

Dosežki pri izdelavi dinamo jekel v VOD napravi v železarni Jesenice

UDK: 669.183.184: 669.14.018.5
ASM/SLA: D7a, D8m, TSn

Jože Triplat, Jože Arh

VOD naprava v Jeklarni I je zgrajena z namenom poleg izdelave nerjavnih jekel, tudi za izdelavo dinamo jekel. Ta postopek je v svetu silno redko uporabljen, zato praktično ni bilo na voljo nobenih pravih referenc. Enak postopek načrtujemo tudi v novi Jeklarni II.

Proizvodnja v že zgrajeni napravi nam je uspešno stekla. Dosegamo sledeče rezultate:

- postopek izdelave v peči je krajši in enostavnejši
- izognemo se močni oksidaciji taline
- v končno izdelanem jeklu po VOD obdelavi dosežemo občutno nižje količine C in sicer med 0,005 in 0,015 % C

- za legiranje uporabljamo cenejše surovine
- izločili smo uporabo CaSi
- zanesljivost izdelave jekla je večja
- raztros vsebnosti kemičnih elementov je manjši
- stopnja razžveplanja v VOD je med 70 in 90 %
- livnost jekla je odlična
- predelovalne lastnosti jekla so dobre
- tehnologija izdelave jekla je enostavna in zanesljiva

- razširitev proizvodnega programa

Doseženi rezultati so potrdilo naše pravilne usmerjenosti glede izbire agregatov v novi Jeklarni II, kjer bo VOD glavni agregat za izdelavo jekel (nerjavnih, dinamo jekel), pri čemer dinamo jekla predstavljajo glavni delež proizvodnje.

1. UVOD

1. Kemična analiza dinamo jekla

Značilno za dinamo jeklo je zelo nizka količina C v končni kemični analizi in visoka količina Si in Al. Povprečna predpisana kemična analiza teh jekel je navedena v tabeli št. 1.

Glede na predpisano vsebnost elementov — predvsem nizka količina ogljika — se v tehnološkem smislu nahajamo v specifični situaciji. V fazi oksidacije v jeklu imamo prisotno zelo veliko količino aktivnega kisika; v fazi rafinacije pa v to oksidirano talino dodamo veliko količino močnih dezoksidantov. Posledica tega je nastanek velike količine nekovinskih vključkov v jeklu, ki negativno vplivajo na lastnosti jekla, kot so:

- livnost
- čistoča
- predelovalnost

V tabeli št. 1 je naveden predpis za končno kemično analizo za:

- klasično tehnologijo izdelave dinamo jekel in
- duplex tehnologijo izdelave dinamo jekla; to je kombinacija elektrooblačna peč in VOD postopek.

Tabela 1: Analizni predpis za dinamo jeklo

Table 1: Analysis Regulation for Dynamo Steel

Element	Klasično	VOD
C	0.035	0.015
Si	1.80	1.80
Mn	0.35	0.25
S	0.015	0.010
Al	0.25	0.25

2. Mesto železarne Jesenice pri proizvodnji dinamo jekla

Železarna Jesenice je edini proizvajalec dinamo jekel v Jugoslaviji. Izdelava teh jekel po duplex tehnologiji v kombinaciji EOP in VOD postopka je noviteta oz. železarna Jesenice je med redkimi proizvajalci v svetu.

Glede na to je bila celotna tehnologija izdelave dinamo jekel po VOD postopku osvojena doma oz. je plod dela, znanja in izkušenj v železarni Jesenice. V literaturi in iz tujih referenc praktično ni mogoče dobiti nobenih zanesljivih podatkov in rezultatov o izdelavi dinamo jekel po VOD postopku. Po drugi strani pa ta proizvod, t. j. dinamo jeklo predstavlja danes pomemben proizvod železarne Jesenice, še bolj pa v bodočnosti. V novi jeklarni II bomo dinamo jeklo izdelovali po enaki tehnologiji. Rezultati, doseženi na VOD napravi v jeklarni I, so potrdilo o pravilnosti izbire postopka.

3. Namen uporabe dinamo jekla

Dinamo jekla so namenjena za izdelavo pločevine, ki se vgrajuje v različne naprave (motorje, generatorje . . .). Električne oz. elektromagnetne lastnosti pločevine morajo ustrezati zahtevanim lastnostim električnih aparatov (induktivnost, magnetne izgube . . .)

