

**CONDIȚII TEHNOLOGICE DE
UTILIZARE A POST-COMBUSTIEI LA
CUPTOARE ELECTRICE CU ARC
DIN SIDERURGIA ROMÂNESCĂ**

**TECHNOLOGICAL CONDITIONS
FOR USE OF POST-COMBUSTION
IN ELECTRIC ARC FURNACE IN
ROMANIAN STEEL INDUSTRY**

L. PĂUNESCU¹, Gh. SURUGIU², V. URSU³

¹CERMAX 2000 PATENTS SRL București

**²Inspecția de Stat pentru Controlul Cazanelor, Recipientelor sub Presiune și
Instalații de Ridicat București**

³Institutul de Cercetări Metalurgice București

Person contact: lucian.paunescu.cermax@gmail.com

REZUMAT / ABSTRACT

Tehnologia post-combustiei, abordată în lucrare, constituie una din etapele de modernizare (cronologic, cea mai recentă) a cuptoarelor electrice cu arc. Această tehnologie urmărește, pe de o parte, să producă energie prin arderea monoxidului de carbon și, pe de altă parte, să transfere această energie șarjei, fără efect oxidant. Scopul lucrării este îmbunătățirea performanțelor cuptorului tip EBT al societății Tenaris SA Călărași, furnizat de compania Mannesmann Demag, care nu dispune, în prezent, de echipamente pentru aplicarea post-combustiei. Măsurătorile efectuate au permis identificarea parametrilor funcționali ai cuptorului și stabilirea condițiilor tehnologice de implementare a post-combustiei. S-au determinat valoarea energiei termice disponibilizate prin creșterea ponderii căldurii reacțiilor exoterme din cuptor (32,2 MJ/t) și valoarea economiei nete de energie electrică corespunzătoare (8,1 kWh/t sau circa 162000 Euro/an).

Post-combustion technology, approached in the paper, constitutes one of the stages of modernization (chronologically, the most recent) of electric arc furnaces. This technology aims, on the one hand, to produce energy through combustion of carbon monoxide and, on the other hand, to transfer the charge this energy, without oxidant effect.

The paper purpose is the improvement of performances of the EBT type furnace of the company Tenaris S.A. Calarasi, provided by the company Mannesmann Demag, which, currently, lacks equipments for post-combustion application.

The measurements made have allowed to identify the functional parameters of the furnace and to establish the technological conditions for implementing the post-combustion. They were determined the value of the heat available by increasing the share of the exothermic reactions heat from furnace (32.2 MJ/t) and the corresponding value of the net economy of electricity (8.1 kWh/t or about 162000 Euro/year).

Key words: post-combustion, electric arc furnace, oxygen, electricity, carbon monoxide

1. INTRODUCERE

Procedeul post-combustiei reprezintă ansamblul de măsuri tehnologice pentru asigurarea condițiilor arderii în incinta cuptorului electric cu arc a monoxidului de carbon, rezultat din arderea carbonului cu oxigenul injectat în cuptor printr-o lance supersonică sau, în unele cazuri și prin injectoare dispuse în vatra cuptorului. Tehnologia post-combustiei urmărește două obiective: să producă

1. INTRODUCTION

The post combustion process represents the assembly of technological measures to assure the combustion conditions inside the electric arc furnace of carbon monoxide, resulted in the carbon combustion with oxygen injected in the furnace through a supersonic lance or, in some cases and, also, through injectors placed in the furnace hearth. Post-combustion technology aims two objectives: to produce energy

energie prin arderea CO și să transfere această energie șarjei, fără efect oxidant. Controlul pătrunderilor de aer în cuptorul electric este primordial. Un reglaj prost al sistemului de captare a gazelor este echivalent cu intrări de aer mai mari decât este necesar, care, pe de o parte, vor realiza post-combustia cu efecte principale constând în supraîncălzirea bolții și a circuitelor de captare a gazelor și, pe de altă parte, vor produce oxidarea metalului și a zgurii. Controlul debitului de oxigen furnizat cuptorului este de o importanță majoră din punct de vedere energetic și tehnologic, cu efect direct asupra consumului de energie electrică și al productivității.

