do with steels which must contain greater amount of aluminium because of special physical properties? Cracking is prevented if nitrogen is bound to strong nitride-forming elements as Ti, Nb, and V, in the way as high strength steels St 52 Cb and St 52 Cb V are produced.

Cracking is also prevented if these steels are left to cool down to the room temperature and they are charged into soaking furnaces in cold state. The explanation for this phenomenon is probably in more finely precipitated AlN which precipitate from the α phase, in subsequent heating the precipitates dissolve faster than coarse nitrides which precipitated from the γ phase if slabs were charged into the furnace in hot state (800° C). These steels do not crack if they are made by single-slag process (black slag) in spite of high aluminium and nitrogen in steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трескание поверхности проката во время горячей обработки самое неприятное явление которое сопровождается горячей прокаткой. Рваные трещины проходят часто глубоко в внутренность и причиняют большие затруднения при чистки а также меньшее и большее количество брака.

Особенно большую склонность к рваным трещинам проявляют мягкие нелегированные сорта стали с содержанием углерода между 0.10—0.25 % а раскисленные с алюминием. Сюда относятся в особенности стали которые намеренно раскислены с большим количеством алюминия — это сорта стали устойчивы против старения — мелкозернистые конструкционные стали а также другие мягкие сорта которые случайно содержат большое количество алюминия.

Склонность к образованию рваных трещин зависит также от способа производства стали; сталь произведена в электрической печи более склонна к появлению трещин так как содержит больше азота. В металлургическом заводе, Zelezarna Jesenice (Югославия) затруднения с рваными трещинами начались как только приступили к производству стали в больших электрических печах и сливать сталь в слитки большого формата. Эти сорта стали

были произведены способом двух шлак. Эти опыты показали, что рваные трещины в особенности часты в стали с содержанием свыше 0.025 % плавкого алюминия и свыше чем 80 ppm совокупного азота. Единственное решение снизить содержание алюминия под 0.20 %. При сортах стали при которых более высокое содержание алюминия необходимо чтобы получить определенные физические качества азот соединяют с элементами Ti, Nb и V на которые азот имеет большую сродность и в результате чего образуются стабильные нитриды упомянутых элементов. Это практикуется при стали высокой твердости как напр: St 52 Cb и St 52 CbV.

Появление рваных трещин можно ограничить и уменьшить если слитки охлаждены на обыкновенную темп-ру и в таком состоянии загружены в нагревательные печи. Повидемому карбид AlN выделяется в более мелкозернистых включениях и быстрее растворяется при последовательном согреванию в сравнение с другими нитридами которые выделяются когда слитки загружены в нагревательные печи в горячем состоянии (800° C). Если эта сталь произведена способом с одним шлаком (под черным шлаком) то, несмотря на высокое содержание алюминия и азота, рваные трещины не обнаружены.

Nerjaveča jekla za obdelavo na avtomatih

Nerjaveča jekla za obdelavo na avtomatih so sestavni del velike družine nerjavečih jekel in v precejšnji meri razširjajo območje uporabnosti le-teh. V Železarni Jesenice so bile osvojene vse tri osnovne vrste teh jekel: avstenitno, feritno in martenzitno.

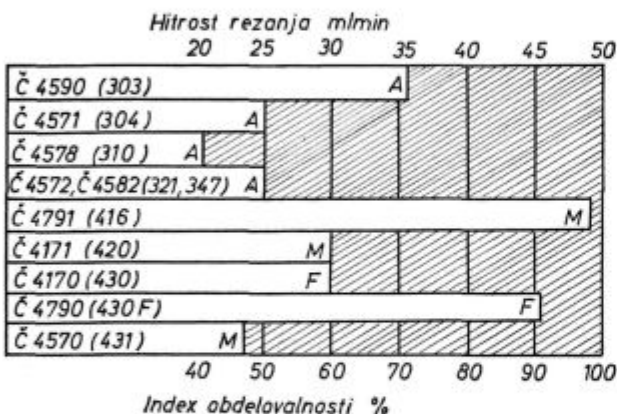
Domača industrija troši zaenkrat relativno male količine nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih, kar menimo, da je predvsem posledica slabega poznavanja uporabnosti in prednosti teh jekel v določenih pogojih preoblikovanja z odrezovanjem.

Namen tega sestavka je opozoriti na zelo zanimivo problematiko osvajanja teh jekel ter obenem s tem prikazati njihove glavne fizikalno-kemične lastnosti.

UVOD

Uporabnost nerjavečih jekel je pogojena z njihovo korozijsko obstojnostjo, mehanskimi lastnostmi, sposobnostjo utrjevanja ter plastičnostjo jekla. V slučaju, ko se jeklo obdeluje na obdelovalnih strojih z odrezovanjem, pa nastopi kot odločujoči faktor tudi sposobnost jekla za obdelavo.

Z odrezovanjem je mogoče obdelovati vse vrste nerjavečih jekel, vendar pa je večina le-teh slabo obdelovalna in se nerjaveča jekla lahko obdelujejo pri ekonomskih hitrostih rezanja, ki so manjše od 30 m/min. (sl. 1)



Slika 1

Primerjava obdelovalnosti standardnih nerjavečih jekel (etalon avtomatsko jeklo B 1112 = 100 %)

(Članek je predelan avtorjev referat na IV. Savjetovanju proizvodnog mašinstva, Sarajevo, 1968)

Avstenitna jekla se relativno težje obdelujejo kot feritna in martenzitna, ker so v gašenem stanju lepljiva in tvorijo pri rezanju trakaste ostružke.

