

Sodobna tehnologija izdelave dinamo jekel po duplex postopku EOP+V(O)D

B. Koroušič*, J. Triplat**, J. Arh**

UDK: 669.14.018.5
ASM-SLA: ST-1

Z izgradnjo VOD naprave v stari jeklarni železarne Jesenice so se odprle nove možnosti za izboljšanje klasične tehnologije izdelave dinamo jekel, ki je detajlno opisana v naših publikacijah (1, 2, 3, 6).

Nova tehnologija izdelave dinamo jekel v železarni Jesenice sloni na naslednjih delovnih fazah (3, 6):

A) EOP:

— raztalitev vložka v EOP-peči z ekscentričnim prebodom (EBT) z nominalno težo 85 ton in transformatorjem moči 65 MVA,

- oksidacija ogjlika s plinskim kisikom,
- gretje taline,
- prebod.

B) Priprava taline za VOD:

- posnemanje pečne žilindre iz ponovce,
- dodatki za novo žilindro.

C) VOD:

- razogljčenje z lastnim kisikom oziroma delna oksidacija s plinskim kisikom,
- legiranje taline s 75 % FeSi in Al (delno s FeMnA),
- razplinjanje pri nizkem vakuumu.

D) Litje:

— klasično litje v brame (stara jeklarna) in kontilitje v slabe, debeline 160 do 250 in širine 800 do 1600, z vrtljivim stolpom za sekvenčno litje (nova jeklarna).

Železarna Jesenice proizvaja številna kvalitetna jekla, kot so mikrolegirana konstrukcijska jekla, jekla za globoki vlek, jekla za elektro industrijo, nerjavna avstenitna in feritna jekla.

Letna proizvodnja v letu 1984 je znašala 474.709 ton, od tega 65 % po SM-postopku in 35 % po elektro postopku v kombinaciji z VOD in TN-postopkom.

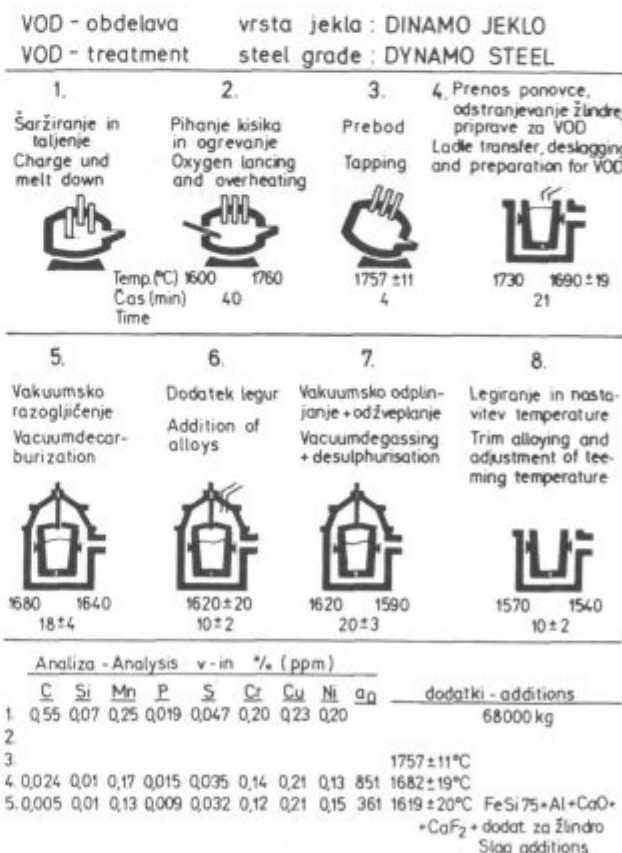
Večji del te proizvodnje je ploščati (70 %) program, ostalo pa žični ter profilni. Največji del omenjene proizvodnje se odlije v klasične brame, medtem ko manjši del, cca 60.000 ton, pokriva konti litje (gredice).

Namen članka je, da predstavi rezultate najnovejših raziskav in razvoj tehnologije izdelave dinamo jekel v Železarni Jesenice.

ANALIZA TEHNOLOGIJE IZDELAVE DINAMO JEKEL PO POSTOPKU EOP + VOD

V stari elektrojeklarni v železarni Jesenice je instalirana VOD-naprava, nominalne kapacitete 65 t, v kateri se od julija 1984 izdelujejo različne vrste dinamo jekel, medtem ko v novi jeklarni od leta 1987 obratuje nova 80-tonska VOD-naprava.

VOD-napravi je priključena tudi naprava za legiranje z 10 silosi. Legiranje je možno pod vakuumom, kakor tudi



Slika 1.