Trebuie menționat faptul că procedeul post-combustiei constituie una din etapele de modernizare (cronologic, cea mai recentă) a cuptoarelor electrice cu arc, fiind asociată altor modernizări aplicate tuturor cuptoarelor performante: arzătoare oxigaz, lance supersonică pentru oxigen și praf de cărbune, pereți și boltă răcite, funcționare în regim UHP, conducere computerizată a procesului [1].

2. STADIUL ACTUAL PE PLAN MONDIAL ÎN DOMENIUL UTILIZĂRII POST-COMBUSTIEI

În prezent, se cunosc mai multe procedee de post-combustie destinate cuptoarelor electrice cu arc, aplicate industrial la cuptoare performante din siderurgia mondială.

Unul dintre acestea este procedeul Alarc-PC sau EAF, conceput de compania L'Air Liquide [2], ale cărui caracteristici principale sunt:

- injecția în contracurent a oxigenului prin pereții cuptorului pentru un bun amestec și o durată de menținere în baie compatibilă cu cinetica reacției de oxidare;
- injecția oxigenului cu impuls slab pentru un bun amestec și pentru a evita pierderile de randament datorate reacției inverse de oxidare cu CO₂;
- injecții multiple de oxigen pentru optimizarea transferului de căldură către șarjă;
- analiza continuă a gazelor arse și transmiterea acestor date în sistemul de control computerizat, care dictează debitul de oxigen injectat.

Avantajele pe care le oferă utilizarea procedurii Alarc-PC sunt:

- reducerea consumului specific de energie electrică cu 22 – 59 kWh/t;
- reducerea duratei de funcționare a cuptorului în sarcină, în medie, cu 11%;
- creșterea productivității cuptorului.

Procedeul Alarc-PC este implementat la numeroase cuptoare electrice cu arc performante din Europa, America de Nord și Asia.

O altă tehnologie modernă care utilizează post-combustia este tehnologia dezvoltată de Danieli Centromet Arc Furnace, denumită DANARC sau

through combustion of CO and to transfer the charge this energy, without oxidant effect. Control the entry of air into the electric furnace is primordial. An inadequate setting of gasses capture system is equivalent with air entries larger than necessary, which, on the one hand, will realize post-combustion with main effects consisting in the superheating of vault and gases capture circuits and, on the other hand, will produce the oxidation of metal and slag. Flow control oxygen supplied to the furnace is of major energy and technological importance, with direct effect on electricity consumption and productivity.

It must be mentioned that the post-combustion process constitutes one of the stages of modernization (chronologically, the most recent) of electric arc furnaces, being associated with other modernizations applied to all advanced furnaces : oxigas burners, supersonic lance for oxygen and coal dust, colled walls and vault, UHP regime functioning, computerized leading of process [1].

2. THE CURRENT STAGE IN THE WORLD IN THE POST-COMBUSTION

Currently, more post-combustion processes for electric arc furnaces are known, industrial applied to advanced furnaces in the world steel industry.

One of these, is Alarc-PC or EAF process, conceived by the company L'Air Liquide [2], whose main features are:

- *counter current injection of oxygen through the furnace walls for a good mixture and a maintenance duration in metal bath compatible with oxidation reaction kinetics;*
- *oxygen injection with low impulse for a good mixture and to avoid yield losses due to reverse reaction of oxidation with CO₂;*
- *multiple injections of oxygen to optimize the heat transfer to the charge;*
- *continuous analysis of waste gases and transmission of these data in the computerized control system, which establishes the flow of oxygen injected.*

The advantages of using Alarc-PC process are:

- *reduction of the specific consumption of electricity with 22 – 59 kWh/t;*
- *reduction of operation duration in electrical load of furnace, on average, with 11%;*
- *increasing of furnace productivity.*

Alarc -PC method is implemented in many electric arc furnaces advanced in Europe, North America and Asia.