Smisel razvoja avtomatskih nerjavečih jekel je torej v tem, da se s poboljšanjem obdelovalnosti sicer slabo obdelovalnih nerjavečih jekel poceni obdelava strojnih delov, ki morajo biti zaradi zahtev po dobri korozijski obstojnosti iz nerjavečega jekla.

Obdelovalnost nerjavečih jekel poboljšamo z dodatkom t.i. avtomatskih dodatkov, predvsem žvepla in selena. Ti elementi poboljšajo obdelovalnost jekla s tem, da tvorijo nemetalne vključke — sulfide in selenide — ki zmanjšujejo trenje pri rezanju in povzročajo tvorbo krhkih lahko lomljivih ostružkov.

Na splošno velja, da se zaradi avtomatskih dodatkov poslabša korozijska obstojnost, mehanske lastnosti v prečni smeri valjanja ter sposobnost jekla za preoblikovanje.

Žveplo je najbolj uporaben avtomatski dodatek, ker ni strupeno in je poceni. V zadnjem času pa se kljub visoki ceni vedno bolj uveljavlja kot avtomatski dodatek selen. Prednosti selena pred žveplom se kažejo predvsem v boljši korozijski obstojnosti ter sposobnosti jekel za vročo in hladno predelavo. To pa so prednosti, zaradi katerih se zelo razširja območje uporabnosti nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih tudi za najzahtevnejše namene.

Žveplo in selen imata podoben vpliv na obdelovalnost jekel, pri tem pa kažejo jekla z žveplom večjo vzdržnost rezalnih nožev, jekla s selenom pa dajejo boljše površine obdelovancev.

Avtomatske modifikacije so bile razvite v vsaki grupi nerjavečih jekel, zato tudi v tem primeru klasifikacija jekel temelji na obliki mikrostrukture in kemični sestavi. Poznamo torej: **Cr-Ni avstenitna** in **Cr feritna in martenzitna jekla za obdelavo na avtomatih.**

2. NEMETALNI VKLJUČKI

Obdelovalnost nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih določa:

1. količina ter kemične in fizikalne lastnosti nemetalnih vključkov.
2. način izdelave in predelave jekla.

Način, kako doseči optimalno obdelovalnost, je za posamezne vrste nerjavečih jekel različen. Skupne vsem tipom jekel pa so zahteve, ki jih postavljamo nemetalnim vključkom. Te zahteve pa so:

1. Pravilna sestava sulfidnih vključkov.
2. Enakomerna porazdelitev le-teh po preseku.
3. Nizka vsebnost oksidnih nemetalnih vključkov.

Obravnavane vrste nerjavečih jekel vsebujejo tri glavne elemente, ki tvorijo sulfide: železo, mangan, krom.

Tip sulfida, ki se razvije, je odvisen od kompleksnega odnosa med temi elementi v jeklu ter njihove sulfidotvornosti. Za razumevanje teh kompleksnih vplivov so bile potrebne obširne preiskave fizikalnih in kemičnih lastnosti nastalih sulfidov.

Ugotovljeno je bilo, da ima na tip rezultirajočih sulfidov primarni vpliv vsebnost Mn v jeklu, oziroma razmerje Mn : S.

Sulfidni vključki v jeklih z nizko vsebnostjo Mn in razmerjem Mn : S < 3 so bogati na Cr in večfazni. Osnovna faza je kubični MnS, bogat s Cr, izločena faza pa je heksagonalni CrS. Karakteristične večfazne sulfidne vključke smo našli v feritnem jeklu za obdelavo na avtomatih (eksperimentalna talina) z vsebnostjo 0.40 % Mn, 17.5 % Cr, 0.250 % S — Mn : S = 1.6.



Slika 2 — $\times 500$

Sulfidni nemetalni vključki v feritnem jeklu za obdelavo na avtomatih z nizkim razmerjem Mn:S

Sulfidni vključki v jeklih z višjo vsebnostjo Mn in razmerjem Mn : S > 4 so enofazni in imajo sestavo in kristalografsko strukturo MnS. Primer takšnih sulfidnih vključkov v feritnem jeklu za obdelavo na avtomatih Č 4790 (1.20 % Mn, 0.250 S, 16.6 % Cr — Mn:S = 4) je prikazan na sliki 3.



Slika 3 — $\times 500$

Sulfidni nemetalni vključki v feritnem jeklu za obdelavo na avtomatih z visokim razmerjem Mn:S

Karakteristike sulfidnih nemetalnih vključkov, ki nastopajo v nerjavečih jeklih za obdelavo na avtomatih z različno vsebnostjo Mn, ilustriramo s podatki za martenzitno jeklo za obdelavo na avtomatih v tabeli 1.

