

STANJE IN RAZVOJ VAKUUMSKE IZDELAVE JEKLA

Dr. Vasilij Prešern, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije (IKMT), 61001 Ljubljana, Lepi pot 11

UVOD

Razvoj in uporaba različnih modernih postopkov vakuumske obdelave jekla je osnova za izdelavo najbolj kakovostnih jekel. Hkrati pa kažejo prognoze najpomembnejših svetovnih institucij za analize jeklarskih trendov (Battelle, Komisija za jeklo-OZN), da bo z intenzivnim raziskovanjem in razvojem na tem področju v bodoče mogoče ustvariti tako izpopolnjene tehnologije ("advanced technologies"), da bo možna izdelava novih izredno kakovostnih materialov /1/.

V bodočnosti bo jeklo nedvomno še vedno ostalo daleč najbolj razširjen material v svetu, kajti poleg ogromnega doseganega razvoja so še vedno tako rekoč neomejene možnosti za kakovostne izboljšave. Sodobne tehnologije na osnovi vakuumskih procesov imajo zato pri razvoju novih kakovostnih jekel predvsem nalogo še zmanjšati vključke, neželene elemente in segregacije.

Inovativne jeklarske tehnologije z različnimi vakuumskimi postopki bodo srce izdelave kakovostnih jekel v 21. stoletju. Izboljšave bodo tako na izdelkih kot tehnologijah: izdelovali naj bi sodobne kakovostne materiale s fleksibilnimi "advanced" tehnologijami.

Razvoj novih kakovostnih jekel s posebnimi lastnostmi bo zahteval, da se zagotovi superiornost jekla na področjih uporabe, kjer prihaja do tekmovanja oz. konkurence neželeznih materialov, kot sta aluminij in plastika.

Še pred nekaj leti je bilo dokaj razširjeno mnenje o jeklarstvu kot o zahajajoči industriji, če pa si danes predstavljamo vse resnične razvojne možnosti novih in izpopolnjenih tehnologij (kjer ima vakuum vsekakor posebno mesto), pa verjamemo, da smo na začetku druge "železne dobe".

Koncept moderne izdelave kakovostnih jekel predstavlja kombinacija primarnega talilnega agregata (ki je lahko električna obločna peč za kvalitetnejša jekla ali pa konvertor za masovna in nizko legirana jekla) in postopkov obdelave jekla v ponvi. Visoko čistost jekel in odlične mehanske ter druge lastnosti kakovostnih jekel lahko zagotovimo samo, če primarnemu talilnemu agregatu dodamo vakuumske rafinacijske postopke (kot RH, DH, RHO, RHOB, VOD, VAD). Razvoj v vakuumu izdelanih kakovostnih jekel gre v smeri specialnih jekel s posebnimi ali novimi lastnostmi (mehanske, termične lastnosti, kemično biomehanske, električne in magnetne...) in cele vrste drugih konstrukcijskih in posebnih vrst jekla.

V bodočnosti bodo na voljo različne proizvodne poti, ki bodo vsebovale veliko število različic znanih vakuumskih postopkov. Že danes opažamo, da

različne jeklarne razvijajo svoje kompleksne tehnološko-proizvodne poti za zagotavljanje nekaterih zelo definiranih lastnosti. Pri tem gre večinoma za modifikacije in večje ali manjše izpopolnitve osnovnih tehnologij - večinoma imajo taki postopki tudi svoja komercialna imena. Da bi lahko primerno in fleksibilno delovali v nekih nacionalnih in lokalnih razmerah, da bi se lahko prilagajali tržnim situacijam in razpoložljivim surovinam, pa bo seveda potrebna optimalna kombinacija procesov.

DOSEDANJI RAZVOJ

Uvedba postopkov vakuumiranja jekla v industrijskih razmerah je bila posledica zahtev za zmanjšanje vsebnosti vodika v velikih kovaških blokih, da se prepreči kosmičenje. Z razvojem in optimizacijo postopkov pa imajo danes v moderni metalurgiji vakuumski procesi naslednje najbistvenejše prednosti:

- zmanjšanje v jeklu raztopljenega atomarnega vodika in dušika
- zmanjšanje vsebnosti raztopljenega kisika s tvorbo CO
- razogljichenje nelegiranih in legiranih jekel pod 0.005 % ogljika
- razžveplanje z intenzivnim premešavanjem jekla in žindre
- zmanjšanje vsebnosti vključkov v jeklu zaradi vakuumske dezoksidacije in intenzivnega premešavanja
- legiranje in dolegiranje
- temperaturna kontrola
- homogenizacija in zagotavljanje natančne kemijske sestave jekla zaradi intenzivnega premešavanja v vakuumu.

