

Raziskovalno delo na področju optimiranja proizvodnje nerjavnih, ognjeobstojnih in kemično obstojnih jekel

UDK: 669.15-194.56:669.187.2

ASM/SLA: SS, R1h, W18S

N. Smajić



V tehnološko razvitih zahodnih deželah so že v letih 1968—1970 opustili klasični postopek izdelave teh jekel v EOP in ga nadomestili s sodobnimi dupleks postopki EOP-VOD, EOP-AOD in LD-AOD. V slovenskih železarnah pa smo opustili klasični postopek šele leta 1984, ko smo začeli s poskusno proizvodnjo teh jekel po novem EOP-VOD postopku. Uspešno raziskovalno delo na področju optimiranja klasičnega postopka pa smo zaključili leta 1980 in smo ravno pravočasno, tj. že leta 1981 začeli z raziskavami, usmerjenimi na lažje uvajanje in optimiranje tega sodobnega postopka.

PREGLED DOSEDANJEGA RAZISKOVALNEGA DELA

Intenzivno raziskovalno delo na področju optimiranja proizvodnje visokolegiranih Cr in Cr-Ni nerjavnih, ognjeobstojnih in kemično obstojnih jekel z nizkim ogljikom poteka kontinuirno že od 1978. leta. V obdobju od 1978. do vključno 1980. leta smo se na Metalurškem inštitutu ukvarjali (1—3) z raziskavami na področju termodinamične analize sistema Fe-Cr-C-O in Fe-Cr-C-O-X (X=Si, Mn, Ni) v staljenem stanju, ki so imele namen izpopolnjevati klasični postopek izdelave nerjavnih jekel v naših železarnah. Leta 1981 smo začeli z raziskavami (4—6) novih, sodobnih postopkov, predvsem dupleks tehnologije EOP-VOD, da bi tako pripomogli k lažjemu osvajanju tega postopka v naših jeklarah. Obravnavali smo predvsem osnovne probleme tega postopka, to so:

- priprava taline za VOD,
- optimiranje obsega in poteka primarne oksidacije,
- optimiranje sekundarne, tj. vakuumske oksidacije,
- vpliv procesnih parametrov (intenzitete pihanja kisika, globine vakuuma, mešanja, itd.),
- vpliv začetnih pogojev, tj. temperature, mase in sestave taline,
- probleme časovnega usklajevanja dela EOP in VOD,
- probleme tehnološke usklajenosti dela EOP in VOD ter
- problem obrabe ognjeobstojne obloge VOD ponovce.

Pri tem delu smo razvili termodinamični model EOP-VOD postopka, na osnovi katerega smo nato izdelali računalniški program v HPL programskem jeziku, ki ga je razvila firma Hewlett-Packard. Program smo nato prevedli v BASIC in ga je danes mogoče neposredno uporabljati na mikračunalnikih, ki so zgrajeni na

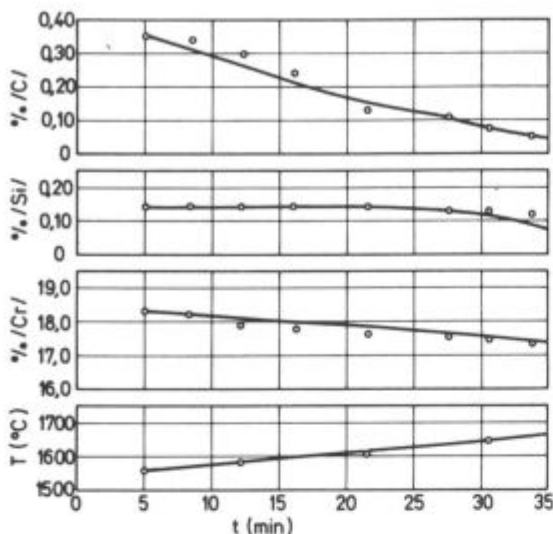
osnovi procesorja Z80 npr. Sinclair Spectrum. Za delo z mini računalniki, ki imajo BASIC prevajalnik, so potrebne manjše spremembe programa. Program zagotavlja:

- minimalno možno vsebnost Si na koncu primarne oksidacije,
- minimalno oksidacijo Cr v EOP,
- minimalno porabo reductentov za redukcijo žlindre,
- kontrolo temperature taline, tako da ne presežemo vnaprej nastavljeno vrednost in
- zmerno porabo ognjeobstojne obloge v EOP in VOD.