Shematska ponazoritev poteka izdelave šarže kvalitete dinamo jekla v Železarni Jesenice

Fig. 1

Schematic presentation of making melt for dynamo-sheet steel in Jesenice Steelworks

* Blaženko Koroušič, hab. doc. dr. mag. dip. inž. met., — Metalurški inštitut Ljubljana

** J. Triplat, J. Arh — Železarna Jesenice

pri odprti ponvi. Vakuumske črpalke sestojijo iz dveh obročnih vodnih črpalk in štirih parnih ejektorjev.

Na sl. 1 je prikazana shema VOD-naprave v železarni Jesenice.

Tehnologija proizvodnje dinamo jekel po duplex-postopku EOP+V(O)D tudi v svetu ni tako razširjena in je zato v strokovni literaturi za to temo zelo malo uporabnih podatkov.

Prilava taline za VOD-napravo

- taljenje vložka;
- oksidacija ogljika in odprava fosforja;
- ogrevanje taline.

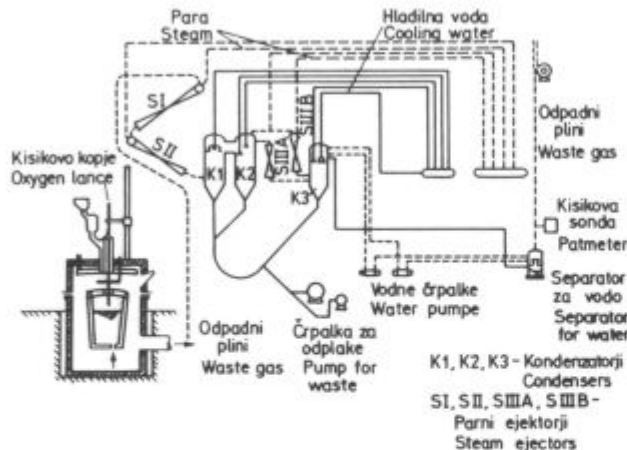
Vložek je sestavljen iz lastnega odpadka ter starega železa, in sicer tako, da je zagotovljena vsebnost ogljika v prvem preizkušancu med 0,30 in 0,50 %. Dosedanje izkušnje so pokazale, da je pri teh količinah ogljika možno v fazi oksidacije brez večjih problemov doseči potrebne visoke prehodne temperature, ki se gibljejo okrog 1750—1760° C.

Pri izvajanju faze oksidacije je potrebno zagotoviti takšne pogoje, da imamo po preobodu taline in odstranitvi pečne žilindre pred vakuumom 0,04—0,05 % C in določeno vsebnost Mn, ki naj se giblje med 0,10 in 0,20 % Mn.

To tehnološko zahtevo dosežemo s primerno tehnologijo pihanja kisika in dinamiko vodenja izdelave šarže v peči.

Tehnološke faze v VOD-napravi

VOD-naprava v železarni Jesenice, kapacitete 70 ton, ki jo je izdelala firma STANDARD-MESSO, sestoji iz obzidane vakuumske komore, argonskega priključka za VOD-ponovco in vakuumskega sistema. Na plašču pokrova je opazovalna odprtina z loputo in TV-kamero ter cevni nastavek za kisikovo kopje in 500-litrska posoda za legiranje z dvojnimi zvonastimi zaporami, ki omogočata legiranje pod vakuumom (sl. 2).



Slika 2.
Shema 70-tonnske VOD-naprave v stari jeklarni v Železarni Jesenice

Fig. 2
Scheme of 70 ton VOD set-up in the old steel plant in Jesenice

Vakuumska oksidacija

Po preobodu taline v VOD-ponovco izvršimo posne-manje žilindre in postavimo ponovco v vakuumsko komoro.

Praktične izkušnje in analiza rezultatov številnih šarž z matematičnim modelom je pokazala, da v fazi pred vakuumiranjem lahko izvršimo le dve operaciji:

- pri vsebnosti Mn pod 0,10 % korigiramo vsebnost Mn s FeMn affine,
- pri temperaturi taline pod 1650° C dodamo primerno količino Al za popravek temperature.

Oba parametra, kakor tudi izračun potrebnega pihanja kisika (glede na vsebnost ogljika v talini) in količino dodanega Al, izvedemo na osnovi računalniškega programa.

Po vključitvi vakuumskih črpalk tlak začne hitro padati, istočasno začne talina tudi kuhati, kar pomeni, da se je pričela oksidacija ogljika.