Tabela 1 — Karakteristike sulfidnih nemetalnih vključkov v martenzitnem jeklu za obdelavo na avtomatih

Faza	Analiza jekla						Trdota vklj.	
	% Mn	% S	Mn:S	Mn	Cr	Fe	S	HB kp/mm ²
Cr S	0.30	0.30	1.0	5	54	2	37	300—450
(Mn, Cr) S	0.55	0.30	1.8	32	28	4	36	280
Mn S	2.00	0.30	6.7	56	4	4	36	150

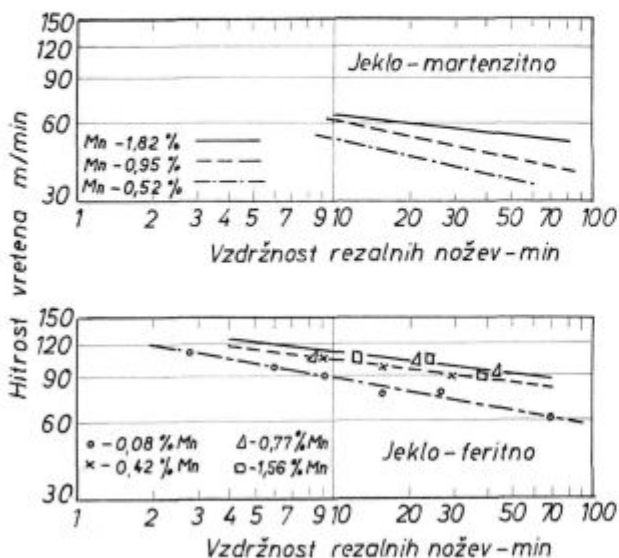
Zveplo, ki je vezano kot kromov sulfid, na obdelovalnost nima ugodnega vpliva, kajti kromov sulfid je trd (trdota HB 300 — 400 kp/mm²) in deluje pri rezanju abrazivno, podobno kot oksidi. Odločujoča za dobro obdelovalnost je torej prisotnost čistega manganovega sulfida.

Manganov sulfid je mehak (trdota cca HB 150 kp/mm²), prostorska centrirana kubična mreža, kateri pripada MnS je zelo duktilna, zato imajo vključki MnS ugoden vpliv na obdelovalnost, ker delujejo kot mazivo in s tem zmanjšujejo trenje pri rezanju.

Poizkusi so pokazali, da je možna zelo enostavna identifikacija kemičnih karakteristik sulfidnih vključkov v nerjavečih jeklih za obdelavo na avtomatih že z enostavnim Baumannovim odtisom. Jekla, ki vsebujejo sulfidne vključke, ki so bogati na kromu, pri Baumannovem preizkusu ne reagirajo. Nasprotno pa dobimo pri jeklih, ki vsebujejo sulfidne nemetalne vključke sestave MnS, zelo intenzivne odtise.

Pri poznanju kemični sestavi jekla je torej moč enostavno oceniti obdelovalnost že z Baumanovim odtisom.

Rezultati preiskave vpliva vsebnosti Mn na obdelovalnost Cr nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih so prikazani na sliki 4.

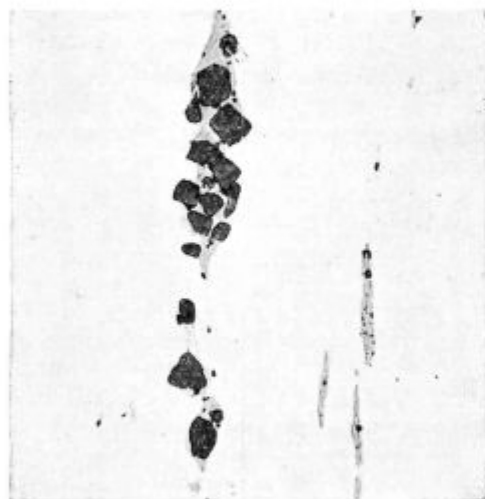


Slika 4

Vpliv vsebnosti Mn na obdelovalnost Cr nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih

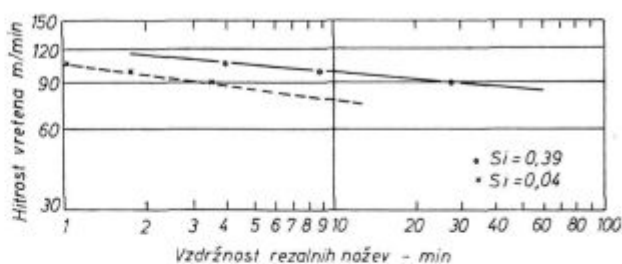
Stalni spremljevalec nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih so tudi oksidni nemetalni vključki, ki se tvorijo med taljenjem in vlivanjem jekla. Za obdelovalnost teh jekel so najbolj škodljivi oksidni nemetalni vključki aluminatne narave (sl. 5) ter vsi nemetalni vključki eksogenega izvora.

Manj škodljivi kot aluminati pa so kompleksni oksidi kroma, mangana, silicija, ki jih nahajamo



Slika 5 — × 500

Oksidni nemetalni vključki Al v nerjavečih jeklih za obdelavo na avtomatih



Slika 6

Vpliv vsebnosti Si na obdelovalnost feritnega jekla za obdelavo na avtomatih

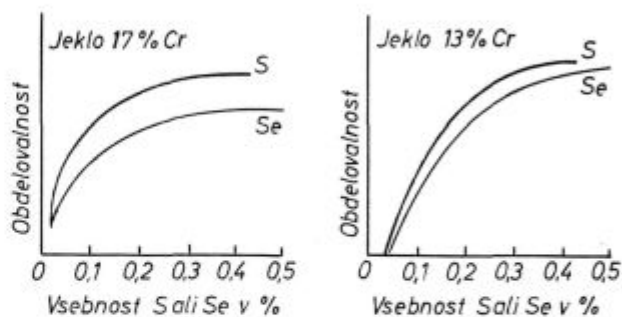
v jeklih, pri katerih Al ni bil dodan. Pri teh jeklih nizka vsebnost Si pogojuje tvorbo kromovega tipa oksidnih vključkov, kar zmanjšuje obdelovalnost jekla.