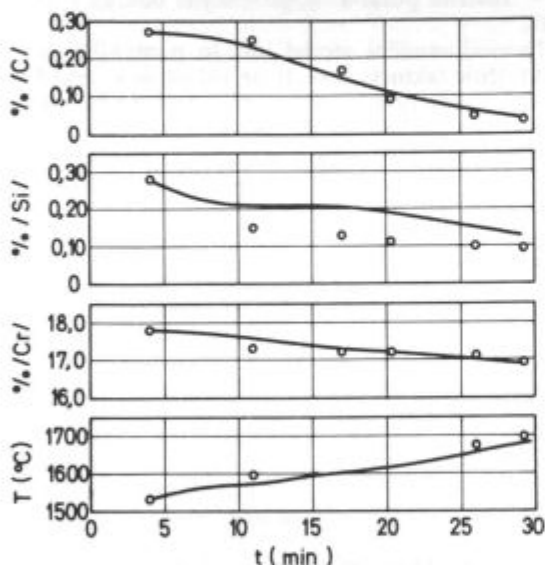
Termodinamični model ima to pomanjkljivost, da ne vključuje faktorja časa, tj. ne vključuje kinetike ter je zato statičnega tipa. Končno smo leta 1984 razvili matematični model MIS-VOD, ki vključuje tudi kinetiko. Model obravnava oksidacijsko fazo izdelave nerjavnih jekel po VOD postopku. Pred začetkom dela na razvoj modela so bile zastavljene naslednje zahteve:

- a) model mora omogočiti čimbolj popolno simulacijo dejanskega poteka vakuumske oksidacije;
- b) model mora biti izdelan tako, da omogoča izvajanje teoretičnih poskusov, tj. navidezno vodenje hipotetične šarže s poljubno izbranimi parametri začetnega stanja;
- c) model mora omogočiti analizo vpliva posameznih procesnih parametrov (intenziteta pihanja kisika, stopnja vakuuma, čas pihanja, itd.) in parametrov začetnega stanja (sestava taline, začetna temperatura, itd.) na končni rezultat, tj. na produktivnost in proizvodne stroške z namenom optimizacije proizvodnje nerjavnega jekla;
- d) model mora imeti lastnosti takoimenovanega ekspertnega sistema, tj. imeti mora vgrajeno teoretično znanje s področja metalurške termodinamike, kot tudi praktično znanje oz. izkušnje proizvajalcev nerjavnega jekla, da bi lahko pravočasno pomagal, svetoval in predlagal jeklarju — praktiku pravilne oz. optimalne ukrepe in tako omogočil »off line« vodenje procesa;
- e) V končni fazi izdelani model, kombiniran z uporabo računalnika in ustrezne avtomacijske oz. regulacijske in merilne opreme mora omogočiti računalniško t. im. »on line« vodenje procesa.

Računalniški program je izdelan v programskem jeziku BASIC. Model smo verificirali na ta način, da smo simulirali vodenje VOD oksidacije nerjavnega jekla 4 različnih šarž, za katere je bil potek oksidacije podrobno opisan v strokovni literaturi (9). Za verifikacijo modela namreč ne moremo uporabiti podatkov iz vsakdanje prakse, tj. iz šaržnih kartonov, ki vsebujejo le podatke na začetku ter na koncu vakuumske oksidacije. Še



Slika 1
Primerjava rezultatov modela (krivulje) in dejanskih rezultatov (točke) iz prakse (9) za 40-tonsko talino 18/10 z 1–1,5 % Mo.
Fig. 1
Comparison of results based on model (curve) and actual results (dots) from practice (9) for a 40 ton melt 18/10 with 1 to 1.5 % Mo.



