

Verifikacija matematičnega modela za računalniško vodenje EOP-VOD tehnologije izdelave nerjavnih jekel

UDK: 669.15—194.56:669.187.2
ASM/SLA: SS, 1—73, U4k

N. Smajić

Izvedena je kratka analiza in primerjava EOP-VOD postopka proizvodnje nerjavnih jekel v železarni Jesenice in železarni Ravne. Navedeni so delni rezultati preizkusa matematičnega modela MIS-VOD, ki omogoča uvajanje računalniško vodene EOP-VOD tehnologije izdelave nerjavnih jekel v Slovenskih železarnah.

UVOD

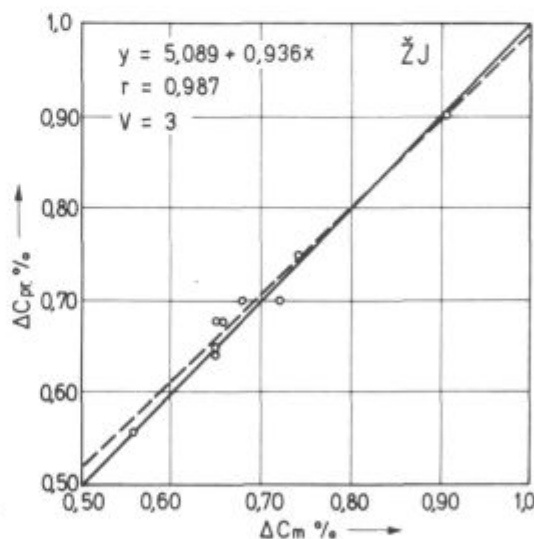
Večletne raziskave fundamentalnega značaja, ki so bile ves čas usmerjene na izboljšanje tehnološko-ekonomskih parametrov proizvodnje nerjavnega jekla v naših železarnah, so bile zaključene leta 1984 z izdelavo matematičnega modela MIS-VOD, ki je osnova za računalniško vodenje tehnologije. S tem smo dokončno ustvarili pogoje za aplikacijo termodinamičnih zakonitosti v vsakdanjo prakso z namenom optimizacije obstoječe tehnologije. Po izdelavi matematičnega modela ga je bilo treba preizkusiti ter tako ugotoviti, v kakšni meri model zadošča postavljenim zahtevam. Verifikacija in kalibracija izdelanega matematičnega modela je namreč zadnji in obenem nujni korak pred njegovo aplikacijo.

OPIS DELA IN REZULTATOV

Znano je, da so matematični modeli lahko empiričnega ali teoretičnega tipa. Modeli, teoretičnega tipa so praviloma bolj univerzalni in zato manj odvisni od specifičnosti tehnologije v posameznih jeklarnah. Ker je model MIS-VOD teoretičnega tipa, smo pričakovali, da ga bo možno uporabiti s podobnim uspehom tako v jeklarni železarne Jesenice kot v jeklarni železarne Ravne. Izdelani model temelji namreč na termodinamičnih osnovah, ki so seveda univerzalne in neodvisne od razlik v kapaciteti in konstrukcijskih karakteristikah VOD naprav.

Pred neposredno aplikacijo izdelanega modela za računalniško vodenje vakuumske oksidacije nerjavnih jekel je seveda potrebno ugotoviti, ali je potrebno kakšno prilagajanje izdelanega modela pred njegovo uporabo. Zaradi tega smo se odločili, da izvedemo t. im. modelne poskuse, tj. da simuliramo potek vakuumske oksidacije v VOD napravi za več šarž nerjavnega jekla in dobljene rezultate primerjamo z dejanskimi rezultati, ki so bili doseženi v ŽJ in ŽR, in seveda registrirani v šaržnih kartonih. Najprej smo analizirali šaržne kartone 20 šarž različnih vrst nerjavnega jekla. Potem smo simulirali potek teh šarž. Takšna a posteriori aplikacija modela nam omogoča, da ocenimo njegovo uspešnost in uporabnost v praksi. Retroaktivna aplikacija modela v obliki simulacije poteka vakuumske oksidacije 10 šarž nerjavnega jekla, ki so bile izdelane v železarni Jesenice, je dala zelo dobre rezultate. Za primer navajamo sl. 1, ki kaže primerjavo dejanskih oz. praktičnih vrednosti (indeks pr.) na ordinati z izračunanimi vrednostmi