Homogenizacija in natančno doseganje predpisane kemijske sestave jekla in livnih temperatur je pomembno ne le zaradi zagotavljanja kvalitetnih razmer, temveč tudi za stabilizacijo vakuumskih rafinacijskih postopkov in za zagotavljanje uspešnega in nemotenega odlivanja jekla (kar je pomembno predvsem za postopke kontinuirnega odlivanja jekel).

Največja prednost vakuumske metalurgije je v tem, da dosežemo v vakuumu termodinamične pogoje, ki omogočajo optimalni potek želenih metalurških reakcij. To vodi do boljše kvalitete jekla, bistveno pa se lahko izboljša tudi ekonomika postopkov (n.pr. visok izplen dragih legirnih elementov, kot je Cr, možnost uporabe cenejših ferozlitin, kot n. pr. FeCr_{carbure} namesto FeCr_{surraff}, večja produktivnost zaradi krajšega "tap-to tap" časa v osnovnem agregatu, boljša izkoriščenost transformatorjev v električnih obločnih pečeh itd.).

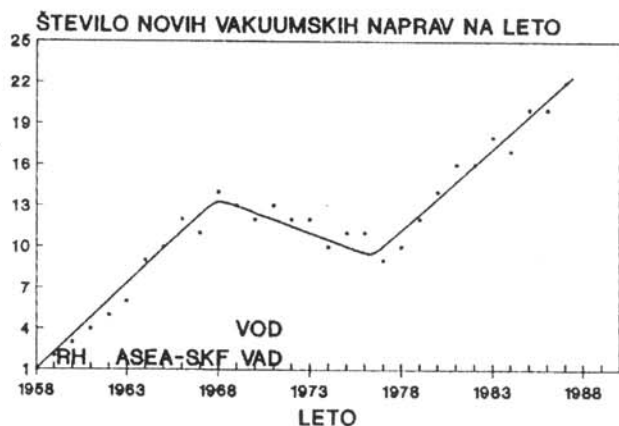
Moderni postopki t.i. ponovčne metalurgije segajo nazaj v 60. in 70. leta. Z naraščajočimi zahtevami po večji ekonomičnosti in predvsem kakovosti jekla se povečuje pomen vakuumske obdelave jekla. Danes se največ uporabljajo predvsem procesi kot RH oz. DH, novejši RH-OB in VOD ter ponovčne peči z vakuumom kot VAD oz. ASEA-SKF /2/.

Kot zanimivost naj omenimo, da imajo danes na svetu RH naprave že v več kot 130 železarnah in vakuumirajo tudi ponve z do 300 tonami jekla. Postopek se zaradi velike zanesljivosti pogosto uporablja v kombinaciji s kontinuirnim odlivanjem jekla, primeren pa je tudi za dodajanje večjih količin legirnih elementov. Variante postopka RH z vpihovanjem kisika v vakuumsko komoro so znane pod imenom RHO in RHOB postopki /3/.

Širjenje uporabe postopkov vakuumske metalurgije je razvidno iz vsakoletnih podatkov o novih napravah za vakuumsko obdelavo jekla (**slika 1**). Razvidno je, da je število novih naprav naraščalo do leta 1968, se nato umirilo in v 80-letih ponovno močno narastlo (samo japonske jeklarne imajo že več kot 100 vakuumskih naprav /7/). Rast v začetku je tipična za inovativni proces in ni bila odvisna od svetovne ekonomije in konjunktura jekla. Porast v 80. letih pa je verjetno posledica dveh glavnih razlogov /4/:

- Da bi se lažje obdržale na trgu, so jeklarne morale uvajati vakuumske naprave za povečanje produktivnosti in zmanjšanja stroškov. Da bi porabili manj materiala, zahtevajo kupci bolj kakovostna jekla.
- Vakuumski postopki omogočajo boljše povezavo med različnimi tehnološkimi fazami v peči, ponvi in pri konti odlivanju, kjer so velike zahteve po natančni analizi in temperaturni homogenosti.

Procesi rafinacije v vakuumu so odvisni od reakcij, ki so odvisne od stopnje vakuuma. Gre za odpravo vodika, dezoksidacijo, razžveplanje in razogljčenje. V odvisnosti od tlaka lahko pri različnih reakcijah dosežemo bistveno nižje vrednosti kot pri atmosferskem pritisku. To je posledica termodinamičnih zakonitosti, vendar je potreben čas, da dosežemo majhne vrednosti, določene s kinetiko masnega



Slika 1: Širjenje postopkov vakuumske metalurgije v svetu.

prenosa. Za hitro in uspešno zmanjšanje vsebnosti nekaterih elementov na želeni nivo je potrebno intenzivno premešavanje taline (z argonom ali induktivno) ter čim hitrejši znižanje parcialnega tlaka.