Rezultati preiskave obdelovalnosti na sl. 6 kažejo, da je v nerjavečih jeklih za obdelavo na avtomatih zaželjena višja vsebnost Si, kar je ravno nasprotno kot pri ogljikovih jeklih za obdelavo na avtomatih.

3. KROMOVA NERJAVEČA JEKLA ZA OBDELAVO NA AVTOMATIH

Obdelovalnost kromovih nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih je odvisna od kemične sestave ter načina predelave jekla. Ugotovljeni so bili naslednji vplivi kemične sestave in predelave na obdelovalnost jekla:

a) Obdelovalnost jekla narašča z večanjem vsebnosti žvepla ali selena do vsebnosti 0,35%. Nad to mejo povečana vsebnost avtomatskih dodatkov nima močnejšega vpliva, le oblika ostružkov je ugodnejša. Žveplo je bolj učinkovito v povečanju obdelovalnosti kot selen (slika 7).

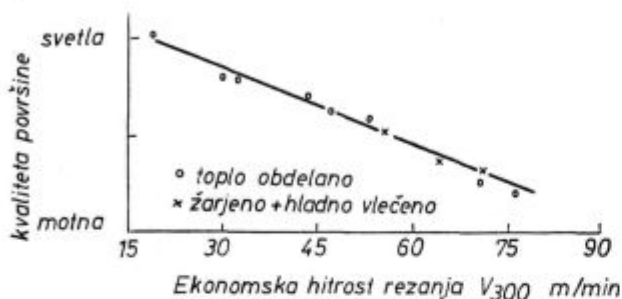


Slika 7

Vpliv avtomatskih dodatkov S in Se na obdelovalnost kromovih nerjavečih jekel

Zaradi povišane vsebnosti avtomatskih dodatkov se površina obdelovancev ne poslabša. Pokazalo se je tudi, da povišana vsebnost fosforja in svinca pri teh jeklih nima večjega vpliva na obdelovalnost.

b) Poleg vsebnosti avtomatskih dodatkov ima na obdelovalnost kromovih jekel največji vpliv trdota jekla. Na splošno velja, da dobimo pri rezanju jekla z nizko trdoto višjo vzdržnost rezalnih nožev, pri jeklih z visoko trdoto pa boljšo površino obdelovancev (slika 8).



Slika 8
Soodvisnost osnovnih kriterijev obdelovalnosti kromovih jekel za obdelavo na avtomatih

Vzdržnost rezalnih nožev in kvaliteta površine obdelovancev sta si torej pri kromovih jeklih za obdelavo na avtomatih nasprotujoči si zahtevi. V konkretnem primeru uporabe teh jekel je potreben kompromis med zaželeno kvaliteto površine ter optimalno vzdržnostjo rezalnih nožev.

Kako dosežemo zaželeno trdoto, ali s hladno predelavo ali pa s poboljšanjem, je za obdelovalnost vseeno. Navadno imajo kromova jekla za obdelavo na avtomatih trdoto HB 180... 240 kp/mm², če pa je zahteva po dobri kvaliteti površine obdelovancev prevladujoča, pa trdoto HB 220... 310 kp/mm².

Z ozirom na vsebnost ogljika in kroma v teh jeklih ločimo dva tipa kromovih jekel za obdelavo na avtomatih: feritna in martenzitna.

3.1 Feritna nerjaveča jekla za obdelavo na avtomatih

Ta jekla so avtomatska varianta nerjavečega jekla z vsebnostjo 16...18 % Cr. Imajo feritno strukturo z enakomerno vloženi sulfidnimi ali selenidnimi vključki. So magnetna v vseh stanjih in jih s toplotno obdelavo ni mogoče utrditi.

Od vseh standardnih vrst nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih ima ta tip jekel najboljšo obdelovalnost.

Kljub visoki vsebnosti avtomatskih dodatkov ima feritno nerjaveče jeklo za obdelavo na avtomatih dobro korozijsko obstojnost in ga lahko uporabljamo povsod tam, kjer je zaželeno odpornost jekla pred vplivom atmosferilij, predvsem pa v industriji precizne mehanike.

Železarna Jesenice ima v svojem rednem proizvodnem programu iz te grupe jeklo Č 4790 z avtomatskim dodatkom S. Značilna kemična analiza te vrste jekla je naslednja:

0.08 % C 0.56 % Si 1.02 % Mn 0.019 % P
0.326 % S 16.62 % Cr 0.32 % Ni 0.23 % Mo

Reprezentativne mehanske lastnosti za palično jeklo (\varnothing 25.4 mm) v žarjenem ter žarjenem + hladno vlečenem stanju so podane v tabeli 2.

Tabela 2 — Mehanske lastnosti jekla Č 4790

Stanje	σ_m kp/mm ²	$\sigma_{0.2}$ kp/mm ²	δ_5 %	ψ %	Trdota HB kp/mm ²
žarjeno	56	39	30	65	155
žarjeno + hl. vlečeno	63	56	15	55	190

Orientacijske, ekonomske hitrosti rezanja za posamezne vrste obdelave z odrezovanjem so podane v tabeli 3. Za primerjavo so podane vrednosti tudi za feritno nerjaveča jekla brez avtomatskih dodatkov.