Another modern technology which uses post-combustion is the technology developed by Danieli Centromet Arc Furnace, named DANARC or DC EAF

DC-EAF [3]. Aceasta include nu numai cuptorul propriu-zis, ci și toate echipamentele auxiliare, constituindu-se într-un proces tehnologic modern. Tehnologia DC-EAF include sisteme eficiente pentru alimentarea cu curent continuu și alternativ și recuperarea energiei produse prin post-combustia CO în cuptor, în combinație cu injecția de praf de cărbune și oxigen. În același timp, această dezvoltare tehnologică este legată de design-ul modern al cuptorului electric cu arc, cu panouri răcite cu apă, un nou tip de electrod amplasat în vatra cuptorului, arzătoare oxigaz, manipolatoare și transformatoare UHP cu reactanță în serie [4]. În scopul asigurării condițiilor pentru un înalt grad de post-combustie și un transfer de căldură eficient în baia metalică, sunt utilizate următoarele sisteme:

- amplasarea de injectoare de oxigen în vatra cuptorului, acestea producând CO pentru reacția de post-combustie la suprafața zgurii;
- praful de cărbune este injectat cu aer comprimat prin peretele cuptorului, direct în șarjă, printr-o țevă ceramică;
- lance supersonică pentru insuflarea oxigenului și cărbunelui, care asigură principala cantitate de oxigen pentru decarburarea șarjei și arderea elementelor care trec în zgură;
- arzătoare post-combustie pentru intensificarea topirii fierului vechi (după prima fază a topirii se insuflă numai oxigen pentru post-combustie).

Procedul DC-EAF face posibilă îmbunătățirea eficienței transferului de căldură de la arcul electric, arzătoare și procesul post-combustiei către baia metalică. Acestea, împreună cu utilizarea panourilor răcite, pot diminua substanțial energia pierdută și, în consecință, durata procesului de topire se reduce, productivitatea cuptorului crește, iar costurile de producție se micșorează. În cadrul tehnologiei DANARC a fost dezvoltat un program complet de simulare a procesului din cuptorul electric. Un sistem perfecționat de analiză chimică continuă și completă a gazelor arse din incinta cuptorului permite conducerea automată a procesului post-combustiei.

Un alt procedeu modern de elaborare a oțelului în cuptoare electrice cu arc utilizând post-combustia este procedul K-ES al companiei VAI [5]. Acesta permite obținerea eficienței maxime a utilizării energiei de ardere a carbonului conținut în șarjă și înlocuirea unei părți din energia electrică cu energia combustibililor fosili (cărbune). Economia de energie electrică care poate fi obținută prin utilizarea procedului VAI este de peste 25%. Particularitatea procedului VAI constă în efectuarea injecției de oxigen prin arzătoarele combinate pentru post-combustie amplasate în pereții cuptorului, precum și printr-o lance combinată care insuflă oxigen în baia metalică în perioadele în care nu este folosită ca arzător. Tehnologia K-ES poate fi aplicată la toate cuptoarele electrice cu arc moderne,

[3]. This includes not only the furnace itself, but, also, all auxiliary equipments, constituting a modern technological process. DC-EAF technology includes efficient systems to supply continuous and alternating current and to recovery the energy made by CO post-combustion in the furnace, combined with coal dust and oxygen injection. Simultaneously, this technological development is related to the modern design of electric arc furnace, with water cooled panels, a new type of electrode placed in the furnace hearth, oxigas burners, manipulators and UHP transformers with reactance in series [4]. In order to assure the conditions for high degree of post-combustion and an efficient heat transfer in metal bath, are used the following systems:

- location of oxygen injectors in the furnace hearth, these producing CO for post-combustion reaction on the surface of slag;
- coal dust is injected with compressed air through the furnace walls, directly in the charge, through a ceramic pipe;
- a supersonic lance to instil oxygen and coal, which assure the main amount of oxygen to decarbonise the charge and to burn the elements that pass in slag;
- post-combustion burners to intensify the scrap iron melting (after the first phase of melting only oxygen is instilled for post-combustion).