Hitrost razogljčenja je v prvi fazi skoraj linearna in njeno odvisnost za izbrane pogoje definiramo z enačbo:

$$\frac{dC}{dt} = f(C(s) - C(e)) + f(\dot{Q}_{Ar}) + f(a_0(s)) + f(\dot{Q}_{O_2}), \dots (1)$$

kjer pomeni

- C(s); C(e) — startni oziroma ravnotežni ogljik,
- \dot{Q}_{Ar} — intenziteta mešanja taline z Ar (L/min),
- $a_0(s)$ — startna aktivnost kisika,
- \dot{Q}_{O_2} — intenziteta pihanja kisika (m^3O_2/h).

V drugi fazi vakuumske oksidacije hitrost začne pojemati, kar pripisujemo spremembi mehanizma transporta ogljika in taline na fazno reakcijsko površino s plinsko fazo.

Časi vakuumske oksidacije se gibljejo med 10—28 minut, odvisno od startne vsebnosti ogljika, temperature, intenzitete mešanja taline in dr. V celotnem času vakuumske obdelave temperatura enakomerno pada s povprečno hitrostjo okrog 1,5—2,0° C/min. v odvisnosti od termičnega stanja VOD-ponovce pred preobodom, intenzitete mešanja, količine dodatka apna in dr.

Legiranje jekla in dodatki za žilindro

Pred pričetkom faze razplinjanja izvršimo legiranje taline, ki ima v povprečju pred legiranjem naslednjo povprečno kemično sestavo:

% C	% Si	% Mn	% S	% P
0,006	0,01	0,20	0,0310	0,009

Korekcijo kemične analize izvedemo s pomočjo linearnega programa, ki je del računalniškega programa, pri čemer se upošteva tudi toplotna bilanca taline.

Natančnost legiranje je povsem zadovoljiva zaradi natančnega algoritma za izračun izkoristka elementov, ki sloni na funkcionalni odvisnosti:

$$ETA(X) = F(a_0) + F(DX) + F(Q_m), (2)$$

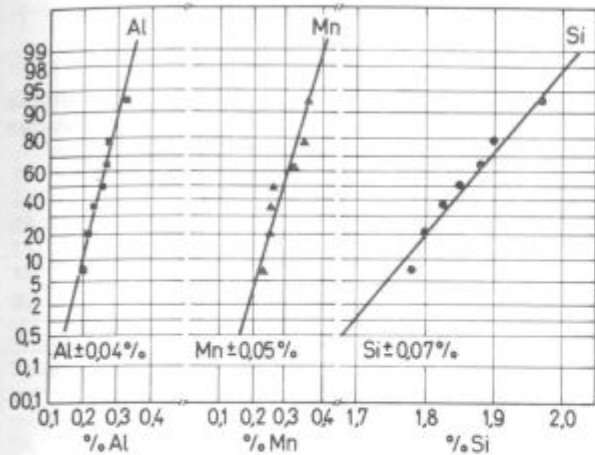
kjer pomeni:

- $F(a_0)$ — funkcionalna odvisnost od aktivnosti kisika pred legiranjem,
- $F(DX)$ — funkcionalna odvisnost od količine dodanega elementa X,
- $F(Q_m)$ — funkcionalna odvisnost od teže šarže.

Standardne vrednosti legiranja Si in Al se gibljejo v mejah:

- Si ± 0,07 %
- Al ± 0,04 %
- Mn ± 0,05 %

Večino odstopanj lahko pripišemo vplivu teže šarže ter nihanjem v kemični sestavi legur (sl. 3).



Slika 3.

Porazdelitev Mn, Si, Al v talinah kvalitete dinamo jekla po legiranju

Fig. 3

Distribution of Mn, Si, Al in the melt for dynamo-sheet steel after alloying

Faza razplinjanja in razžveplanja jekla

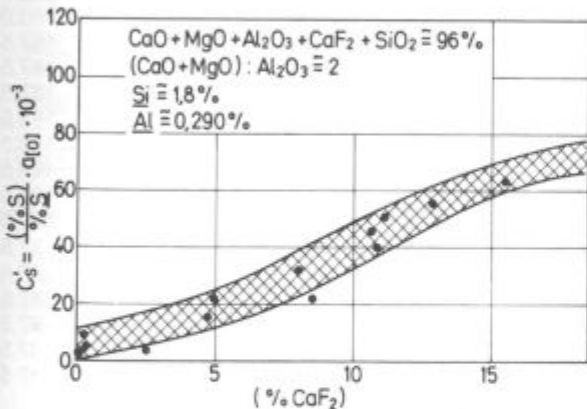
Po končanem dodatku legur v talino dodamo še dodatke za žlindro, in sicer: CaO in CaF₂. Količina dodatkov se izračuna na osnovi matematičnega modela, ki sloni na poznavanju kapacitete žvepla sintetične žlindre tipa:

55 % (CaO + MgO) + 30 % Al₂O₃ + 15 % CaF₂

in bilance žvepla v jeklu in žlindri pred procesom razplinjanja in razžveplanja in po njem (4, 5).