II. TEHNOLOGIJA IZDELAVE DINAMO JEKLA

1. Primerjava med klasično (pečno) tehnologijo in novo VOD tehnologijo

Železarna Jesenice ima že dolgoletno tradicijo pri izdelavi dinamo jekel in to predstavlja pomemben artikel v njenem proizvodnem programu.

Tehnologija izdelave dinamo jekla po klasičnem pečnem načinu izdelave je sicer osvojena, vendar se je z izgradnjo VOD naprave izoblikovala nova tehnologija, ki ima v primerjavi s klasično nekatere prednosti.

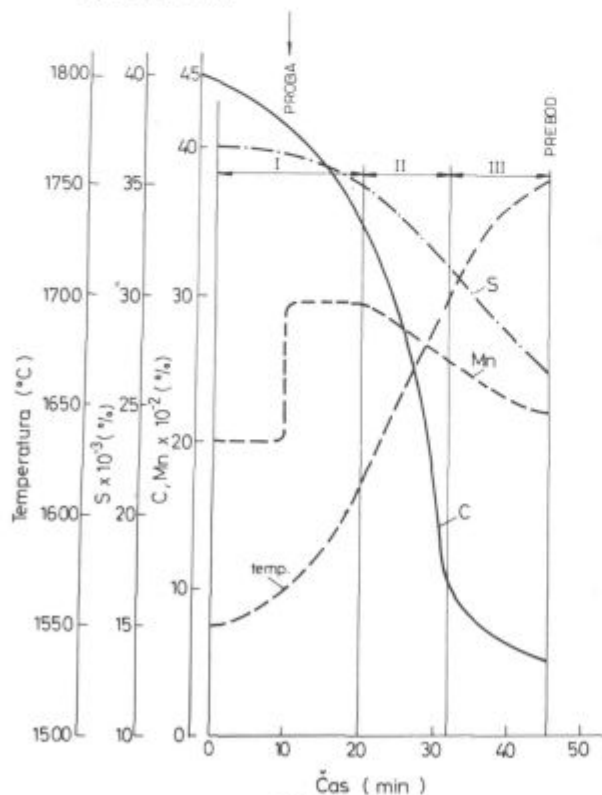
2. Kratek opis tehnoloških faz po klasičnem postopku

Glavne tehnološke faze klasične tehnologije izdelave dinamo jekla v elektropeči so:

- močna oksidacija v peči
- preddežoksidacija in rafinacija v peči
- gretje na predpisano temperaturo
- prebod
- legiranje, odžveplanje, rafinacija v ponovci, nastavljanje livne temperature

Glavne pomanjkljivosti oz. negativne karakteristike te tehnologije so:

- izredno močna oksidacija jekla (veliki odgori Fe, Mn, veliko kisika v jeklu)
- težavno doseganje analizno predpisane količine ogljika v končni kemični analizi ($C < 0,035\%$)
- veliki odgori legirnih elementov (Si, Al)
- uporaba dragih legirnih elementov (FeSi metal)
- uporaba CaSi



Slika 1
Razmere pri izdelavi dinamo jekla za VOD v peči

Fig. 1
Conditions of dynamo steel manufacturing for VOD in the furnace

3. Opis izdelave dinamo jekel po VOD postopku

Z izgradno VOD naprave se je izoblikovala nova tehnologija, s katero se izognemo nekaterim pomanjkljivostim stare tehnologije.

Potek VOD tehnologije je takle:

3.1 Postopek izdelave dinamo jekla v prvi fazi, t. j. izdelava v EOP je prikazana na sliki št. 1. Na diagramu so prikazani parametri:

- temperatura
- koncentracija C, Mn, S

v odvisnosti od časa.