Tabela 3 — Hitrosti rezanja feritnih jekel

Vrsta obdelave	podajanje mm/obr.	hitrost rezanja (m/min)	
		feritno jeklo	feritno avtomat. jeklo
struženje	0.08/0.3	27...33	37...50
frezanje	0.08/0.2	23...35	37...45
povrtavanje	0.08/0.2	5.5...20	10...40
vrtanje	0.05/0.2	12...25	23...48
rezanje navojev		3.5...6.5	3.5...8.5

Navedene vrednosti veljajo za rezalne nože iz brzoreznega jekla; če pa se uporabljajo noži iz karbidnih trdnin, je navedene hitrosti mogoče povečati min. za 15 %. Rezalni noži morajo biti nabrušeni v skladu s splošnimi zahtevami, ki veljajo za rezanje nerjavečih jekel.

3.2 Martenzitna nerjaveča jekla za obdelavo na avtomatih

Jekla spadajo v grupo martenzitnih nerjavečih jekel z vsebnostjo 12...14 % Cr. So magnetna v vseh stanjih in jih je mogoče s toplotno obdelavo utrditi. Uporabljajo se povsod tam, kjer je zaželeno visoka trdota, dobra obdelovalnost in nerjavost jekla. Tipična področja uporabnosti martenzitnih nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih so: matice, vijaki, zobate letve, deli črpalk, deli za ventile in podobno.

Zaradi avtomatskih dodatkov imajo ta jekla slabšo korozijsko obstojnost kot enaka martenzitna jekla brez avtomatskih dodatkov. Široko postavljene meje za kemično analizo jekla ter sposobnost jekla za poboljšanje omogočajo izde-

lavo velikega števila različnih modifikacij te vrste jekla, s čimer v praksi dosežemo optimalno obnašanje jekla v specifičnih pogojih uporabe.

Značilnosti posameznih modifikacij so naslednje:

3.21 Obdelovalno jeklo

To jeklo je osnova vseh ostalih modifikacij. Značilna kemična analiza jekla je naslednja: 0.12 % C, 0.50 % Si, 0.97 % Mn, 0.028 % P, 0.276 % S, 0.10 % Cu, 0.29 % Ni, 12.40 % Cr, 0.20 % Mo.

Reprezentativne lastosti standardne modifikacije v žarjenem stanju so naslednje:

$$\sigma_v = 53 \text{ kp/mm}^2 \quad \sigma_{02} = 28 \text{ kp/mm}^2 \quad \delta_5 = 30 \% \\ \psi = 60 \%$$

Zaradi dobre sinteze obdelovalnosti in sposobnosti jekla za poboljšanje ima ta modifikacija največjo uporabnost in lahko zadovolji povpraševanju po tej vrsti jekla. Obdelovalnost jekla je zelo dobra, saj znaša 80 % obdelovalnosti nizko ogljičnih jekel za obdelavo na avtomatih, medtem ko ima nerjaveče martenzitno jeklo z 12...14 % Cr brez avtomatskih dodatkov obdelovalnost le 60 %.

Sposobnost jekla za predelavo s hladnim preoblikovanjem je slaba. Jeklo je pri preoblikovanju nagnjeno k cepljenju, zato v ta namen ni uporabno.

Orientacijske ekonomske hitrosti rezanja so za posamezne vrste obdelave podane v tabeli 4.

Tabela 4 — Hitrosti rezanja martenzitnih jekel

Vrsta obdelave	Podajanje mm/obr.	Hitrost rezanja mart. jeklo	(m/min) mart. avtom. jeklo
struženje	0.08—0.3	24—33	30—45
frezanje	0.08—0.2	21—31	30—38
povrtavanje	0.08—0.2	6—18	9—36
vrtanje	0.05—0.2	10—22	21—33
rezanje navojev		3—6	3—8

Jeklo, poboljšano na 30—36 Rc, se obdeluje pri cca 20 % manjših hitrostih. Navedene vrednosti veljajo za nože iz brzoreznega jekla.

3.22 Super-obdelovalno jeklo

Osnovna zahteva pri tej modifikaciji martenzitnih nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih je čimboljša obdelovalnost jekla. Ukrepi, ki so prispevali k povišanju obdelovalnosti, so naslednji:

— povišana vsebnost S (nekateri dodajajo tudi Pb)

— povišana vsebnost Mn

— znižana vsebnost C

— ostra kontrola proizvodnega procesa izdelave in predelave jekla.

S temi ukrepi so bile dosežene zaželene kemične in fizikalne karakteristike nemetalnih vključkov ter povišana vsebnost ferita v mikrostrukturi jekla.

Značilna kemična analiza te vrste jekla je naslednja:

$$0.09 \% \text{ C}, 0.48 \% \text{ Si}, 1.68 \% \text{ Mn}, 0.012 \% \text{ P} \\ 0.427 \% \text{ S}, 14.1 \% \text{ Cr}, 0.13 \% \text{ Ni}, 0.44 \% \text{ Mo}.$$

Jekla ni mogoče poboljšati, preoblikovalnost jekla je slaba, ker je jeklo močno nagnjeno k cepljenju.

Najboljšo obdelovalnost ima jeklo v območju HB 180...220 kp/mm² (cca 25 % boljšo obdelovalnost od standardne modifikacije). Jeklo je obstojno na zraku, v sveži vodi, jamski vodi, pari, ogljikovi kislini, bencinu, nafti, krvi, alkoholu, milu, znoju, raztopini sladkorja in v večini sadnih sokov. Pri tem je zaželena sijajna površina. Priporoča se pasivizacija. Jeklo se lahko uporablja do temp. max. 650° C.