na osnovi modela (indeks m) na apscisi za odpravljeni ogljik. Statistična analiza je pokazala, da je korelacija med praktičnimi in modelnimi rezultati zelo dobra, saj je korelacijski koeficient $r=0,987$. Regresijski koeficient bi bil v idealnem primeru popolnega ujemanja rezultatov enak 1, v našem primeru pa je 0,936, kar imamo lahko za zelo dobro. Regresijska (črtkana) premica se le malo razlikuje od idealne (polna črta) na sl. 1. Koeficient variacije je bil $V=3$. V 95 % primerov bi odstopanja morala biti v mejah $\pm 0,02$ % C. S slike vidimo, da so praktične vrednosti v večini primerov večje od izračunanih, tj. regresijska premica leži nad idealno premico vse do približno 0,85 % C, tj. v celotnem delovnem območju VOD naprave na Jesenicah. To je tudi razumljivo, če upoštevamo, da sta začetna ogljika sicer enaka za praktično in modelno vrednost, končna sta pa različna, ker model računa vsebnost ogljika na koncu pihanja kisika, praktične vrednosti pa so rezultati analize na koncu razogličanja po globokem vakuumiranju. Jasno je, da med globokim vakuumiranjem odpravimo še vsaj 0,01 do 0,02 % C.

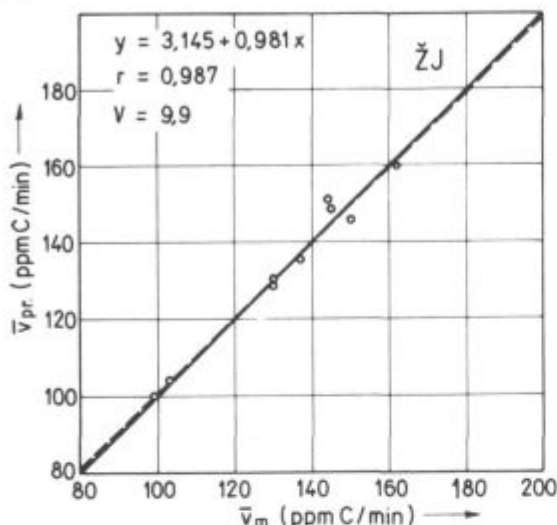


Slika 1
Odgor ogljika med vakuumsko oksidacijo v železarni Jesenice
Primerjava med modelnimi rezultati (ΔC_m) in prakso (ΔC_{pr})

Fig. 1
Carbon loss in vacuum oxidation in Jesenice Steelworks. Comparison between the results of model (ΔC_m) and the practice (ΔC_{pr}).

Podobno dobro ujemanje rezultatov modela in prakse smo dobili za ostale osnovne parametre, kot so porast temperature, odgor kroma ali povprečna hitrost

oksidacije ogljika med vakuumsko oksidacijo. Tako na sl. 2 vidimo primerjavo med dejansko in izračunano povprečno hitrostjo oksidacije ogljika v ppm C/min Regresijska, tj. črtkana premica se praktično ujema z idealno, tj. polno izrisano premico oz. diagonalo na sl. 2.



Slika 2

VOD Jesenice. Povprečna hitrost oksidacije ogljika po modelu $\bar{v}_m$ v primerjavi z dejansko vrednostjo $\bar{v}_{pr}$.

Fig. 2

VOD Jesenice. Average rate of carbon oxidation according to model, $\bar{v}_m$, compared with the actual value, $\bar{v}_{pr}$.