DC-EAF process makes possible the improving of heat transfer efficiency from electric arc, burners and post-combustion process to the metal bath. These, with the use of cooling panels, can substantially diminish the lost energy and, accordingly, the duration of melting process is reduced, the furnace productivity increases and the production costs are decreased. In DANARC technology, a complete program of the process simulation in electric furnace was developed. An advanced system of continuous and complete chemical analysis of waste gases inside furnace allows automatic leading of post-combustion process.

Another modern process of steel manufacturing in electric arc furnace using post-combustion is K-ES process of the company VAI [5]. This allows to obtain a maximum efficiency of using of combustion energy of carbon contained in charge and to partially replace electricity with fossil fuels energy (coal). The electricity economy that may be obtained through VAI process using is over 25%. The peculiarity of VAI process consists in oxygen injection through combined burners for post-combustion placed in the furnace walls, as well as, through a combined lance, which instils oxygen in metal bath during it is not used as burner. K-ES technology may be applied to all advanced electric arc furnaces, independently of the furnace dimensions and current type used (continuous

independent de dimensiunile cuptorului și tipul de curent electric folosit (continuu sau alternativ).

Tehnologia post-combustiei realizată de IRSID [6] se bazează pe injecția oxigenului în timpul fazei de topire prin intermediul a trei lănci situate în bolta cuptorului. Post-combustia, aplicată industrial la SAM Neuves-Maisons, a permis atingerea obiectivelor dorite de productivitate în condițiile reducerii consumului specific de energie electrică cu 20 kWh/t și unui consum suplimentar de oxigen pentru post-combustie de 5 Nm³/t.

3. EVALUAREA CONDIȚIILOR REALE DE COMBUSTIE ÎN CUPTORUL ELECTRIC CU ARC TIP EBT DE LA TENARIS CĂLĂRAȘI

3.1. Considerații generale

În general, modernizarea cuptoarelor electrice cu arc din industria oțelului din România a creat premisele obținerii unor parametri funcționali competitivi (consum specific de energie electrică, durata procesului de topire, productivitatea cuptoarelor etc.) la nivel european, datorită cumpărării de pe piața internațională a unor echipamente consacrate. Cercetarea, care face obiectul lucrării de față, a urmărit îmbunătățirea performanțelor cuptorului electric cu arc tip EBT (furnizat de compania germană Mannesmann Demag) de la societatea Tenaris S.A. Călărași.

Cuptorul, având capacitatea de 85 t, caracterizat prin evacuarea oțelului prin vatră, dispune de următoarele elemente de modernizare:

- pereți cu panouri răcite cu apă;
- boltă răcită;
- lance pentru insuflarea oxigenului și prafului de cărbune;
- regim de funcționare UHP;
- computer pentru controlul procesului tehnologic.

Așadar, cuptorul nu dispune de arzătoare oxigaz și echipamente pentru aplicarea tehnologiei post-combustiei.

3.2. Metodologia de lucru

Determinarea parametrilor combustiei în cuptorul electric cu arc implică, pe de o parte, măsurarea temperaturii și compoziției gazelor emise de cuptor la ieșirea acestora din cotul de evacuare a gazelor arse și, pe de altă parte, determinarea cantităților și compozițiilor chimice ale materialelor încărcate în cuptor, precum și ale oțelului și zgurii.

Temperatura și compoziția chimică a gazelor arse sunt măsurate continuu și transmise în sistemul computerizat de conducere al cuptorului. Valorile consumurilor specifice de material încărcate în cuptor

or alternating).

Post-combustion technology developed by IRSID [6] is based on oxygen injection during melting phase with three lances placed in the furnace vault. Post-combustion, industrial applied at SAM Neuves-Maisons, allowed to reach the desired objectives of productivity in conditions of reducing the specific consumption of electricity with 20 kWh/t and of a supplementary consumption of oxygen for post-combustion of 5 Nm³/t.

3. ASSESSMENT OF REAL CONDITIONS OF COMBUSTION IN THE ELECTRIC ARC FURNACE EBT TYPE OF TENARIS CALARASI

3.1. General considerations

Generally, the modernization of electric arc furnaces in Romanian steel industry created the prerequisites to obtain competitive functional parameters (specific consumption of electricity, melting process duration, furnaces productivity etc.) at an European level due purchase of consecrated equipments on the international market.