Slika 2
Podobna primerjava za 41 tonsko talino jekla 18/9, ki je imelo napačno sestavo ob začetku vakuumiranja.
Fig. 2
Similar comparison as in Fig. 1 for a 41 ton melt of 18/9 steel which had incorrect composition at the beginning of vacuum processing.

tako dobro ujemanje končnih vrednosti namreč ne dokazuje, da model zares uspešno simulira celoten potek vakuumske oksidacije. Za zanesljivo oceno modela potrebujemo torej vmesne podatke, tj. meritve temperature in rezultate kemične analize vzorcev, vzeti npr. vsakih 5 minut med vakuumsko oksidacijo. V okviru doktorske disertacije (9) so bile izvedene take podrobne meritve. Sl. 1 kaže primerjavo rezultatov simulacije s pomočjo modela (krivulje) z dejanskimi rezultati, dose-

ženimi v Wittnu (9), ki so vrisani kot točke. Kot vidimo se rezultati modelnega poskusa presenetljivo dobro ujemajo z dejanskim potekom vakuumske oksidacije. Na sl. 2 vidimo podobno primerjavo za talino, ki je v začetku vakuumske oksidacije vsebovala 0,28 % Si in le 0,27 % C. V tem primeru je ujemanje nekoliko slabše, saj so izračunani rezultati za vmesne vsebnosti Si dosti višji. Razlika je nekoliko manjša in je na koncu oksidacije za prakso nepomembna. Seveda bo potrebno verificirati model v naših jeklarnah in ga prilagoditi različnim pogojem v Ravnah ter na Jesenicah. VOD napravi se namreč bistveno razlikujeta ne le po kapaciteti, temveč tudi v pogledu pihanja kisika in mešanja z argonom. Brez dvoma bo treba model še dodelati, vendar nam že sedaj omogoča simulacijo vodenja šarže in izvedbo modelnih poskusov, ki ustrezajo pogojem jeseniške naprave.

V zvezi z optimiranjem tehno-ekonomskih parametrov izdelave nerjavnih jekel smo raziskovali (10–14) možnosti substitucije uvoženega Ni z domačim FeNi ter uporabnost Fe koncentrata, ki je bil stranski produkt tovarne FENI – Kavadarci.

Pri tem smo z industrijskimi poskusi ugotovili in potrdili uporabnost domačega FeNi ter ga redno uporabljali v naših jeklarnah vse do ustavitve proizvodnje v Kavadarcih. Spremljali smo kvaliteto dobav, ugotovili, da je vsebnost oligoelementov minimalna, razen Co. Eden izmed rezultatov teh raziskav je tudi predlog (14), da se za izdelavo nerjavnih avstenitnih jekel 18/8 in 18/10 uporablja nizkoprocenčni FeNi (12–15 % Ni), namesto 40–45 %, ker bi s tem pri letni proizvodnji 30.000 ton teh jekel lahko prihranili od 2 do 2,5 milijona USA dolarjev! Le ena 70-tonska šarža nerjavnega jekla danes stane nekaj milijard st. din., saj je le vrednost Ni v njej okoli 30.000–35.000 USA dolarjev. Omenimo naj še predlog (13) uporabe Fe koncentrata iz stranske proizvodnje FENI-Kavadarci. Ta vir zelo čiste Fe-substance, ki bi jo bilo možno vpihovati skupaj s kisikom med vakuumsko oksidacijo nerjavnih jekel, kar bi imelo naslednje prednosti:

— dobili bi dodatno in zelo čisto Fe substanco, — dobili bi dodaten in zelo cenen vir Cr in Ni; EOP bi lahko uporabljali le za taljenje vložka, medtem ko bi celotno oksidacijo lahko izvajali v VOD napravi, ker bi vpihovanje tega koncentrata omogočilo pospešeno oksidacijo (dodatni vir kisika!), ne da bi pri tem temperatura taline presegla 1700 °C zaradi hladilnega učinka endotermnih reakcij taljenja in redukcije oksidov. Tovarna v Kavadarcih je sicer avgusta 1984 ustavila proizvodnjo, vendar je v rudnem dvoru ca. 2.000.000 ton rude in nekaj sto ton tega koncentrata. Danes imamo na razpolago domači FeNi iz poskusne proizvodnje tovarne FERONIKL-KOSOVO. Na osnovi pridobljenih izkušenj s FeNi iz Kavadarcev je potrebno spremljati kvaliteto tega FeNi, posebno glede oligoelementov. Kar zadeva Co iz FeNi, proizvedenega v Kavadarcih, smo ugotovili postopno akumulacijo Co v nerjavnih jeklih, izdelanih s tem FeNi. Raziskave vpliva Co (14) na lastnosti tako izdelanih nerjavnih jekel so pokazale, da za sedaj ni bilo opaznih škodljivih posledic na mehanske lastnosti teh jekel. Rezultati vseh omenjenih raziskav so bili v obliki člankov, posterjev in predavanj (15–31) predstavljeni domači in tuji strokovni javnosti.

Literatura

1. Smajić, N., Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-O, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 639, december 1978.

2. Smajić, N., Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-O II. del, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 743, december 1979.
3. Smajić, N., Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-O III. del, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 839, december 1980.
4. Smajić, N., Intenziviranje razogljčenja med vakuumsko oksidacijo nerjavnega jekla in vpliv na njegovo čistočo, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 81-001, december 1981.
5. Smajić, N., Intenziviranje razogljčenja med vakuumsko oksidacijo nerjavnega jekla in vpliv na njegovo čistočo, II. del, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 82-004, september 1982.
6. Smajić, N., Intenziviranje razogljčenja med vakuumsko oksidacijo nerjavnega jekla in vpliv na njegovo čistočo, III. del, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 83-002, september 1983.
7. N. Smajić, Problematika izdelave nerjavnih jekel po VOD postopku, Poročilo Met. inštituta v Ljubljani, nal. 84-006, 33 str., 1984.
8. Smajić, N., Dinamični model izdelave nerjavnih jekel po postopkih ponovne metalurgije, Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, N. 84-004, december 1984.
9. Otto, J., Dissertation, Fak. fuer Bergbau u. Huettenwesen, RWTH Aachen, Nov. 1975.
10. N. Smajić, J. Dolenc in A. Valant, Raziskave uporabnosti Fe koncentrata FENI — Kavadarci, Poročilo Met. inštituta v Ljubljani, N. 81-036, december 1981.
11. N. Smajić, Raziskava uporabnosti Fe koncentrata FENI-Kavadarci, II del, Poročilo Met. inštituta v Ljubljani, N. 964, december 1982.
12. N. Smajić, Raziskava uporabnosti Fe koncentrata FENI-Kavadarci, III del, Poročilo Met. inštituta v Ljubljani, N. 83-009, december 1983.
13. N. Smajić, M. Božikov in J. Šteblaj, Osvajanje uporabnosti domačega FeNi, Poročilo Met. inštituta v Ljubljani, N. 83-067, december 1983.
14. N. Smajić in M. Božikov, Vpliv oligoelementov v FeNi na lastnosti legiranih jekel, Poročilo Met. inštituta v Ljubljani, N. 84-012, september 1984.
15. N. Smajić, Termodinamika v proizvodnji nerjavnega jekla, Železarski zbornik, Jesenice, 1980 št. 1/2.
16. N. Smajić, Thermodynamics of Decarburization of Chromium Containing Steel Melts, Proceedings of 5th. CENIM — Madrid, October 1981.
17. N. Smajić, Termodinamične osnove proizvodnje nerjavnega jekla I. del, Železarski zbornik, Jesenice, 1983 št. 1.
18. N. Smajić, Termodinamične osnove proizvodnje nerjavnega jekla II. del, Železarski zbornik, Jesenice, 1983 št. 2.
19. N. Smajić, Optimizacija tehnologije izdelave nerjavnih, kemično obstojnih in ognje obstojnih jekel, Zbornik srečanja jeklarjev, Železarna Ravne, Ravne na Koroškem, sept. 1983.
20. N. Smajić, Termodinamična analiza sistema Fe-Cr-C-Si u staljenom stanju, Zbornik III. Jugoslovenskega simpozijuma o metalurgiji, Beograd, 18.—20. jan. 1984.
21. N. Smajić, Pomen in vloga silicija pri izdelavi nerjavnega jekla I. del, Železarski zbornik, Jesenice, 1984 št. 3, str. 75—79.
22. N. Smajić, Pomen in vloga silicija pri izdelavi nerjavnega jekla II. del, Železarski zbornik, Jesenice, 1985 št. 1.
23. N. Smajić, Optimiranje EOP-VOD postopka proizvodnje nerjavnih jekel, Železarski zbornik, Jesenice, (v tisku).
24. N. Smajić, Thermal Diffusivity of AISI 304 Steel, Proceedings of 9th ETPC, UMIST, Manchester, September 1984.
25. N. Smajić, Aplikacija termodinamičnih zakonitosti pri izdelavi nerjavnega jekla, XXVII. Posvetovanje strokovnjakov črne in barvne metalurgije ter livarstva Slovenije, Portorož 1980.
26. N. Smajić, Osnove proizvodnje nerjavnega jekla, predavanja v TOZD Jeklarna, Železarna Jesenice, februarja 1981.
27. N. Smajić, Termodinamika in ponovna metalurgija, XXIX. Posvetovanje strokovnjakov črne in barvne metalurgije ter livarstva Slovenije, Portorož 1981.
28. N. Smajić, Savremena dostignuća u proizvodnji nehrdjajućih čelika, Savetovanje čeličanaca OUCMJ, Hercegnovi, 3—5 nov. 1982.
29. N. Smajić, Pomen in vloga silicija v VOD tehnologiji, XXXII. Posvetovanje strokovnjakov črne in barvne metalurgije ter livarstva Slovenije, Portorož 1983.
30. N. Smajić, Optimierungsmöglichkeiten bei der Herstellung Rostfreie Staehle nach VOD Verfahren, I. Kolloquium Die probleme der Sekundaer-Metallurgie in der Stahlproduktion Balaton, April 1985.
31. N. Smajić, Mathematical Model for EAF-VOD Stainless Steelmaking, Proceedings of 6th CENIM, Madrid 1985.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Übersicht über die bisherige Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Optimierung des konventionellen (LBO) und des jezeitlichen Duplexverfahrens (LBO—VOD) der Produktion von nichtrostenden Stählen wird gegeben. Umfangreiche Untersuchungen, welche neben der thermodynamischen Analyse des Systems Fe—Cr—C—O—X (X=Si, Mn, Ni) im geschmolzenen Stahl, auch Versuche der Anwendbarkeit von