Celotno fazo delimo na tri krajše faze:

I — jemanje prvega vzorca, ogrevanje, dodatek FeMn

II — oksidacija

III — gretje na prebodno temperaturo s prebodom

V primerjavi s klasičnim načinom izdelave dinamo jekla imamo naslednje prednosti:

- oksidacija v peči je zmernejša
- postopek je enostavnejši in zanesljivejši

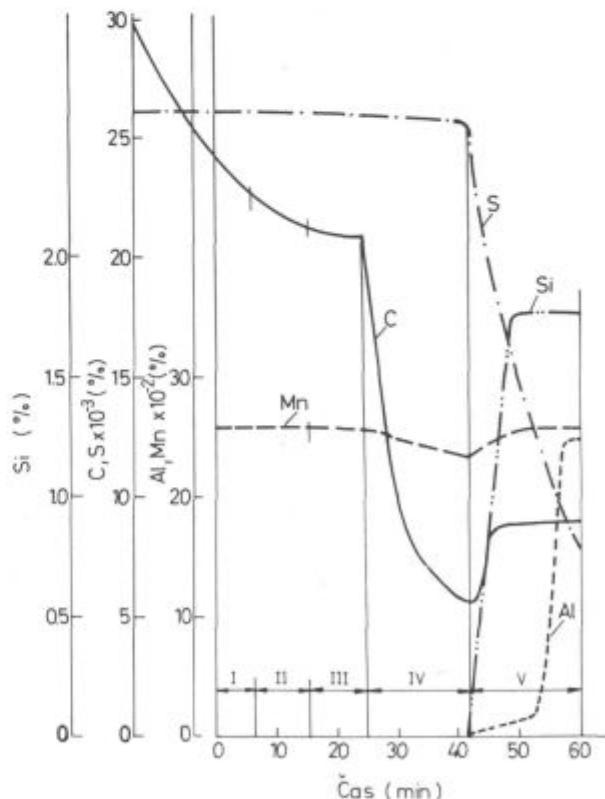
Nekoliko neugodne pa so visoke prebodne temperature (ca. 1760° C).

3.2 Druga faza je predpriprava ponovce s tekočim jeklom, ki sestoji iz:

I — jemanje vzorca po prebodu

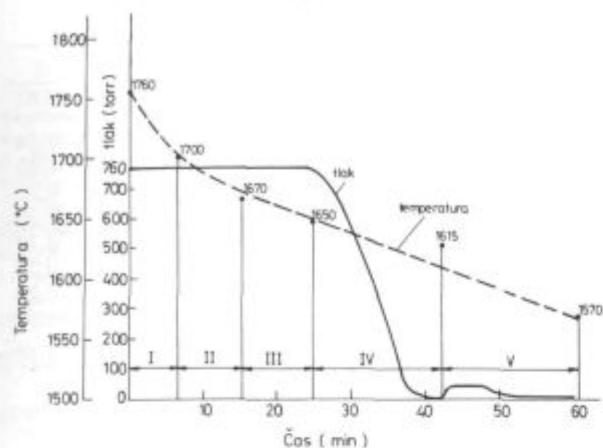
II — posnemanje žilindre iz ponovce

III — dodatki za tvorbo nove žilindre, meritev temperature, ...



Slika 2
Razmere pri izdelavi dinamo jekla v VOD (potek koncentracije elementov)

Fig. 2
Conditions of dynamo steel manufacturing in VOD (changing of the element concentrations)



Slika 3

Potek temperature in tlaka pri izdelavi dinamo jekla v VOD

Fig. 3

Temperature and pressure variations during the dynamo steel manufacturing in VOD

3.3 Tretja faza je obdelava jekla v VOD. Potek te faze je shematično prikazan na sliki št. 2 in št. 3.

Slika 2 prikazuje časovni potek koncentracije kemičnih elementov, t. j. Al, Si, Mn, C, S.

Slika 3 prikazuje časovni potek temperature in tlaka v VOD komori.

Poudariti je potrebno, da je postopek izdelave dinamo jekla v VOD z izjemo legiranja endotermni proces, kjer je zaznaven stalen padec temperature. Zato smo časovno omejeni in je potrebno tehnološke faze izredno natančno voditi, če želimo doseči željene rezultate. Normalni čas trajanja izdelave šarže od preboda do vlivanja je ca. 60 minut. V tem času naredimo naslednje tehnološke operacije:

- prebod in predpriprava
- razogljčenje jekla
- legiranje Si in Al
- rafinacija, razplinjanje in razžveplanje

Na sliki št. 2 je faza razogljčenja označena kot IV in faza rafinacije, razplinjanja in razžveplanja kot V.