To research, which is the subject of this paper, aimed to improve performances of electric arc furnace EBT type (supplied by the German company Mannesmann Demag) of the company Tenaris S.A. Calarasi.

The furnace, with capacity of 85 t, characterized by steel discharge through the hearth, has the following modernization elements:

- walls with water cooling panels;
- cooling vault;
- lance for oxygen and coal dust instilling;
- UHP operating system;
- computer for technological process control.

Therefore, the furnace is not equipped with oxigas burners and equipments to apply post-combustion technology.

3.2. Working methodology

The determination of combustion parameters in the electric arc furnace involves, on the one hand, measurement of temperature and gases composition emitted by the furnace at their output from the exhaust elbow of waste gases and on the other hand, the determination of amounts and chemical composition of materials loaded in furnace, as well as, of steel and slag.

The temperature and chemical composition of waste gases are continuously measured and submitted in the computerized loading system of furnace. The values of specific consumptions of materials loaded in furnace

au fost preluate din evidența primară a secției. De asemenea, compoziția chimică a oțelului la evacuarea din cuptor și cantitatea acestuia au fost preluate din aceeași evidență a secției. Cantitatea de zgură a fost determinată prin calcul.

Datele conținute în bilanțul de material au fost utilizate la calculul bilanțului energetic al cuptorului, în situația actuală, de referință, precum și în situația aplicării post-combustiei, pe baza ipotezei de calcul a arderii CO din gazele arse cu formare de CO₂, cu aport suplimentar de oxigen.

3.3. Rezultatele măsurătorilor

În **Tabelul 1** se prezintă graficul desfășurării unei șarje reprezentative pentru perioada actuală de funcționare a cuptorului EBT de la Tenaris Călărași, cu o durată totală de 120 minute, din care 25 minute opriri accidentale.

Tabelul cuprinde duratele totale și efective ale tuturor fazelor și operațiilor tehnologice, duratele de insuflare a oxigenului și grafitului, precum și temperaturile gazelor arse.

were taken from the primary evidence of department. Also, the chemical composition of steel at discharge from the furnace and its amount were taken from the same evidence of department. The amount of slag was determined by calculus.

Data contained in the material balance were used to calculate the energy balance of furnace, in the current situation, of reference, as well as, in situation of post-combustion application, based on calculus hypothesis of combustion of CO from waste gases, with formation of CO₂, with supplementary contribution of oxygen.

3.3. Measurements results

In **Table 1** is presented the schedule of a representative charge for current period of working of the EBT furnace in Tenaris Calarasi, with a total duration of 120 minutes, of which 25 minutes accidental stops.

The table contains total and effective durations of all technological phases and operations, durations of oxygen and graphite instilling, average compositions of waste gases on phases and period with or without oxygen and graphite instilling, as well as, waste gases temperatures.

Tabelul 1. Graficul desfășurării șarjei
Table 1. The charge schedule

Phase (operations)	Phase duration (min)			Duration of insufflation of oxygen and graphite (min)	Average composition of waste gases (%)						Waste gases temperature (°C)	
	Total	Effective	Accidental stops		Without insufflations of oxygen and graphite			With insufflations of oxygen and graphite			Without insufflations of oxygen and graphite	With insufflations of oxygen and graphite
					CO ₂	O ₂	CO	CO ₂	O ₂	CO		
Adjustment	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Loading first bucket	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Melting first bucket	34	19	15	8	82.0	4.2	5.2	85.5	1.1	11.8	1270	1460
Loading second bucket	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Melting second bucket	18	18	-	15	76.0	9.6	3.0	85.0	1.5	9.0	1280	1520
Loading third bucket	6	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Melting third bucket	30	20	10	17	70.7	9.8	3.3	85.8	1.6	8.8	1300	1510
Sample taken at the end melting	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refining	8	8	-	8	-	-	-	83.9	1.7	8.3	-	1500
Total	120	95	25	48								

În **Tabelele 2, 3 și 4** sunt prezentate compozițiile chimice ale materialelor încărcate în cuptor, ale oțelului lichid și zgurii lichide la evacuare din cuptor.