Razplinjevanje jekla največkrat zajema odpravo raztopljenega vodika in dušika. Predvidevamo, da dvoatomne molekule plina disociirajo na površini kovine ali reagirajo z ioni kisika na površini oksidne faze, kot je n.pr. žilindra, in se raztapljajo v talini v atomskem stanju. Zrak pri tem je glavni "dobavitelj" oz. onesnaževalec taline z dušikom. Glavni vir vodika pa je vlaga iz zraka in v različnih sredstvih, ki jih dodajamo v proces (kot apno, talila, zlitine in ognjevarni material).

Količina vodika v jeklu je po termodinamičnih zakonitostih odvisna ne samo od parcialnega tlaka vode, temveč tudi od aktivnosti kisika v jeklu. Pri nižji aktivnosti kisika in istem parcialnem tlaku vode je vsebnost vodika v jeklu večja. Pri vakuumskih postopkih vplivajo na zmanjšanje vsebnosti vodika:

- stopnja vakuuma, premešavanje z vpihovanjem argona, sestava jekla, obseg dezoksidacije pred postopkom vakuumiranja, ponoven porast vsebnosti vodika zaradi žilinder in ognjevarnega materiala med postopkom vakuumiranja in odlivanja /5/.

Za razvoj vakuumskih postopkov je zelo pomembna reakcija med ogljikom in kisikom, ki je močno odvisna od tlaka. Na tej reakciji je osnovana uporaba rafinacijskih postopkov pri razogljčenju in dezoksidaciji v vakuumu. Razogljčenje v vakuumu intenzivno poteka z lastnim kisikom do ekstremno majhnih vsebnosti ogljika (do 0.005 %).

Da bi lahko uporabili prednosti vakuumskega razogljčenja tudi v talinah z večjo vsebnostjo ogljika, so iz postopka vakuumskega razogljčenja razvili postopke z vpihovanjem kisika na površino taline pri znižanih tlakih. Take postopke so najprej razvili pri izdelavi nizkoogljčnih nerjavnih jekel, n.pr. postopki VOD, RHO in RH-OB. Zadnja dva postopka so razvili predvsem za izdelavo nizko- in srednjeogljčnih jekel v LD konvertorjih.

Dezoksidacija je najpomembnejša faza rafinacije za čistost in za kakovost izdelanega jekla. Največja prednost dezoksidacije v vakuumu je, da lahko izdelamo jeklo z majhno vsebnostjo kisika brez tvorbe vključkov. Ta fenomen uporabljamo pri izdelavi zelo čistih jekel, ko med prebodom opravimo delno preddezoksidacijo, nato pa v vakuumu dezoksidacijo in na koncu dodamo potrebni aluminij. S stalnim premešavanjem taline zagotavljamo razmere za odstranjevanje vključkov v jeklo.

Danes uporabljajo v svetu v industrijskih razmerah predvsem naslednje vakuumske postopke /6/:

- SD (Stream degassing) - vakuumsko razplinjenje med litjem iz ponve v ponvo ali iz ponve v ingot
- DH (Ladle degassing) - vakuumsko razplinjenje s premešavanjem z argonom

- RH (Ruhrstahl-Heraeus) - proces za razplinjanje kvalitetnih jekel, primeren za doseganje odzivne homogenizacije in ozkih analizičnih mej (varianete tega procesa RHO, RHOB)
- VOD (Vacuum Oxygen Decarburation) - vakuumska rafinacija jekel s končno vsebnostjo ogljika pod 0,005 %
- VAD (Vacuum Arc Degassing) - vakuumska rafinacija legiranih in visoko legiranih jekel, obločno dogrevanje pod vakuumom.

Primerjava možnosti različnih vakuumskih postopkov in drugih procesov obdelave jekla v ponvi je v tabeli 1.

Z zmanjšanjem vodika in ogljika v jeklu lahko odstranimo ali zmanjšamo žarjenje za odpravo vodika oz. ogljika. Zagotavljamo boljše mehanske lastnosti (trdnost, žilavost in varivost) zaradi čistejšega jekla. Trdnost in odpornost proti interkristalni koroziji v feritnih jeklih se izredno poveča z zmanjševanjem ogljika in dušika. Feritna nerjavna jekla so znana po odlični odpornosti proti napetostni koroziji, vendar so slabo variva - to pa lahko v veliki meri popravimo z vakuumskim razogličanjem teh jekel.