3.23 Kovno jeklo

V primerih, kjer se strojni deli oblikujejo najprej z grobim kovanjem, potem pa z obdelavo z odrezovanjem, je potrebno uporabiti t. z. kovno jeklo, ki združuje v sebi dobre sposobnosti za kovanje in odrezovanje. Zaželene lastnosti dobi jeklo z urejeno kemično sestavo, kar daje manjšo vsebnost sulfidnih vključkov in manjšo vsebnost ferita, in zelo čisto prvišno.

Na račun nekaj slabše obdelovalnosti se zelo zmanjša cepljenje pri kovanju.

S poboljšanjem je mogoče utrditi tako jeklo na 39 Rc min.

3.24 Jeklo z dobro prekaljivostjo

Mnogi potrošniki zahtevajo večjo sposobnost nerjavečega jekla za obdelavo na avtomatih za utrjevanje s poboljšanjem. V ta namen je bila razvita posebna modifikacija martenzitnega jekla za obdelavo na avtomatih z višjo vsebnostjo C. Jeklo ima relativno dobro obdelovalnost ter slabo sposobnost za preoblikovanje.

S poboljšanjem se doseže trdota 39 Rc min. Tipična uporaba te vrste jekla so zobate letve.

3.25 Jeklo za hladno preoblikovanje

V zadnjem času so razvili tudi martenzitno nerjaveče jeklo za obdelavo na avtomatih, ki ga odlikuje dobra sposobnost za preoblikovanje v hladnem ob zadovoljivi obdelovalnosti. Kot avtomatski dodatek se v tem primeru uporablja Se.

Značilnosti glavnih modifikacij martenzitnega nerjavečega jekla za obdelavo na avtomatih so zbrane na sl. 9

	Obdelav. jeklo	Super obdelavno jeklo	Kovno jeklo	Dobro prekalj. jeklo	Jeklo za hladno preoblik.
Avtomatski dodatek	max. 0,300% S	max. 0,350% S	max. 0,200% S	max. 0,250% S	min. 0,150% Se
Obdeloval.	zelo dobra	odlična	nizka	dobra	nizka
Prekaljivost	35 Rc min	relat. slaba	39 Rc min	39 Rc min.	35 Rc min.
Kovnost	slaba	zelo slaba	dobra	slaba	dobra
Preoblikov. v hladnem	slaba	zelo slaba	slabša	slaba	dobra

Slika 9

Značilnosti glavnih modifikacij martenzitnega nerjavečega jekla za obdelavo na avtomatih.

4. KROM-NIKLJEVA NERJAVEČA JEKLA ZA OBDELAVO NA AVTOMATIH

Krom-nikljeva nerjaveča jekla za obdelavo na avtomatih so izvedena iz standardnega ksilinoodpornega jekla tipa 18/8 (Č 4571). V gašenem stanju imajo avstenitno strukturo in so magnetna. Običajno se za povišanje obdelavnosti dodaja žveplo, v nekaterih primerih pa tudi Se in celo Pb.

Preiskave obdelovalnosti so pokazale, da dosežemo zaželeni nivo obdelovalnosti že pri 0.150 % S ter da ob vsebnosti 0.250 % S obdelovalnost jekla bistveno ne narašča. Tak potek krivulje je izrednega pomena za dobro korozijsko obstojnost jekla, saj vemo, da se le-ta slabša z naraščanjem vsebnosti žvepla v jeklu. V tem območju dosežemo (sl. 10) tudi enakomerno obdelovalnost različnih talin te vrste jekla.

Preiskave korozijske obstojnosti so pokazale, da je korozijska obstojnost avstenitnega nerjavečega jekla za obdelavo na avtomatih z vsebnostjo

žvepla v območju 0.150...0.200 % le rahlo nižja, v večini korozijskih medijev pa enaka kot pri jeklih z normalno vsebnostjo žvepla.

Škodljivi vpliv žvepla na korozijsko obstojnost smo opazili predvsem v medijih, kjer je prisoten Cl ion, ter pri luženju v oksalni in žvepleni kislini.

Jekla se navadno dobavljajo v gašenem stanju, luščenem ali brušenem, kajti pokazalo se je, da hladna predelava z vlečenjem nima vpliva na obdelovalnost te vrste jekla.

Značilna kemična sestava avstenitnega nerjavečega jekla za obdelavo na avtomatih — oznaka Č 4590 — je naslednja:

0.10 % C, 0.42 % Si, 1.20 % Mn, 0.030 % P, 0.233 % S, 17.6 % Cr, 9.3 % Ni, 0.31 % Mn.

Reprezentativne mehanske lastnosti jekla v gašenem stanju so naslednje:

$\sigma_m = 63 \text{ kp/mm}^2$, $\sigma_{02} = 25 \text{ kp/mm}^2$, $\delta_5 = 50 \%$, $\psi = 55 \%$.

Orientacijske ekonomske hitrosti rezanja za posamezne vrste obdelave jekla (z brzoreznimi noži) so podane v tabeli 5, za primerjavo so podane tudi vrednosti za avstenitno nerjaveče jeklo brez avtomatskih dodatkov.