*In **Tables 2, 3 and 4** are presented the chemical compositions of materials loaded in furnace, liquid steel and liquid slag discharged from furnace.*

Tabelul 2. Compoziția chimică a materialelor încărcate în cuptor (%)

Table 2. Chemical composition of materials loaded in furnace (%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Fe	O ₂	Other elements
Scrap iron	0.20	0.40	0.45	0.025	0.025	93.89	2.00	3.00
Lime	-	-	-	-	-	-	28.60	71.40
Dolomite	-	1.40	-	-	-	0.70	33.94	63.96
Coke	85.00	-	-	-	-	-	-	15.00
Graphite	66.00	-	-	-	1.00	-	-	33.00
Calcium fluoride	-	-	-	-	-	-	-	100.00

Tabelul 3. Compoziția chimică a oțelului lichid la evacuare (%)

Table 3. Chemical composition of liquid steel discharged (%)

C	Si	Mn	P	S	Fe	Other elements
0.07	-	0.07	0.011	0.03	99.399	0.42

Tabelul 4. Compoziția chimică a zgurii lichide (%)

Table 4. Chemical composition of liquid slag (%)

CaO	MgO	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	MnO	Other oxides
24.93	9.09	15.05	31.60	1.31	8.84	9.19

La calculul bilanțului de materiale al cuptorului EBT de la Tenaris Călărași în situația actuală (**Tabelul 5**) s-au utilizat consumurile specifice de materiale încărcate în cuptor, după cum urmează: fier vechi 1168 kg/t, var 29,4 kg/t, dolomită 7,7 kg/t, cocs 10,2 kg/t, fluorură de calciu 0,1 kg/t, grafit insuflat 4,5 kg/t, oxigen insuflat 19,4 Nm³/t (27,7 kg/t), consum electrozi 3,9 kg/t.

*In material balance calculus of the EBT furnace in Tenaris Calarasi (**Table 5**) were used the specific consumptions of materials loaded in furnace, as follows: scrap iron 1168 kg/t, lime 29.4 kg/t, dolomite 7.7 kg/t, coke 10.2 kg/t, calcium fluoride 0.1 kg/t, instilled graphite 4.5 kg/t, instilled oxygen 19.4 Nm³/t (27.7 kg/t), electrodes consumption 3.0 kg/t.*

Tabelul 5. Bilanțul de materiale în situația actuală

Table 5. Material balance in the current situation

INPUTS									
Material	Total (kg/t)	C (kg/t)	Si (kg/t)	Mn (kg/t)	P (kg/t)	S (kg/t)	Fe (kg/t)	O ₂ (kg/t)	Other elements (kg/t)
Scrap iron	1168	2.34	4.67	5.26	0.29	0.41	1096.63	23.36	35.04
Instilled graphite	4.5	2.97	-	-	-	0.04	-	-	1.49
Lime	29.4	-	-	-	-	-	-	8.41	20.99
Dolomite	7.7	-	0.10	-	-	-	0.05	2.61	4.92
Coke	10.2	8.67	-	-	-	-	-	-	1.53
Calcium fluoride	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.10
Oxygen	27.7	-	-	-	-	-	-	27.70	-
Electrodes consumption	3.0	1.98	-	-	-	0.03	-	-	0.99
Air	2.63	-	-	-	-	-	-	0.61	2.02
Total	1253.23	15.96	4.77	5.26	0.29	0.48	1096.68	62.69	67.08

OUTPUTS									
Material	Total (kg/t)	C (kg/t)	Si (kg/t)	Mn (kg/t)	P (kg/t)	S (kg/t)	Fe (kg/t)	O ₂ (kg/t)	Other elements (kg/t)
Liquid steel	1000	0.70	-	0.70	0.11	0.30	993.99	-	4.20
Liquid slag	98.84	-	4.77	4.56	0.18	-	16.69	19.33	22.47 + 30.84
Waste gases + dust	146.06	15.26	-	-	-	0.18	86.00	40.21	4.41
Total	1244.90	15.96	4.77	5.26	0.29	0.48	1096.68	59.54	61.92
Error	8.33	-	-	-	-	-	-	3.15	5.16