Tabela 1

TEHNOLOŠKA FAZA	V VAKUUMU		BREZ VAKUUMA	
	BREZ GRETJA RH, DH	Z GRETJEM VAD ASEA-SKF	BREZ GRETJA premešavanje, vpihovanje	Z GRETJEM LF
LEGIRANJE	*	**	*	**
KONTROLA TEMP	*	**	*	**
KONTROLA SEST	*	*	O	*
VODIK, ODPRAVA	**	**	X	X
RAZOGLJIČENJE	**	**	X	X
DUŠIK, ODPRAVA	O	*	X	X
RAZFOSFORENJE	X	O	X	O
RAŽŽVEPLANJE	O	*	*	*
DEZOKSIDACIJA	X	*	*	*

** - odlično
* - dobro
O - možno
X - nemogoče

V naslednji tabeli so zbrani vplivi obdelave jekla v vakuumu na njegove lastnosti in na sam postopek izdelave (tabela 2) /5/.

Uporaba vakuumskih tehnologij je jeklarom omogočila širitev tržišča. Tipičen primer je avtomobilska industrija, kjer razvijajo vrsto nerjavnih jekel za povečevanje življenjske dobe avtomobilov. Najnovejše smeri razvoja kažejo na hitro povečevanje uporabe teh materialov /4/.

Postopek z vpihovanjem kisika v vakuumsko posodo (VOD) je nastal iz DH postopka, ko so dodatno uvedli vpihovanje plinastega kisika in s tem zagotovili izredno zmanjšanje vsebnosti ogljika v jeklu, kar omogoča izdelavo jekel z ultra majhno vsebnostjo ogljika - zato lahko optimiziramo postopke termične obdelave (npr. bistveno skrajšanje postopka razogličanja z žarjen-

njem). Metoda vpihovanja kisika v vakuumsko posodo omogoča tudi podaljšanje časa obdelave taline, ker zgorevanje ogljika dvigne temperaturo /7/.

Tabela 2

VPLIV NA LASTNOSTI JEKLA	VPLIV VAKUUMSKE OBDELAVE	PREDNOSTI ZA PROCES IZDELAVE
Zmanjšanje notranjih napak	Odprava vodika	Boljši izkoristek ferozlitin
Razpoke in kosmičenje	Vakuum. dezoksidacija in razogličanje	Izdelava jekel z ultra nizkim C
Manj površinskih napak		
Čistejše jeklo	Zmanjšanje količine vključkov	Izdelava novih kvalitet jekel
Izboljšanje lastnosti jekla:		
Trdnost	Ozko območje predpisane kemične sestave	Stabilizacija izdelave
Obdelovalnost	Homogenizacija	
Anizotropičnost		
Homogenost	Natančno doseganje livnih temperatur	Priprava taline za konti litje

Zaradi manjšega parcialnega tlaka CO v vakuumski posodi je možno razogličanje brez istočasnega odgora drugih legiranih elementov. Premešavanje z inertnimi plini med razogličanjem omogoča odlično homogenizacijo taline in visoko razžveplanje. Postopek izdelave nerjavnega jekla ima v primerjavi s konvencionalim v električni obločni peči naslednje prednosti:

- Prihranek zaradi uporabe cenejših ferozlitin: možna je uporaba sorazmerno mnogo cenejšega FeCr_{carb} in FeNi v vložku, kar lahko pomeni do 20 % prihranka pri teh zlitinah.
- Povečanje produktivnosti: ker poteka v električni obločni peči le taljenje - razogličanje, dolegiranje in rafinacija pa v VOD ponvi, se do 100 % poveča produktivnost osnovne obločne peči, za toliko se namreč zmanjša čas od preboda do preboda).
- Prihranek pri ognjevarni obzidavi peči: z VOD postopkom se pri izdelavi nerjavnih jekel prepreči močno pregrevanje jekla, ki je pri klasičnem postopku potrebno zaradi boljšega izkoristka kroma. To pa se zrcali v daljši življenjski dobi in s tem manjši specifični porabi ognjevarnega materiala.
- Prihranek pri izkoristku legiranih elementov: pri VOD postopku razogličimo jeklo z vpihovanjem kisika v vakuumsko posodo, ki premakne CO ravnotežje k nižjim vsebnostim C in O; ker naraste temperatura do 1700°C, so izgube Cr minimalne. Računamo, da so izgube Cr v VOD do 1% v primerjavi s 4% pri klasični tehnologiji.
- Možnost izdelave novih kvalitetnih jekel: postopek VOD je omogočil izdelavo tako imenovanih super feritnih jekel z vsebnostjo kroma do 29 % in skupno vsoto C + N manj kot 150 ppm. VOD postopek omogoča tudi bistveno kvalitetnejšo izdelavo

nekaterih vrst jekel, kot n.pr. jekla za dinamo pločevino. Ta jekla naj vsebujejo čim manjšo količino ogljika, ki povzroča magnetne izgube. Zato mora biti vsebnost ogljika manjša od 0.004 %. Pri izdelavi teh jekel po VOD postopku izvedemo vakuumsko razogljíčenje pod 0,01 % pred končno dezoksidacijo in legiranjem. Kot legirni element največkrat uporabljamo silicij. Dokončno razogljíčenje dinamo jekel dosežemo s posebno termično obdelavo.