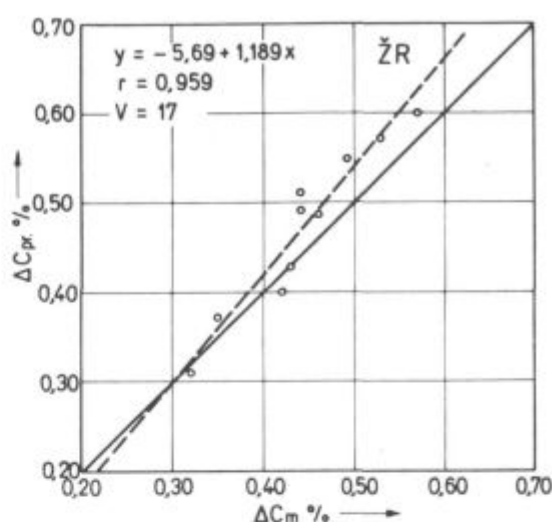
S tem je bila potrjena uporabnost izdelanega modela in ustvarjen osnovni pogoj za prehod na njegovo aplikacijo v vsakdanjem delu, tj. na uvajanje računalniško vodene tehnologije izdelave nerjavnega jekla po dupleks postopku EOP-VOD v jeklarni železarni Jesenice, kar je tudi predvideno za leto 1986.

Podobna računalniška simulacija 10 šarž nerjavnega jekla, izdelanih po istem EOP-VOD postopku v jeklarni železarni Ravne je pokazala, da se rezultati računalniške simulacije zelo slabo ujemajo z dejanskimi rezultati. Tako so npr. razlike med dejansko temperaturo taline in z modelom izračunano temperaturo presegale pri nekaterih šaržah tudi več kot 100 stopinj! Podobno velike in povsem nesprejemljive razlike smo ugotovili pri vsebnosti Cr. Razlike med modelom in prakso za odpravljeni ogljik in povprečno hitrost oksidacije ogljika (sl. 3 in sl. 4) so tudi nesprejemljivo velike.

Res je, da je VOD naprava železarne Ravne v osnovnih karakteristikah precej razlikuje od dosti večje VOD naprave v železarni Jesenice, vendar smo zaradi omenjene univerzalnosti izdelanega modela pričakovali, da se bodo pojavila le manjša odstopanja, ki bi jih bilo možno korigirati z uvedbo nekaterih empiričnih konstant. Ugotovljene razlike med dejanskimi rezultati in modelom lahko nastopajo zaradi:

- bistvenih pomanjkljivosti modela
- napak pri meritvah, ki popačijo dejanske rezultate ali
- nestabilnega obratovanja, zaradi katerega nastopajo velika nihanja tehnološko-ekonomskih parametrov.

Ad a) V osnovi izdelanega modela so termodinamične zakonitosti, ki so seveda univerzalne in splošno veljavne. Model uspešno simulira potek vakuumске ok-

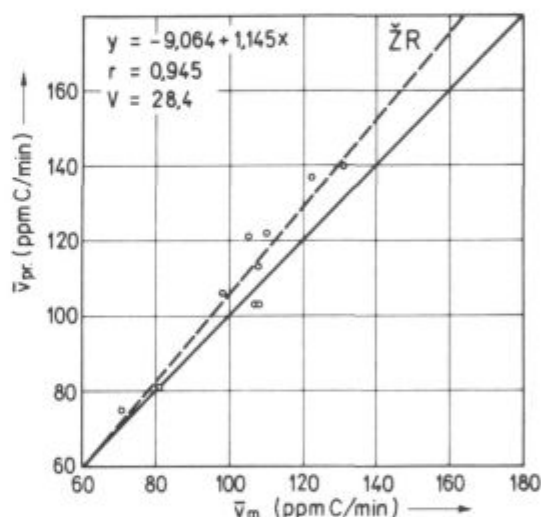


Slika 3

Odgor ogljika med vakuumsko oksidacijo v železarni Ravne Primerjava med modelnimi rezultati (ΔC_m) in prakso (ΔC_{pr})

Fig. 3

Carbon loss in vacuum oxidation in Ravne Steelworks. Comparison between the results of model (ΔC_m) and the practice (ΔC_{pr}).



Slika 4

VOD Ravne. Povprečna hitrost oksidacije ogljika po modelu $\bar{v}_m$ v primerjavi z dejansko vrednostjo $\bar{v}_{pr}$.

Fig. 4

VOD Ravne. Average rate of carbon oxidation according to model, $\bar{v}_m$, compared with the actual value, $\bar{v}_{pr}$.

dacije v jeklarni železarni Jesenice ter v zahodnonemški jeklarni EW Witten. Potemtakem lahko zaključimo, da ne gre za pomanjkljivost modela.