Na kapaciteto žvepla ima precejšen vpliv vsebnost CaF₂ v žlindri, ker znižuje tališče in s tem direktno vpliva na fluidnost žlindre (sl. 4).

Zaradi intenzivnega mešanja jekla s sintetično žlindro in zelo ugodnih termodinamičnih pogojev (aktivnost kisika znaša okrog 1 ppm) poteka intenzivna izmenjava žvepla med talino in žlindro (sl. 5).

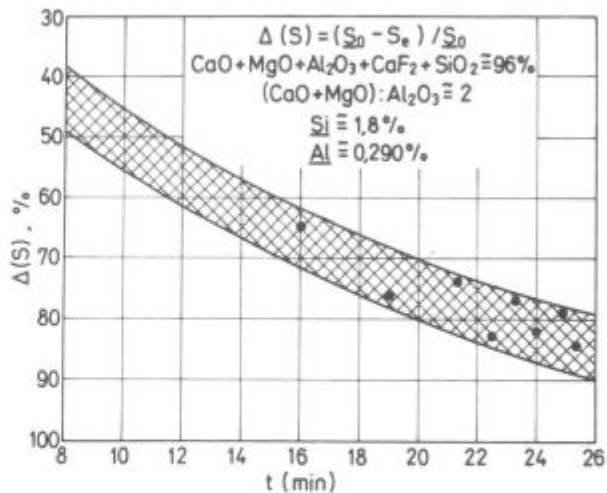


Slika 4.

Vpliv dodatka jedavca na porazdelitev žvepla $\frac{(\% S)}{\% S} \cdot a_{0(1)}$ pri odžveplanju dinamo jekel v VOD-napravi

Fig. 4

Influence of added fluor spar on the distribution of sulphur $\frac{(\% S)}{\% S} \cdot a_{0(1)}$ in desulphurisation of dynamo-sheet steel in the VOD set-up



Slika 5.

Kinetika odprave žvepla med degazacijo v VOD-napravi.

Fig. 5

Kinetics of desulphurisation during degassing in the VOD set-up

Na osnovi poznavanja izhodne in zaželenene ali načrtovane vsebnosti žvepla ter kinetike razžveplanja lahko zelo natančno določimo čas obdelave v vakuumu, ki se giblje med 15 in 30 min.

V tem času poteka tudi odprava vodika in oksidnih vključkov.

Povprečne vsebnosti žvepla v končnih preizkušancih za večje število šarž ležijo med 70 in 90 ppm.

Kemična sestava žlindre po končanem razžveplanju ima tipično sestavo:

55,5 % (CaO + MgO); 28,1 Al₂O₃; 12,6 % CaF₂; 3,6 % SiO₂; 0,50 % (FeO + MnO).

Matematični model za VOD-proces

Računalniško podprti program VODES omogoča kompletno vodenje izdelave šarže v VOD-ponovci. Program je sestavljen iz več delov:

- VODES
- informacije o jeklih, legurah, dodatkih
- kontrola procesa oksidacije ogljika v vakuumu
- legiranje in izračun dodatkov za žlindro
- razplinjanje in razžveplanje

Pred pričetkom izdelave šarže operater vnese preko video-terminala naslednje tehnološke parametre:

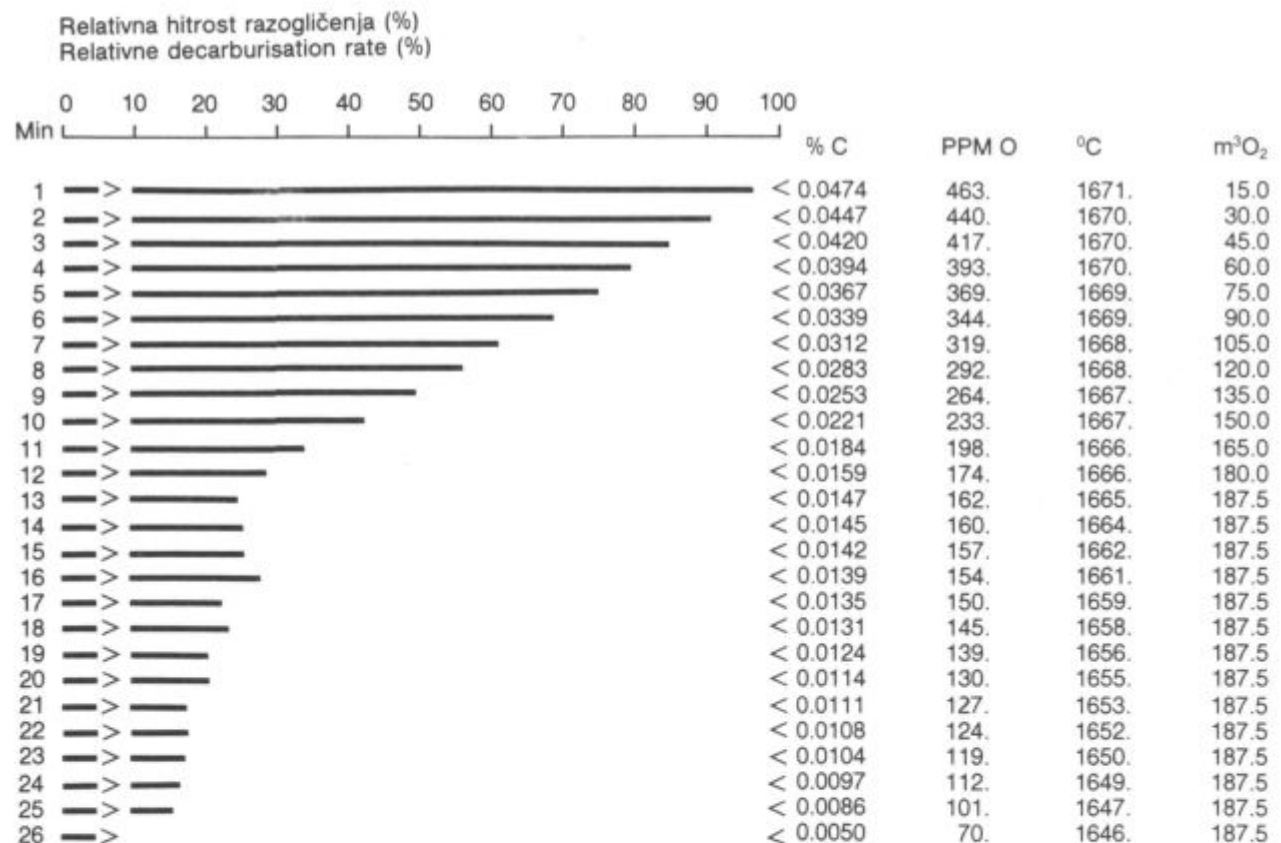
- številko šarže,
- šifro jekla,
- temperaturo taline,
- intenziteto pihanja kisika (m³O₂/h) — v primeru VOD.

V naslednji fazi dobi skozi dialog vse potrebne podatke o potrebni količini kisika za pihanje, količini dodatka FeMn affine ter času trajanja vakuumske oksidacije.

Dinamo jeklo Silicon steel	Program Program	Vodes Vodes			
Datum: Date:	28-avg-86 28-aug-86	Čas: Time:	8.50 8.50	Verzija Version	Vodes Vodes

TEHNOLOŠKI PODATKI:
TECHNOLOGICAL DATA:

Vrsta jekla — Steel grade	= EVC 17
Šifra jekla — Steel code	= 12
Teža taline v VOD-ponovci (kg) — Charge weight in VOD (kg)	= 68000.00
Začetna temp. v VOD-ponovci (°C) — Initial VOD temp. (°C)	= 1643.00
Št. šarže — Heat No.	= 117362.
Poraba kisika — Consumption of oxygen	= 186. m ³ — 186 m ³
Čas pihanja	= 12 min. in 22 sec.
pri pretoku kisika	= 900. m ³ /h
Blowing time	= 12 min. and 22. sec.
by oxygen rate	= 900. m ³ /h
Izračunani dvig temperature po oksidaciji ALUMINIJA	= 28. °C
Computed temperature incrise after ALUMINIUM oxidation	= 28. °C
Izračunana temperatura pred vakuumsko obdelavo	= 1671. °C
Computed melt temperature before vacuum treatment	= 1671. °C



Izračunani padec temperature po dodatku 1000 kg apna in 100 kg CaF₂ = 32° C.
Computed loss of temperature after addition of 1000 kg lime and 100 kg fluorspar = 32° C.

Slika 6.