Izdelava zelo čistih jekel se je zelo uveljavila s pomočjo postopkov dogrevanja v vakuumu (VAD oz. ASEA-SKF). Z uporabo ustreznih žlinder in premešavanja taline je možno odstraniti večino kisika in žvepla. Postopek se imenuje vakuumiranje v ponvi z elektroobločnim dogrevanjem. Razvili so ga iz stacionarne degazacije v ponvi. Toplotne izgube v ponvi nadomestimo z električnim oblokom, ki se tvori med tremi elektrodami. Ogrevanje mora biti dovolj močno, da krije toplotne izgube in dogreje talino po dodajanju ferozlitin na livno temperaturo. V industrijski izvedbi poznamo danes predvsem tri različice tega procesa:

- Klasičen VAD postopek s posebno vakuumsko komoro, kamor damo ponev s tekočim jeklom. Postopek je poznan tudi kot Finkl-Mohr.
- Safe-Heurthey je izpopolnjena verzija VAD postopka, ko ni več potrebna posebna vakuumska komora, ampak imamo le pokrov, ki zapira ponev. Tako Finkl-Mohr kot Safe-Heurthey postopka imata možnost dogrevanja pri zmanjšanem tlaku (ca. 200 do 250 mbar), premešavanje pa poteka zaradi vpihovanja inertnih plinov skozi kamen na dnu ponve.
- Tretja inačica tega procesa je znana kot ASEA-SKF proces, kjer je postopek razdeljen posebej na fazo razplinjevanja in posebej na dogrevanje z indukcijskim premešavanjem taline. Za dogrevanje jekla v ponvi je potrebno toliko energije, da omogoča ogrevanje taline s hitrostjo do 5 °C/min; zaradi karakteristik obloka pa ni možno ogrevanje, če je tlak pod 200 mbar.

S primerno tehnologijo je zagotovljena skupna vsebnost kisika pod 0.010 % tudi v primeru nizkoogljíčnih jekel. Po razplinjenju pade vsebnost vodika pod 2 ppm, pri izhodnih vsebnostih žvepla 0.030 % pa so te vsebnosti po končanem postopku praviloma pod 0.010 % (z večkratnim ponavljanjem operacije razžveplanja v vakuumu pa je možno pravzaprav v celoti odpraviti žveplo - tudi do 0.001%). Izredno pomembno je natančnejše zadevanje kemijske sestave zaradi legiranja v nevtralni atmosferi. Primerjava čistosti stotih talin iz postopka Safe-Heurthey s stotimi klasično izdelanimi talinami je pokazala, da je število vključkov v jeklu, izdelanem v vakuumu, za več kot polovico manjše od tistega v konvencionalno izdelanem jeklu (33 : 100). Vključki v talinah, izdelanih v vakuumu, so tudi enakomerneje razporejeni in manjši /8/.

Z najnovejšimi tehnologijami vakuumske obdelave jekla v povezavi s kontinuirnim odlivanjem jekla lahko zagotovimo ekonomično izdelavo zelo čistega jekla z majhnimi vsebnostmi kisika (do 8 ppm) in žvepla (do

10 ppm). Za konstrukcijska jekla taka tehnologija jamči tudi enakomerno trdoto in zmanjšanje segregacij /9/.

Kot zanimivost si pogledjmo, katere kvalitete jekel danes v svetu v večji ali manjši meri izdelujejo z vakuumskimi postopki (tabela 3). Po nekaterih podatkih /6/ so v zahodnih državah leta 1979 z vakuumskimi postopki izdelali 7.5 % celotne proizvodnje jekla (ca 50 milj. ton), verjamemo pa /7/, da izdelajo danes v svetu na tak način že ca 10 - 15 % jekla, kar pomeni skoraj 100 milj. ton letno (samo Japonci "vakuumirajo" letno blizu 40 milj. ton jekla).