Structura bilanțului energetic al cuptorului în situația actuală este prezentată în **Tabelul 6**:

*The structure of energy balance of furnace in the current situation is presented in **Table 6**.*

Tabelul 6. Structura bilanțului energetic în situația actuală
 Table 6. Structure of energy balance in the current situation

Inputs	MJ/t	%	Outputs	MJ/t	%
Electric arc heat	1907.523	70.56	Physical heat of liquid steel	1456.234	53.86
Exothermic reactions heat	786.918	29.11	Heat consumed to evaporate moisture	67.734	2.51
Physical heat of loads	8.671	0.32	Physical heat of liquid slag	219.583	8.12
Physical heat of instilled oxygen	0.381	0.01	Physical heat of waste gases	98.795	3.65
Physical heat of air aspired in furnace	0.042	0.001	Heat of the dust entrained with waste gases	89.241	3.30
			Endothermic reactions heat	20.975	0.78
			Heat lost through the furnace shell	216.281	8.00
			Heat lost with the cooling water	423.802	15.68
			Heat lost through radiation during instilling oxygen and graphite	6.152	0.23
			Balance error	104.738	3.87
Total	2703.535	100	Total	2703.535	100

Analizele chimice ale gazelor arse evacuate din cuptor au permis să se determine intervalele variației concentrației CO în gaze în diferite perioade ale procesului tehnologic. Astfel, la funcționarea fără insuflare de oxigen și grafit, CO se încadrează în intervalul 3,0 – 5,2%, iar oxigenul are valori cuprinse între 4,2 – 9,8%. Odată cu insuflarea oxigenului și grafitului, concentrația CO în gaze crește la valori între 8,3 – 11,8%, în timp ce oxigenul scade la valori cuprinse în intervalul 1,1 – 1,7%.

Ținând seama că durata efectivă a insuflării oxigenului și grafitului este de 48 minute, media ponderată a compoziției gazelor este următoarea: 8,0% CO, 2,9% O₂ și 83,5% CO₂.

Din bilanțul de materiale rezultă că o mare cantitate de fier (86 kg/t) se regăsește în praful antrenat odată cu gazele arse. Deoarece, în prezent, nu se cântărește cantitatea de praf captată în instalația de desprăfuire, la calculul bilanțului energetic a fost utilizată această valoare.

The chemical analysis of waste gases exhausted from furnace allowed to determine the ranges of variations of CO concentration in gases, in different periods of the technological process. Thus, to function without oxygen and graphite instilling, CO is in range 3.0 – 5.2% and oxygen has values between 4.2 – 9.8%. With the oxygen and graphite instilling, CO concentration in waste gases increase to 8.3 – 11.8%, while oxygen decreases to values in range 1.1 – 1.7%.

Taking into account that the effective duration of oxygen and graphite instilling is 48 minutes, the weighted average of gases composition is the following: 8.0% CO, 2.9% O₂ and 83.5% CO₂.

From the material balance results that a great amount of iron (86 kg/t) is found in dust entrained with waste gases. Because, current, is not weighed the amount of dust captured into cyclone, in energy balance calculus was used this value.

Randamentul termic al procesului de topire în cuptor s-a calculat cu relația:

$$\eta = Q_{\text{util}} / Q_{\text{intrare}} \quad (1)$$

unde:

Q_{util} - căldura utilă, compusă din căldura fizică a oțelului lichid și căldura consumată pentru evaporarea umidității, MJ/t;

Q_{intrare} - totalul căldurii intrate în conturul de bilanț, MJ/t.

Deci:

$$\eta_t = (1456.234 + 67.734) / 2703.535 = 0.564$$

Căldura reacțiilor exoterme reprezintă în situația actuală 29,11%.