Protokol o dinamiki vakuumske oksidacije ogljika v 70-tonski
VOD-napravi (računalniški izpis)

Fig. 6

Record of dynamics of vacuum oxidation of carbon in the
70 ton VOD set-up (computer record)

Šifra Code	Legura Alloys	Legiranje			Ponovca v peči	
		Cena Price din	Teža Weight kg	Vrednost Value din	Cel. teža Tot. weight kg	Cena legiranja Price of alloy din/kg
10	FeSi 75	253.56	1513.	383598.31		
28	FeMn	328.05	85.	27941.29		
26	Al	613.49	346.	212494.81		
11	FeMnHC	58.39	0.	0.00		
12	SiMn	157.72	0.	0.00		
90	Karburit	83.82	0.	0.00		
Skupaj: Total:			1944.	624034.44	69944.40	320.94
			1944.	624034.44	69944.40	320.94

El	Pred legiranjem Before alloying (%)	S. meja L. limit	Z. meja H. limit	Cilj Aim	KG. EL KG-EL	Izkor. Yield	Doseženo Achieved (%)
C	0.00	0.010	0.020	0.018	3.53	0.93	0.010
Si	0.02	1.400	1.990	1.600	1150.38	0.96	1.599
Mn	0.16	0.200	0.300	0.250	75.68	0.85	0.253
Al	0.00	0.250	0.350	0.300	370.14	0.56	0.296

Temp. pred legiranjem Temp. before alloy (°C)	Temp. po legiranju Temp. after alloy (°C)	Sprem. temp. Temp. change (°C)
1613.	1621.	8.0

Slika 7.

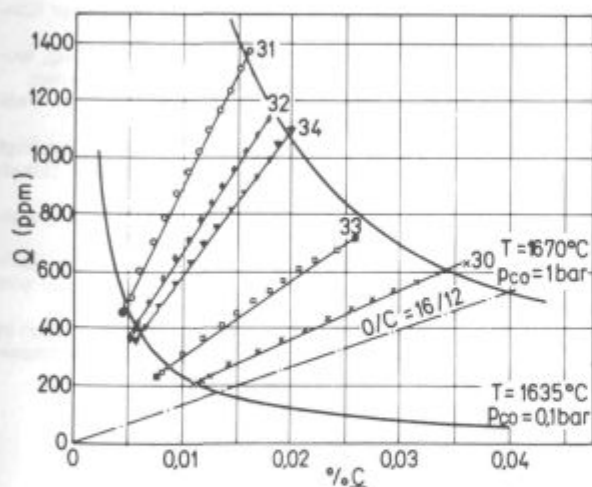
Protokol o legiranju dinamo jekel (računalniški izpis)

Fig. 7

Record on alloying dynamo-sheet steel (computer record)

Odločitev o pihanju kisika prinaša računalnik na osnovi znane vsebnosti ogljika v talini pred vakuumom ter podatka o dodatku Al za ogrevanje taline.

V naslednji fazi avtomatično izračuna naslednje podatke:



Slika 8.

Vpliv izhodnega ogljika pred vakuumsko oksidacijo v VOD-napravi na kinetiko razogljčenja in vsebnost aktivnega kisika

Fig. 8

Influence of initial carbon content before the vacuum oxidation in the VOD set-up on the decarburisation kinetics and the content of active oxygen

- količino dodatka FeSi 75, Al, FeMnA,
- količino dodatkov v žlindro (CaO, CaF₂),
- temperaturo taline pred fazo razžveplanja,
- čas trajanja faze razžveplanja,
- končno temperaturo taline po prenosu VOD-ponovce iz vakuumske komore.

Pri izračunavanju dodatka ferrolegur program upošteva dejanske izkoristke elementov Si in Al glede na aktivnost kisika v talini pred dodatkom legur v talino.

Na sl. 6 in 7 je predstavljen tipičen primer protokola računalniškega izračunavanja za fazo oksidacije ogljika in legiranja.

Zaradi analize VOD-procesa z matematičnim modelom poteka celotni proces vakuumske oksidacije ogljika v optimalnih pogojih.

Kot je razvidno s sl. 8, dosežemo najnižje kisike po končani oksidaciji pri najvišji izhodni vsebnosti ogljika. Glede na to ugotovitev smo izvršili korekcijo tehnološkega predpisa v EOP, ki mora zagotoviti izhodno vsebnost ogljika med 0,04 in 0,05 % C.

Ekonomičnost VOD-procesa

Izdelava dinamo jekel po duplex-postopku EOP + V(O)D je ekonomičen postopek, če se zagotovijo optimalni tehnološki pogoji.