Tabela 3

VAKUUMSKA IZDELAVA JEKLA V LETU 1985		
VRSTA JEKLA	% IZDELAVE	UČINKI VAKUUMA
kroglični ležaji	80	znižanje vključkov in vodika
nizkolegirana jekla z visoko trdnostjo	60	znižanje vključkov in dezoksidacija
dinamo jekla	53	vakuumsko razogljíčenje, homogenizacija, natančna kemična sestava in temperatura
jekla za žice	35	zagotovitev plastičnosti vključkov
legirana konstrukcijska jekla	21	znižanje vključkov, ozke analize meje
jekla za kovanje	18	homogenost, čistost, razplinjevanje

PRIHODNOST VAKUUMSKIH POSTOPKOV

Ker dosegamo z nekaterimi vakuumskimi postopki že tako majhne vsebnosti žvepla, kisika, vodika in ogljika, da so natančne kemijske analize že zelo otežene, pričakujemo, da bo treba v bodočnosti usmeriti več navora v izboljšanje ekonomike vakuumskih procesov. Pri tem naj ponovno poudarimo, da gre pri nekaterih elementih dejansko samo še za vsebnosti nekaj ppm - to pa v bistvu pomeni takšno natančnost, kot zadeti tarčo velikosti 1 mm na razdalji 1 km.

Predvidevamo, da bo razvoj usmerjen predvsem v optimizacijo procesov: kot skrajšanje časa obdelave, optimalni izbor ognjevarnih materialov in enostavnejša oprema in predvsem zagotavljanje optimalne povezave s predhodnimi in kasnejšimi tehnološkimi procesi.

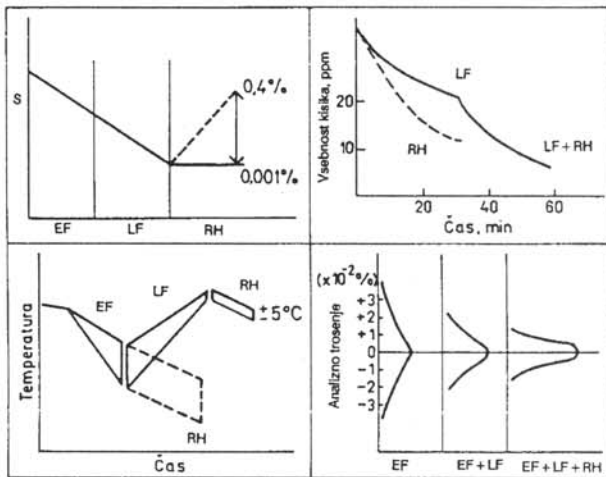
Predvidevamo, da se bo metalurgija izdelave kakovostnih jekel s pomočjo različnih vakuumskih postopkov razvijala predvsem v naslednjih smereh:

• Super čista jekla

Danes lahko predvsem zaradi ekonomskih dejavnikov znižamo vsebnost ogljika z vakuumskim razogljíčenjem na 20 do 30 ppm. Da bi odstranili vpliv še tega

ogljika, pa je potrebno dodajati drage t.i. "čistilne (scavenging)" elemente, kot npr. titan. Če bi nam uspelo izdelati jeklo z 10 ppm ogljika, ne bi več potrebovali teh dodatkov.

Kot primer najnovejših dosežkov pri izdelavi super čistih cementacijskih jekel in jekel za toplotno obdelavo s posebnimi lastnostmi so na slikah 2 in 3 nekateri rezultati iz japonskih jeklarn /9,10/.



Slika 2: Vpliv vakuuma na razne tehnološke parametre.

Na sliki 2 je prikazan vpliv znižanega tlaka na kontrolo vsebnosti žvepla od 0.001 do 0.4 %, na vsebnost kisika (pod 10 ppm), na ozko območje kontrole temperature in za zoževanje območja trosenja vsebnosti posameznih elementov. Na sliki 3 so prikazane nekatere lastnosti teh, zelo čistih jekel.

● Feritna in superferitna nerjavna jekla

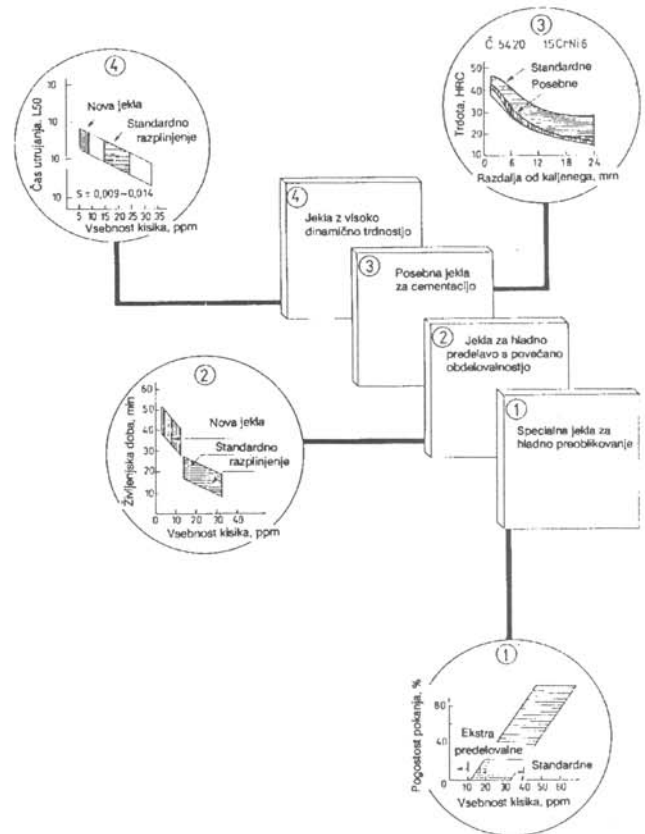
Z razvojem vakuumskih tehnologij je prišlo do dramatičnih sprememb različnih lastnosti nerjavnih jekel. Eden od najvažnejših efektov je izredno povečanje žilavosti feritnih in predvsem superferitnih jekel z odličnimi korozijskimi lastnostmi.