Opis faze razogljčenja:

Po prebodu in posnetju pečne žilindre iz ponovce postavimo jeklo vplivu znižanega tlaka (glej sliko 3). Pri tem v jeklu raztopljeni aktivni kisik reagira z raztopljenim ogljikom in jeklo se razogljči do najnižjih vsebnosti ogljika (ca. 0,005 %). Čas trajanja faze razogljčenja je 15–20 minut. Ko je faza razogljčenja končana, sledi legiranje s Si in Al, razplinjenje in razžveplanje.

Opis faze rafinacije, razplinjanja in razžveplanja:

Si, Al dodajamo pod znižanim tlakom (glej sliko 3). Surovina na bazi Si je najcenejša varianta FeSi 75, ki vsebuje še večjo količino plinov, zato je potrebno jeklo dobro razpliniti.

Omenjene operacije rafinacije, razplinjanja in razžveplanja potekajo istočasno in celotna faza traja ca. 15–20 minut.

III. VREDNOTENJE REZULTATOV

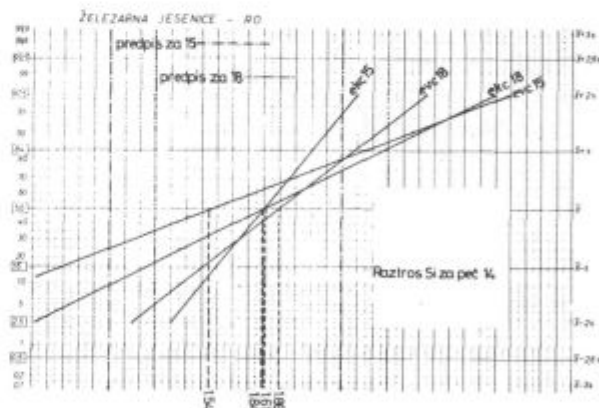
Prednosti vakuumske izdelave dinamo jekel v primerjavi s klasično izdelavo so v glavnem:

1. V končni kemični analizi dosegamo nižje količine C (<0,015 %), kar daje možnost hitrejšega razogljčevanja hladno valjanih trakov. Dobljeni praktični rezultati so prikazani na tabeli št. 2.

Tabela 2: Povečanje hitrosti žarjenja VOD dinamo jekla

Table 2: Increasing the Annealing rate of VOD Dynamo Steel

VOD	Klasično	Debelina pločevine (mm)	C v glavi (%)	Hitrost traku (m/min)	Kapaciteta (t/h)	Povprečno povečanje proizvodnje
X		0.35	0.020	50	7.98	22%
	X	0.35	0.035	40	6.38	
X		0.50	0.015	30	6.61	31%
	X	0.50	0.035	20	4.56	
X		0.65	0.015	25	7.18	44%
	X	0.65	0.035	14	4.02	



Slika 4

Porazdelitev Si za peč 14

Fig. 4

Silicon distribution for furnace 14

Pri debelini 0,35 in 0,5 mm se niso do kraja izkoristene možnosti, ki jih daje nizka vsebnost C, ker ni zadosti hladilnih kapacitet.

2. Za legiranje Si uporabljamo kot glavni dodatek najcenejšo varianto FeSi 75, namesto mnogo dražjega FeSi metal-a.

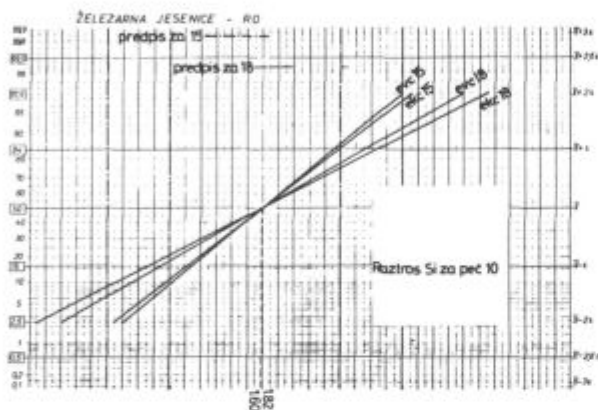
3. Klasična tehnologija izdelave dinamo jekla je bila v glavnem usmerjena na izdelavo kvalitete s povprečno 1,8 % Si v kemični analizi.