Zelo pomemben dejavnik je čas obdelave, s katerim je povezano termično stanje ponovce ter brezhibno mešanje taline z argonom.

Zaradi računalniško vodenega procesa je dana možnost optimalnega izkoriščanja časa, ker trajanje vakuumske obdelave v fazi oksidacije ogljika in razžveplanja

predstavlja okrog 70 % celotnega časa obdelave. S tem znatno vplivamo na porabo ognjevarnega materiala, temperaturne izgube in porabo aluminija za ogrevanje taline.

ZAKLJUČKI

Tehnologija izdelave dinamo jekel po duplex-postopku EOP+V(O)D je tudi v svetu redkost, zato so praktične izkušnje in razvita tehnologija v železarni Jesenice za jeklarje vsekakor zanimive.

Zlasti zanimiva je tehnologija vodenja procesa vakuumske oksidacije ogljika z uporabo računalniško podprtega sistema, ki omogoča operaterju lažje odločitve in prinaša uporabne tehnološke podatke, ki so zanesljivi in dostopni že pred pričetkom procesa.

Osnovne prednosti duplex-postopka EOP+V(O)D pri izdelavi dinamo jekel so:

— Izdelava taline v EOP je krajša in brez posebnih metalurških zahtev. Zahteva se intenzivna oksidacija ogljika, da bi znižali vsebnost dušika do minimalnih vrednosti.

— Oksidacija ogljika v EOP se mora voditi tako, da ima talina pred pričetkom vakuuma v VOD-napravi optimalno vsebnost ogljika (0,04—0,05 % C).

— Vakuumska oksidacija ogljika v vakuumu je hitra in zanesljiva, pri čemer se dosežejo vrednosti ogljika tudi do 50 ppm.

— Legiranje Si se izvede s cenejšimi legurami, kar predstavlja občuten prihranek v strukturi stroškov (zamenjava čistega Si s 75 % FeSi).

— Visok izkoristek legiranja s Si (ca. 96 %) zaradi nizke aktivnosti kisika (vsebnost Al leži med 0,25—0,35 %).

— Odlična in zanesljiva faza razžveplanja in doseganje nizkih vsebnosti žvepla (70—90 ppm).

— Visoka livnost jekla in zadovoljiva čistoča jekla, kar je posebej pomembno za kontinuirano litje dinamo jekel v slabe.

— Računalniško vodenje ključnih tehnoloških faz v VOD-napravi, kar ima številne prednosti v primerjavi s klasičnim vodenjem šarže.

LITERATURA

1. Koroušič, B., O. Kürner, J. Arh.: Prispevek k optimizaciji proizvodnje dinamo jekel, Železarski zbornik 17 (1983), 1, 9—14.
2. Koroušič, B., J. Triplat: Analiza vzrokov za visoko vsebnost celokupnega kisika pri izdelavi dinamo jekel, Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, MI 85-008 (1985)
3. Arh, J., B. Koroušič, J. Triplat: Production of Silicon Steels by the VOD Process in Iron and Steel Works Jesenice, European Electric Steel Congress, Florence Italy, 29th September — 1st October 1986
4. Fruehan, R. J.: Desulfurisation of Liquid Steel Containing Aluminium or Silicon with Lime, Metall. Tran. B, Vol. 9 B, (1978), June, 287—292
5. Schürmann, E., R. Bruder, K. Nürnberg, H. Richter: Beitrag zur Schwefellöslichkeit in CaO-Al₂O₃-Schlacken, Arch. Eisenhüttenwes., 50 (1979), 4, 139—143
6. Koroušič, B., J. Triplat, J. Arh, V. Prešern: Recent Development of the VOD proces for Manufacturing High-Quality Dynamo Steel, VAD/VOD '86, 3rd. International Conference, Aachen, October 14.—17. 1986

ZUSAMMENFASSUNG

Technologie der Erzeugung von Dynamo Stahl nach dem Duplex Verfahren LBO-V(O)D ist auch in der Welt eine Seltenheit, deswegen sind die praktischen Erfahrungen und die Entwickelte Technologie im Hüttenwerk Jesenice für die Stahlwerke um so mehr interessanter. Besonders interessant ist die Technologie der Vakuumentkohlung mit der Anwendung eines Rechnerunterstützten Systemes, welches dem Bedienungsmann die Entscheidungen leichter macht, durch die zuverlässigen technologischen Daten, die schon vor dem Prozessanfang zur Verfügung sind.