Mehanske lastnosti:

Navadna feritna nerjavna jekla (npr. vrste Fe-13%Cr, Fe-17%Cr) imajo v primerjavi z avstenitnimi nerjavnimi jekli mnogo večjo odpornost proti napetostnemu korozijskemu pokanju v kloridnih medijih (npr. v morski vodi), vendar jih navkljub nizki ceni (ker ne vsebujejo niklja) zaradi majhne korozijske odpornosti v kislinah in bazičnih medijih ter premajhne žilavosti, deformabilnosti in varivosti nismo mogli v polni meri uporabljati v kemični in procesni industriji.

V zadnjem času pa se uporaba feritnih in superferitnih jekel močno povečuje. Razlog je uvedba novih vakuumskih tehnologij in uporaba nekaterih znanstvenih dognanj na tem področju /4,7/:

- S hkratnim zmanjševanjem vsebnosti ogljika in dušika se izboljša žilavost in druge mehanske ter korozijske lastnosti.



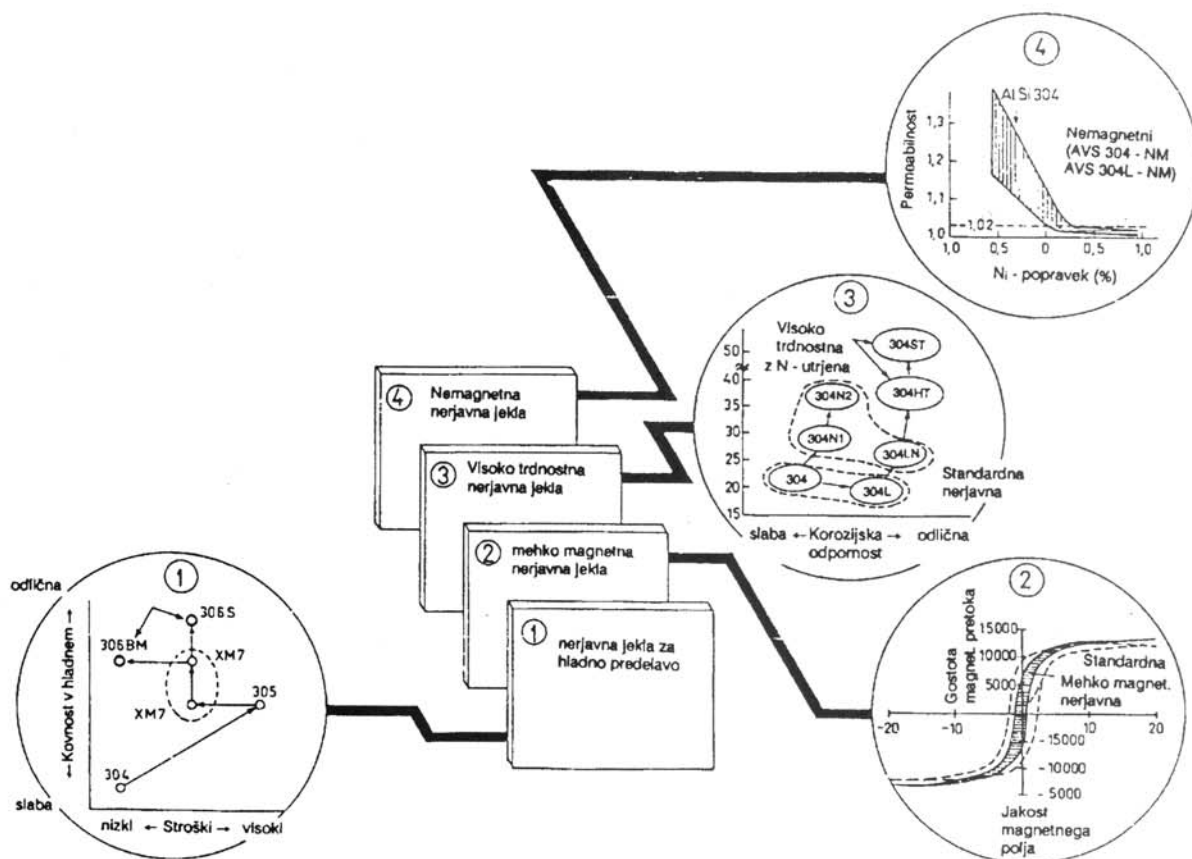
Slika 3: Nekateri lastnosti zelo čistih cementacijskih jekel iz vakuumskih postopkov.