Z izgradnjo VOD naprave je omogočeno zanesljivo izdelovanje tudi nizkosiliciranih dinamo jekel z nižjo vsebnostjo Al. S tem železarna Jesenice razvija svoj proizvodni program in nudi novo kvaliteto jekla s specifičnimi elektromagnetnimi lastnostmi.

4. Dodatek CaSi pri izdelavi jekla ni več potreben.

5. Raztrosi kemičnih elementov so manjši in njihova koncentracija je bližja spodnji predpisani analizni meji. Raztros Si za kvaliteto EVC oz. EKC 15 in 18 je prikazan na diagramih št. 4 in 5 ter v tabeli št. 3.

6. Primerjava porazdelitve ostalih elementov (C, Mn, S, Al) v dinamo jeklu med klasično izdelanimi šaržami in šaržami, izdelanimi po VOD postoku, je prikazana v tabeli št. 3a:



Slika 5
Porazdelitev Si za peč 10

Fig. 5
Silicon distribution for furnace 10

Tabela 3: Porazdelitev Si v dinamo jeklu v letu 1984 v ŽJ

Table 3: Silicon Distribution in Dynamo Steel in Jesenice Ironworks in 1984

Kvaliteta	Peč 14		Peč 10	
	\bar{Si}	σ	\bar{Si}	σ
EKC 15	1.61	0.060	1.60	0.094
EVC 15	1.54	0.203	1.60	0.090
EKC 18	1.84	0.154	1.82	0.147
EVC 18	1.86	0.096	1.82	0.129

TABELA št. 3A:

Mesec	KLASIČNO				VOD			
	%C	%Mn	%S	%Al	%C	%Mn	%S	%Al
Jul.	0,033	0,28	0,006	0,28	0,008	0,28	0,011	0,24
Avg.	0,032	0,30	0,006	0,26	0,007	0,33	0,007	0,23
Sep.	0,033	0,30	0,008	0,27	0,006	0,29	0,010	0,25
Okt.	0,037	0,29	0,009	0,23	0,008	0,28	0,007	0,22
Nov.	0,037	0,31	0,006	0,27	0,013	0,30	0,006	0,24
Dec.	0,037	0,30	0,006	0,26	0,010	0,27	0,007	0,24
Jan.	0,035	0,35	0,008	0,25	0,009	0,27	0,006	0,25

Povprečne vrednosti navedenih elementov za to obdobje so prikazane na tabeli 3B.

TABELA št. 3B:

Element	KLASIČNO		VOD	
	%	σ	%	σ
C	0,032	0,004	0,009	0,005
Mn	0,290	0,051	0,283	0,043
S	0,008	0,005	0,006	0,003
Al	0,261	0,053	0,234	0,064

Dobljene vrednosti kažejo:

- količina ogljika v končni kemični analizi je občutno nižja
- Mn je nižji z manjšim raztrosom
- S je nižji z manjšim raztrosom
- Al je nižji z nekoliko večjim raztrosom

IV. ZAKLJUČEK

VOD naprava v Železarni Jesenice v jeklarni I je zgrajena z namenom izdelave:

- nerjavnih jekel
- dinamo in nizkoogljčnih jekel
- jekel z zagotovljeno količino plinov v jeklu

Vsa tri področja proizvodnje so osvojena. Pri tem imajo dinamo jekla posebno mesto, in sicer s stališča, da je VOD kot agregat za proizvodnjo dinamo jekel silno redko uporabljen. Zato je bilo uvajanje proizvodnje teh jekel toliko bolj delikatno in obvezujoče. Lahko rečemo, da smo nalogo uspešno izvedli, saj VOD naprava normalno obratuje v sistemu dela 4 + 1. Celotna tehnologija izdelave dinamo jekla je bila izdelana in osvojena z lastnim delom in znanjem v železarni Jesenice.

Enako uspešno kot dinamo ali še bolj pa teče tudi proizvodnja ostalih kvalitet jekla.

Lahko zaključimo, da smo z doseženimi rezultati zadovoljni, ker v novi jeklarni II gradimo enako večjo VOD napravo, ki bo glavni agregat ponovne metalurgije v jeklarni in od katere vsi veliko pričakujemo.