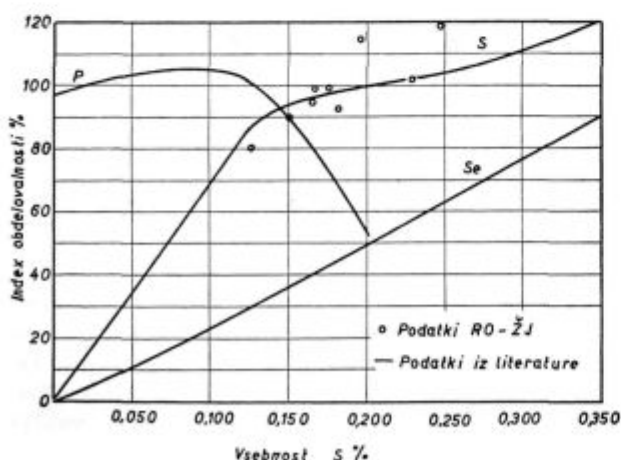
Tabela 5 — Hitrosti rezanja avstenitnih jekel

Vrsta obdelave	Podajanje mm/obr.	Hitrost rezanja m/min	
		avsten. jeklo	avsten. avt. jeklo
struženje	0.08/0.3	18...27	27...39
frezanje	0.08/0.2	10...20	23...33
povrtanje	0.08/0.2	6...18	9...30
vrtanje	0.05/0.2	4.5...12	11...26
rez. navojev		3...6	3...8

Če zamenjamo žveplo s selenom, dobimo modifikacijo jekla s selenom, ki ima rahlo nižjo obdelovalnost kot jeklo z žveplom, zato pa enako korozijsko obstojnost in preoblikovalnost kot Cr-Ni nerjaveče jeklo brez avtomatskih dodatkov. Kljub drugačnemu poteku krivulje za Se, se vsebnost Se v teh jeklih giblje v istih mejah kot vsebnost S.

Nadaljnje povečanje obdelovalnosti avstenitnih nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih gre na račun občutnega poslabšanja korozijske obstojnosti ter plastičnosti jekla. Povečanje obdelovalnosti dosežemo s povečanjem vsebnosti žvepla in fosforja ter z dodatkom svinca. Izdelava ter predelava te superobdelovalne modifikacije jekla je povezana z velikimi težavami, zato je cena teh jekel zelo visoka.

Modifikacije avstenitnih nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih s Se ter visokim S in Pb pri nas niso osvojene. Izvršeni so bili le laboratorijski preizkusi.



Slika 10

Vpliv S, Se in P na obdelovalnost avstenitnega jekla za obdelavo na avtomatih.

ZAKLJUČEK

Smisel razvoja avtomatskih nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih je v tem, da se s poboljšanjem obdelovalnosti sicer slabo obdelovalnih nerjavečih jekel poceni obdelava strojnih delov, ki morajo biti zaradi zahtev po dobri korozijski obstojnosti iz nerjavečega jekla.

Avtomatske variante so bile razvite v vsaki grupi nerjavečih jekel in imamo tako Cr-Ni avstenitna ter Cr feritna in martenzitna nerjaveča jekla za obdelavo na avtomatih.

Pri osvajanju proizvodnje in kvalitete nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih v Železarni Jesenice smo se naslanjali predvsem na dosegljive podatke iz ameriške literature.

V industrijskem merilu so osvojeni vsi osnovni tipi nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih.

Domača industrija troši zaenkrat relativno male količine teh jekel, kar je predvsem posledica slabo obdelanega marketinga.

Nerjaveča jekla za obdelavo na avtomatih so sestavni del velike družine nerjavečih jekel in v precejšnji meri razširjajo območje uporabnosti le-teh.

Osvajanje vseh treh osnovnih vrst nerjavečih jekel za obdelavo na avtomatih je bilo torej utemeljeno in potrebno.

Literatura

1. W. C. Clark: Which free machining Stainless? Metalworking Production, May 27, September 9, 1964.
2. S. E. Tyson: Improved processing with free-machining Stainless, Metal Progress, november 1964.
3. D. M. Blott: Machining of Stainless Steel, Metal Progress, august 1967.
4. H. W. Garwin: Metallurgical factors affecting the machining of a free-machining Stainless Steel.
5. Machining Estimating Manual for Stainless Steels — Joslyn Stainless Steels.
6. Notebook on machining Stainless Steels — The Carpenter Steel Company.

ZUSAMMENFASSUNG

Der allgemeine Fortschritt in der Maschinenindustrie fördert, auf dem Gebiet rostbeständigen, schlechtbearbeitbaren Stähle die Entwicklung solcher Sorten dieser Stähle, welche die Produktionskapazitäten der Werkzeugmaschinen befriedigen können. In der letzten Zeit wurde auf diesem Gebiet ein grosser Fortschritt gemacht. Von den üblichen Sorten der rostbeständigen Stähle wurden rostbeständige Automatenstähle entwickelt, die auch den anspruchsvollen Verbraucher befriedigen können.

Durch gewisse Legierungszusätze wie Schwefel, Selen und andere werden ganz besondere chemische und physikalische Eigenschaften der nichtmetallischen Einschlüsse erzielt.

Einen starken Einfluss auf die Bearbeitbarkeit des Enderzeugnisses hat auch das Herstellungsverfahren welches abhängig von der Stahlsorte die beste Bearbeitbarkeit bestimmt.

Die Korrosionsbeständigkeit der rostbeständigen Automatenstähle ist von der üblichen Sorten wegen der Automatenzusätze etwas geringer.

Es ist ein Überblick über das gesamte Gebiet der rostbeständigen Stähle mit der Betonung der Entwicklung im Hüttenwerk Jesenice gegeben. Diese Arbeit soll der Erkenntnis dieser Stähle dienen damit sie durch die richtige Auswahl der rostbeständigen Automatenstähle auch die beste Ökonomie der Zerspanbarkeit erreichen.