Ad b) Razlike med rezultati modela in dejanskimi rezultati so tolikšne, da jih nikakor ni možno pripisati napakam kemične analize oz. napakam pri merjenju temperature taline.

Ad c) Velika nihanja osnovnih parametrov zaradi nestabilnega obratovanja (poskusna proizvodnja oz. uvajanje VOD postopka!) so potemtakem edina možna razlaga slabega ujemanja rezultatov. Bolj podrobna analiza o poteku 10 šarž iz železarne Ravne na osnovi

Tabela 1: Primerjava stabilnosti VOD obratovanja Jesenice/Ravne

	JESENICE		RAVNE	
	Cr v žlindri	Porast temp.	Cr v žlindri	Porast temp.
Sr. vrednost	1,35 %	180,5° C	1,05 %	95,50° C
St. deviacija	0,212	26,97	0,765	70,35
Koef. variacije	15,73 %	14,94 %	72,65 %	73,66 %

šaržnih kartonov je dejansko pokazala velika in nesprijemljiva nihanja osnovnih parametrov. Z metodami statistične analize smo npr. ugotovili nesprijemljivo veliko standardno deviacijo nekaterih ključnih parametrov, kar jasno kaže, da je obratovanje VOD naprave v železarni Ravne nestabilno. Kot dokaz navajamo standardno deviacijo in koeficiente variacije za porast temperature med vakuumsko oksidacijo in količino kroma, ki je oksidiral v žlindro za 10 VOD šarž, izdelanih v železarni Ravne in enako število šarž, izdelanih v železarni Jesenice.

Kot vidimo iz tabele, so koeficienti variacije 4—5 krat večji v železarni Ravne kot v železarni Jesenice, kar nedvomno kaže, da je obratovanje VOD naprave v železarni Ravne zelo nestabilno. Ugotovili smo podobno velika nihanja ostalih parametrov, kar je tipično za poskusno fazo obratovanja. Pri tolikšnih velikih nihanjih je jasno, da ni mogoče pričakovati zadovoljivega ujemanja rezultatov računalniške simulacije z dejanskimi rezultati. Dodatna termodinamična analiza VOD talin pred vakuumsko oksidacijo in po njej je pokazala, da je treba standardizirati postopek, izboljšati natančnost merjenja pretoka in porabe kisika ter bistveno spremeniti izhodno sestavo VOD talin oz. sestavo vložka v EOP. Šele potem bo možno začeti uvajati računalniško vodenje izdelave nerjavnih jekel v železarni Ravne. Postopno stabilizacijo tehnološko-ekonomskih parametrov obratovanja VOD naprave v železarni Ravne bo možno doseči tako, da se med poskusnim obratovanjem skrbno registrirajo doseženi rezultati, po možnosti načrtno spreminjajo posamezni delovni pogoji in sistematizirajo pridobljene izkušnje.

Šele potem, ko bo obratovanje VOD naprave v železarni Ravne na ta način stabilizirano, bo mogoče pristopiti k postopnemu uvajanju računalniškega vodenja tehnologije na osnovi izdelanega modela MIS-VOD.

UGOTOVITVE

— Rezultati računalniške simulacije vakuumske oksidacije nerjavnega jekla se zelo dobro ujemajo z dejanskimi rezultati, doseženimi med redno industrijsko proizvodnjo v jeklarni železarne Jesenice.

— Analogna računalniška simulacija je dala v primeru železarne Ravne zelo slabe rezultate. Ugotovljena so velika odstopanja med izračunanimi in dejanskimi vrednostmi osnovnih tehnološko-ekonomskih parametrov.

— Analiza možnih vzrokov nesprijemljivo velikih odstopanj v železarni Ravne je pokazala, da je osnovni vzrok nestabilno obratovanje VOD naprave.

— Z metodami statistične analize smo ugotovili 4—5 krat večja nihanja osnovnih parametrov pri VOD napravi železarne Ravne v primerjavi s podobno napravo v železarni Jesenice, kar je značilno za fazo poskusnega obratovanja.

— V železarni Ravne je treba najprej standardizirati delovne pogoje in zmanjšati sedaj prevelika nihanja osnovnih parametrov ter tako zaključiti fazo poskusne proizvodnje oz. uvajanja VOD tehnologije. Šele potem bo možno pristopiti k uvajanju računalniško vodene tehnologije.