Die Vorteile des Duplex Verfahrens EOP+V(O)D bei der Erzeugung von Dynamo Stahl sind:

— Die Erzeugung der Schmelze im LBO ist kürzer und ohne besonderer metallurgischer Ansprüche. Eine intensive Kohlenstoffoxydation zur Reduzierung des Stickstoffgehaltes ist erforderlich.

— Die Frischperiode im LBO soll so geführt werden, dass vor der Vakuumentkohlung in der Schmelze ein optimaler Kohlenstoffgehalt von 0,04 bis 0,05 % vorliegt.

— Die Vakuumentkohlung ist schnell und zuverlässig, wobei Kohlenstoffgehalte auch bis zu 50 ppm erreicht werden.

— Das Legieren von Si wird mit relativ billigem FeSi 75 durchgeführt (früher Si Metall).

— Ein hohes Ausbringen von Si (ca. 96 %) ist bedingt durch die niedrige Sauerstoffaktivität der Schmelze (Al Gehalt ist zwischen 0,25 und 0,35 %).

— Erreicht wird ein tiefer und zuverlässiger Endschwefelgehalt (20 bis 90 ppm)

— Gute Vergießbarkeit und ein zufriedenstellender Reinheitsgrad sind besonders wichtig für das Stranggießen von Dynamostahl.

— Führung der entscheidenden technologischen Phasen in der VOD Anlage durch Rechner, was im Vergleich zur klassischen Führung unzählige Vorteile hat.

SUMMARY

Manufacturing dynamo-sheet steel by the duplex EAF+V(O)D process is not a common practice even in the world. Thus the practical experiences and developed technology in the Jesenice Steelworks are in any case interesting for steel-makers.

Especially interesting is the process control of vacuum oxidation of carbon by a computer aided system which facilitates the decision of the operator and gives useful technological data which are reliable and accessible before the beginning of the process.

Basic advantages of the EAF+V(O)D duplex process in manufacturing dynamo-sheet steel are:

— Melt making in EAF is shorter and without special metallurgical demands. Intensive oxidation of carbon is desired in order to reduce nitrogen content to minimum.

— Oxidation of carbon in the EAF must be controlled in such a way that the melt has the optimal carbon content (0.04 to 0.05 %) before the beginning of vacuum treatment in the VOD set-up.

— Vacuum oxidation of carbon is fast and reliable and it enables to reduce carbon content even to 50 ppm.

— Alloying of silicon can be made with cheaper alloys which means perceptible cost savings (using FeSi 75 instead of pure silicon).

— High alloying yield of Si (about 96 %) is achieved due to low oxygen activity (Al content is 0.25 to 0.35 %).

— Excellent and reliable desulphurisation enables sulphur contents as low as 70 to 90 ppm.

— High castability of steel and satisfactory purity is essential for continuous casting into slabs.

— Computer control of basic operational steps in the VOD set-up has numerous advantages compared to the standard control of the process.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология изготовления динамных сталей дуплекс способом EOP + V(O)D применяется в мире пока ещё довольно редко и, поэтому, практические опыты и развитие технологии в металлургическом заводе Железарна Есенице представляют собой для сталеваров значительный интерес.

В особенности интересна технология выполнения процесса окисления углерода в вакууме с применением содействия расчётной системы, которая дает возможность диспетчеру легче принять решение, так как доставляет весьма существенные технологические данные, которые не только надёжны, а также уже доступны до самого начала процесса.

Основные преимущества дуплекс-процесса EOP + V(O)D при изготовлении динамных сталей следующие:

— изготовление расплава в дуговой печи короче без особых металлургических требований. Требуется только интенсивное окисление углерода с целью снижения содержания азота на минимальное значение.

— окисление углерода в дуговой печи надо выполнять таким образом, чтобы расплав до начала действия вакуума в

устройстве имел оптимальное содержание углерода (0,04—0,05 % C).

— вакуумное окисление углерода в вакуумном устройстве осуществляется быстро и надёжно при чём получаются значения на углерод от 0,03 до 0,05 %.

— легирование с кремнием выполняется с более дешёвыми сплавами, что представляет заметное сбережение в структуре расходов место чистого кремния.

— высокий выход легирования кремния составляет прилб. 96 % приписывается низкой активности кислорода (содержание алюминия составляет между 0,25—0,35 %).

— превосходная и надёжная фаза удаления серы с его очень низким содержанием 70—90 ppm.

— высокая текучесть стали а также е удовлетворяющей чистота представляет собой решающее значение для непрерывного литья динамных сталей в слэбы.

— расчётноуправление ключевых технологических фаз в устройстве для раскисления в вакууме имеет многочисленные преимущества в сравнении с классическим изготовлением плавки.