ZUSAMMENFASSUNG

Die VOD Anlage im Stahlwerk I ist hauptsächlich für die Erzeugung von nichtrostenden und Dynamostählen aufgestellt worden. Das VOD Verfahren wird für die Erzeugung von Dynamostahl sehr selten angewendet und es lagen keine richtigen Referenzen vor. Das gleiche Verfahren ist auch für das neue Stahlwerk 2 geplant.

Die Produktion von Dynamostahl in der neu errichteten Anlage ist erfolgreich verlaufen. Folgende Ergebnisse werden erzielt:

- die Erzeugung im LB Ofen ist kürzer und einfacher
- eine zu grosse Überfrischung der Schmelze wird vermieden
- im fertigen Stahl werden nach der VOD Behandlung Endkohlenstoffgehalte zwischen 0,005 und 0,015 % C erreicht
- für das Legieren werden billigere Ferrolegierungen angewendet

- Gebrauch von CaSi ist nicht mehr nötig
- zuverlässigkeit der Stahlherstellung ist grösser
- die Streuung der Gehalte einzelner Elemente ist kleiner
- der Entschwefelungsgrad in der VOD Anlage liegt zwischen 70—90 %
- die Giessbarkeit des Stahles ist hervorragend
- die Verformbarkeit von Stahl ist gut
- die Erzeugungstechnologie insgesamt ist einfacher und zuverlässiger
- der Erzeugungsprogramm konnte erweitert werden
- die erzielten Ergebnisse bestätigen unsere richtige Auswahl der Anlagen für das neue Stahlwerk 2, wo die VOD Anlage das wichtigste Aggregat für die Erzeugung Nichtrostender und Dynamo Stähle sein wird, wobei Dynamostahl den Hauptteil der Produktion darstellt.

SUMMARY

The VOD equipment in the Steel Plant I was built for manufacturing dynamo steel beside the manufacturing stainless steel. This process is very seldom used in the world therefore practically no real references were available. The same process is planned also for the Steel Plant II.

The production in the installed equipment started successfully. The following results were achieved:

- the manufacturing procedure in the furnace is shorter and simpler,
- severe oxidation of the melts can be avoided,
- in the final manufactured steel after the VOD treatment much lower carbon contents, i. e. between 0.005 and 0.015 %, are achieved,
- cheaper raw materials can be used for alloying,
- the application of CaSi is eliminated,

- reliability of the steel manufacturing is greater,
- dissipation of the content of chemical elements is lower,
- desulphuration degree in the VOD is between 70 and 90 %,
- steel castability is excellent,
- steel workability is good,
- manufacturing technology is simple and reliable,
- extension of the production program

The achieved results confirm our correct choice in the selection of equipment for the new Steel Plant II where VOD will be the basic equipment for the manufacturing steel (stainless, and dynamo) while dynamo steel will represent the main part of the production.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

VOD — устройство в сталеплавильном цехе I была построена с целью, кроме изготовления нержавеющей стали, также для изготовления динамной стали. Этот способ употребляется и в зарубежных странах очень редко, поэтому в распоряжении не было практически никаких определенных рекомендаций. В плане дальнейшего развития металлургического завода Есенице этот способ предусмотрен также в цехе II.

В построенном устройстве производство по этому способу уже успешно выполняется. Полученные результаты составляют:

- способ изготовления стали в печи более короткий и более простой;
- способ дает возможность уклонения от сильного окисления расплава.

При обработке стали в VOD — устройстве получены следующие результаты:

- существенное уменьшение количества C, которое составляет от 0,005 до 0,015 % C;
- для легирования можно употребить более дешёвые сплавы
- употребление CaSi исключено;
- увеличена надёжность изготовления стали;
- раструска содержания химических элементов уменьшена;
- степень удаления серы составлял между 70 и 90 %;
- литейные свойства стали — превосходны;
- свойства переработки стали — хорошие;
- технология изготовления стали несложная и надёжная;

Полученные результаты являются как подтверждение правильности ориентации при выборе агрегатов в новом сталеплавильном цехе II, где устройство VOD будет представлять главный агрегат для изготовления сталей (нержавеющих, динамных), причём динамные стали будут составлять главную долю производства.