— V železarni Jesenice lahko takoj začnemo uvajati računalniško vodenje tehnologije izdelave nerjavnih jekel, kar je predvideno za l. 1986.

LITERATURA

1. N. Smajić, Optimierungsmöglichkeiten bei der Herstellung Rostfreie Stähle nach VOD Verfahren, I. Kolloquium Die probleme der Sekundaer-Metallurgie in der Stahlproduktion, Balaton, April 1985.
2. N. Smajić, Mathematical Model for EAF-VOD Stainless Steelmaking, Proceedings of 6th CENIM, Madrid 7.—11. X. 1985.
3. N. Smajić, Povečanje ekonomičnosti u proizvodnji nehrdajućih čelika, Zbornik III Savetovanje čeličaraca, OUCMJ, Topusko, 23.—25. X. 1985.
4. N. Smajić, Dinamični model izdelave nerjavnih jekel po postopkih ponovne metalurgije, XXXIII. Posvetovanje strokovnjakov črne in barvne metalurgije ter livarstva Slovenije, Portorož 1985.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Analyse der bestehenden LBO-VOD Technologie der Erzeugung nichtrostender Stähle im Hüttenwerk Jesenice und Ravne ist durchgeführt worden. Das mathematische Modell MIS-VOD ist durch eine a posteriori Applikation d. h. durch Modelluntersuchungen bzw. durch die Simulierung von 20 Schmelzen aus der laufenden Produktion testiert worden. Im Falle der 15 t VOD Anlage im Hüttenwerk Ravne ist ein unannehmbar hoher Unterschied zwischen den tatsächlichen Er-

gebnissen und den Ergebnissen des mathematischen Modelles festgestellt worden. Dieser ist eine Folge der nichtstandardisierten Technologie im Hüttenwerk Ravne wo die VOD Anlage noch in der Versuchsproduktionsphase war. Die Ergebnisse der Modelluntersuchungen stimmten im Falle der 65 t VOD Anlage im Hüttenwerk Jesenice sehr gut mit den tatsächlichen Ergebnissen überein. Das bedeutet, dass die rechnerische Prozessführung im Jahre 1986 eingeführt werden kann.

SUMMARY

Duplex EAF-VOD technology of stainless steelmaking in Steelworks Ravne and Jesenice has been analyzed. Mathematical model MIS-VOD was calibrated and tested by a posteriori application i. e. simulation of 20 industrial heats. In the case of 15 ton VOD unit in Steelworks Ravne significant differences between actual and predicted results were observed, which

were attributed to nonstandardized technology. However, very good results were obtained for 65 ton VOD unit in Steelworks Jesenice. Consequently, it was decided to start with the introduction of computer controlled stainless steelmaking in Steelworks Jesenice in 1986.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена технология изготовления нержавеющей стали способом дуговой электропечи — вакуумное устройство (EOP-VOD) в металлургических заводах Есенице и Равне. Математическая модель (MIS-VOD) была испытана на основании применения модельных опытов, отн. с симуляцией 20-ти сплавов из регулярного производства. Исследования в вакуумном устройстве объема 15 т в металлургическом заводе Равне оказалась неподражаемая большая разница между фактическими результатами и результатами математической модели. Это последст-

вие нестандартизированной технологии в металлургическом заводе Равне, где вакуумное устройство ещё находится в пробном производстве.

Результаты модельных исследований, что касается вакуумного устройства объема 65-ти т. в металлургическом заводе Железарна Есенице очень хорошо согласовались с фактическими результатами, так что в течении 1986 года можно будет приступить к введению технологии с употреблением вычислительной машины.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani: dr. Jože Rodič, dipl. inž., Franc Mlakar, dipl. inž., dr. Aleksander Kveder, dipl. inž., dr. Ferdo Grešovnik, Darko Bradaškja, tehnični urednik, prof. Regina Razinger, lektor

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS — sekretariat za informacije št. 421-1/172 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: SŽ Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, C. železarjev 8, tel. št. 064/81-341, int. 2619 — Tisk: TK Gorenjski tisk, Kranj