Trdijo /11/, da interkristalna korozija v feritnih jeklih ni možna, če je v jeklu z 19% kroma skupna vsebnost ogljika in dušika največ 60-80 ppm, pri 26 % kroma je dovoljeno med 100 do 130 ppm, pri 30% kroma pa že 150 do 200 ppm ogljika in dušika. Feritna jekla z manj kot 150 ppm skupnega ogljika in dušika imenujemo superferitna jekla prav zaradi izredno dobrih korozijskih in mehanskih lastnosti.

- Če v feritna jekla dodamo molibden, dobijo le-ta podobne korozijske lastnosti v kislih in bazičnih medijih, kot jih imajo avstenitna nerjavna jekla, zadržijo pa še vedno odlično korozijsko odpornost v kloridnih medijih.
- Če ob hkratnem znižanju ogljika in dušika dodamo jeklu močne karbonitridne elemente, kot titan in niobij, lahko pospešimo precipitacijo kromovih karbonitridov na fazne meje in s tem stabiliziramo mehanske lastnosti in povečamo odpornost proti interkristalni koroziji.

● Avstenitna nerjavna jekla

Z modernimi vakuumskimi metodami je danes tudi komercialno že možno izdelovati avstenitna nerjavna jekla s 100 do 200 ppm C. Še vedno pa so ta jekla precej občutljiva na interkristalno korozijo. Za jedrske reaktorje so zato predpisane kvalitete teh jekel z višjimi vsebnostmi niklja (n.pr. tip 316 -19/14) Navadno izboljšamo korozijske lastnosti (jekel tipa 304 - 18/8) z dodatki titana in niobija, na sliki 4 pa je prikazan vpliv nekaterih najnovejših tehnologij na bistveno izboljšanje mehanskih, magnetnih in korozijskih lastnosti avstenitnih nerjavnih jekel /12/.



Slika 4: Vpliv vakuuma na nekatere lastnosti avstenitnih nerjavnih jekel.

LITERATURA:

- /1/ Holappa L.E.K.: The Sixth International Iron and Steel Congress, October 21-26, 1990, Nagoya, Japan, Vol. 3, 494-503.
- /2/ H. Maas: Proceedings of the Seventh International Conference on Vacuum Metallurgy, 1982, Tokyo, Japan, November 26-30, 890-903.
- /3/ Cotchen J.K.: Iron and Steelmaker, 15, 1988, No. 11, 52.
- /4/ Y. Adachi : Proceedings of the Sixth International Iron and Steel Congress, 1990, Nagoya, Japan, October 21-26, 248-251.
- /5/ T. Ohtake : Proceedings of the Seventh International Conference on Vacuum Metallurgy , 1982, Tokyo, Japan, November 26-30, 821-878.
- /6/ Batelle Geneva Research Centers Report : Future Development in Iron and Steel Refining 1980/1981.
- /7/ Miyashita Y., Y. Kikuchi: International Conference Secondary Metallurgy, Preprints, Aachen, FRG, September 21-23, 1987, 195-207.
- /8/ Davies I.G. et al. : Ironmaking and Steelmaking, Institute of Metals, London, Vol. 13, No. 1, 1986, 40-45.
- /9/ Eguchi M. et al. : The Sixth International Iron and Steel Congress, October 21-26, 1990, Nagoya, Japan, Vol. 3, 644-650.
- /10/ Tsubota K.: Committee on High Purity Steel, No. 13, 1987.
- /11/ Demo J.J.: Metalurgical Transactions. 5A, (1974), 2253-2259.
- /12/ Ishikawa S.: CAMP-ISIJ, Vol. 2, 1989, 237.

OBVESTILO

Naročnike Vakuumista, ki še niste poravnali naročnine za leto 1991, vljudno prosimo, da to storite čimprej. Naročnino 150,00 din nakažite na žiro račun Društva za vakuumsko tehniko Slovenije, Teslova 30, Ljubljana: 50101-678-52240.