einheimischen FeNi so wie Untersuchungen über Einfluss von Co aus dem einheimischen FeNi auf die mechanischen Eigenschaften von nichtrostenden Stählen umfassen, sind durchgeführt worden. Diese Untersuchungen umfassen auch die Ausarbeitung des thermodynamischen und mathematischen Modelles für die Modelluntersuchungen bzw. für die Simulation des LBO—VOD Verfahrens.

SUMMARY

Review of the research till now is given for the field of optimising standard (electric arc furnace), and modern duplex (arc furnace — VOD) process of manufacturing stainless steel. Extensive investigations were made which beside the thermodynamic analysis of the Fe-Cr-C-O-X (X = Si, Mn, Ni) system in the molten state include also tests to use domestic FeNi, in-

vestigations on influence of Co from domestic FeNi on mechanical properties of stainless austenitic steel, and the making of thermodynamic and mathematical model which enables model tests, i. e. the simulation of the arc furnace — VOD process.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подан обзор до сих пор исследовательской работы в области оптимизации классического (EOP) и современного дуплекс (EOP-VOD) способов производства нержавеющей стали. Выполнены обширные исследования, которые кроме термодинамического анализа системы Fe-Cr-C-O-X (X = Si, Mn, Ni) в расплавленном состоянии содержат также опыты о употребительности домашнего FeNi — спла-

ва, о влиянии Co из домашнего FeNi — сплава на механические свойства нержавеющей аустенитных сталей, также изготовления термодинамического и математического модели, который даст возможность для выполнения модельных опытов т. е. симуляции (моделирования) EOP-VOD способа.