SUMMARY

General progress in mechanical engineering demands in the field of badly machinable stainless steels development of such steels which will satisfy output capacities of machine tools.

In the recent time a great progress was achieved in this field. From ordinary stainless steels stainless machine-steels were developed, which satisfy even the most exacting customers.

By certain alloying elements as sulphur, selenium, and others special chemical and physical properties of non-metallic inclusions are achieved.

Also way of steel manufacturing what depending on the steel type determines the best machinability has thus a great influence on the machinability of the final product.

Corrosion resistance of stainless machine-steels is somewhat smaller than that of ordinary types due to additions for achieving good machinability.

Review of the total region of stainless steels is given, stressing the development in Jesenice Ironworks. This work should help the knowledge of steels so that the correct choice of stainless machine-steels will give also the best economy of machining.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Общий прогресс в машиностроительной промышленности требует в области нержавеющей тяжело обрабатываемой стали развитие таких сортов стали которые удовлетворяют возможностям металлообрабатывающих машин. В настоящее время в этой области сделан большой шаг вперед. Из обыкновенных сортов нержавеющей стали выработаны сорта автоматической нержавеющей стали которые удовлетворяют самым высоким требованиям потребителя. Легированием с серой, селеном и некоторыми другими средствами удалось резко изменить физические и химические свойства немаetalлических включений. Большое влияние на

обрабатываемость конечного изделия имеет также способ выработки стали. Но коррозионная устойчивость нержавеющей автоматической стали вследствие добавок несколько ниже в сравнении с обыкновенными сортами.

В статье приведен обзор через всю область сортов нержавеющей стали в особенности развития этих сортов в металлургическом заводе Jesenice (Югославия). Цель статьи осведомить о этих сортах стали с правильным выбором которых можно почувствовать также наиболее лучшую экономичность при обработке.

Vsebina IV. letnika

Pribyl Robert — Linz, Austrija	Stran	Vodopivec Franc — Metalurški inštitut	Stran
Nova vrsta valjev za valjanje aluminija in cinka	1	Nekateri primeri preiskav z elektronskim mikroanalizatorjem na metalurškem inštitutu v Ljubljani	153
Pribyl Robert — Linz, Austrija		Kvader Aleksander — Metalurški inštitut	
Nova vrsta valjev za valjanje aluminija	9	Preizkušanje predelavnosti jekla v vročem	167
Rodič Jože — Železarna Ravne		Kosec H., F. Vodopivec, R. Brifah — Metalurški inštitut	
Kaljivost jekel osnova za boljšo ekonomiko, pravilnejšo in lažjo izbiro jekel	15	Primeri iz dela metalografskega laboratorija	179
Šegel Jože — Železaran Ravne		Šipek Mitja — Železarna Ravne	
Vpliv toplotne obdelave na žilavost brzoreznih jekel	39	Magnetografija v metalurški praksi	189
Černe Franc — Železarna Ravne		Šegel Antonija — Železarna Ravne	
Meroobstojnost nekaterih orodnih jekel	51	Korozija jekel	201
Goršek Martin — Železarna Štore		Perman J., E. Perman — Železarna Ravne	
Raziskave vplivov na dimenzije in druge lastnosti ulitkov iz nodularne litine	61	Verhovnik S. — Zavod za zdravstveno varstvo Maribor	
Dobovišek Bogomir — Metalurški inštitut		Onečiščenje atmosfere v meziški dolini	209
Študij razkroja CO med redukcijo železovih oksidov z njim	69	Muster Jože — Metalurški inštitut	
Kejžar Rajko — Železarna Jesenice		Uporaba kemično vezanih mas za žlebove jeklarskih peči	219
Uporabnost korundnih nabijalnih mas in korundnih mas za vroča popravila pri obzidavi in oblaganju metalurških peči	81	Dobivšek M., A. Rodič, V. Macur — Železarna Ravne	
Kovačič Slavko, Kovačič Ivo — Železarna Sisak		Izboljšanje velikosti avstenitnega zrna in čistost jekla za cementacijo	225
Poskusi izdelave močno bazičnega Sintra	99	Prešeren Alojz — Metalurški inštitut	
Rodič Alenka — Železarna Ravne		Uvajanje vakuumske metalurgije	247
Določevanje globine razogljichenja pri različnih vrstah jekla	105	Arh Joža — Železarna Jesenice	
Kimoto So — Jeol Co. Tokyo, Japonska		Vodopivec Franc, Metalurški inštitut	
O rastrski elektronski mikroskopiji in rentgenski mikroanalizi	121	Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljčnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika — 1. del	259
Stocca Bogdan — Železarna Jesenice		Vodopivec, Osojnik — Metalurški inštitut	
Kovinska prevleka s cinkom	133	Joža Arh, Železarna Jesenice	
Jezeršek Aleksander — Železarna Jesenice		Zveza med preoblikovalnostjo nizkoogljčnih jekel in vsebnostjo aluminija in dušika — 2. del	265
Problematičnost določevanje nastopanja delta ferita v avstenitnih nerjavih jeklih	145	Razinger Anton — Železarna Jesenice	
		Nerjaveča jekla za obdelavo na avtomatih	271

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Clani: Jože Rodič, dipl. inž.,
Janez Barborič, dipl. inž., Aleksander Kveder, dipl. inž., Edo Žagar,
tehnični urednik. — Tisk: ČP »Gorenjski tisk«, Kranj