Aplicarea post-combustiei vizează creșterea acestui procentaj prin arderea CO din gazele arse la CO₂, cu degajare de căldură suplimentară, permițând, astfel, reducerea corespunzătoare a consumului specific de energie electrică (în prezent, 530 kWh/t).

4. STABILIREA SOLUȚIEI DE APLICARE A POST-COMBUSTIEI LA CUPTORUL ELECTRIC CU ARC TIP EBT

Post-combustia în cuptorul electric cu arc presupune arderea monoxidului de carbon cu un aport suplimentar de oxigen, astfel încât căldura de reacție să fie utilizată în procesul tehnologic. Cu alte cuvinte, arderea carbonului din încărcătură se produce în două etape, conform reacțiilor:



Conform datelor din **Tabelul 5**, cantitatea de carbon ars este 15,26 kg/t.

Prin aplicarea post-combustiei, întreaga cantitate de carbon arde la CO₂, ceea ce înseamnă că va rezulta o cantitate de CO₂ de 55,95 kg/t.

Oxigenul legat chimic în CO₂ reprezintă 40,72 kg/t.

Cantitatea de CO din gazele arse în situația actuală a fost determinată la valoarea de 3,10 kg/t. Prin aplicarea post-combustiei, această cantitate trebuie arsă cu aport suplimentar de oxigen, în valoare de 1,77 kg/t sau 1,24 Nm³/t. Ținând seama de aceste modificări, bilanțul de materiale corespunzător aplicării post-combustiei se adaptează conform **Tabelului 7**.

The heat efficiency (η_t) of the melting process in furnace was calculated with the relationship:

where:

Q_{util} - the useful heat, composed by the physical heat of liquid steel and the heat consumed to evaporate the moisture, MJ/t;

Q_{intrare} - total heat entered to the balance, MJ/t.

So:

The heat of exothermic reactions represents in the current situation 29.11%.

Post-combustion implementation aims to increase this percentage through combustion of CO from waste gases to CO₂, with release supplementary heat, allowing, thus, the corresponding reduction of specific consumption of electricity (currently, 530 kWh/t).

4. ESTABLISHING THE APPLICATION SOLUTION OF POST-COMBUSTION AT THE ELECTRIC ARC FURNACE EBT TYPE

Post-combustion in electric arc furnace supposes combustion of carbon monoxide with a supplementary contribution of oxygen, so that the reaction heat to be used in the technological process. In other words, the combustion of carbon from loads is produced in two stages according to reactions:

*According to data from **Table 5**, the amount of burnt carbon is 15.26 kg/t.*

By post-combustion implementation, the entire amount of carbon burns to CO₂, that means that will result an amount of CO₂ of 55.95 kg/t.

Oxygen, chemically bound in CO₂, represents 40.72 kg/t.

*The amount of CO in waste gases, in the current situation, was determined to 3.10 kg/t. By post-combustion application, this amount must be burned with supplementary contribution of oxygen of 1.77 kg/t, or 1.24 Nm³/t. Considering these changes, the material balance corresponding to post-combustion implementation adapts according to **Table 7**.*

Tabelul 7. Bilanțul de materiale în situația aplicării post-combustiei
 Table 7. Material balance in the situation of post-combustion application

INPUTS									
Material	Total	C	Si	Mn	P	S	Fe	O ₂	Other elements
	(kg/t)	(kg/t)	(kg/t)	(kg/t)	(kg/t)	(kg/t)	(kg/t)	(kg/t)	(kg/t)
Scrap iron	1168	2.34	4.67	5.26	0.29	0.41	1096.63	23.36	35.04
Instilled graphite	4.5	2.97	-	-	-	0.04	-	-	1.49
Lime	29.4	-	-	-	-	-	-	8.41	20.99
Dolomite	7.7	-	0.10	-	-	-	0.05	2.61	4.92
Coke	10.2	8.67	-	-	-	-	-	-	1.53
Calcium fluoride	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.10
Oxygen	29.47	-	-	-	-	-	-	29.47	-
Electrodes consumption	3.0	1.98	-	-	-	0.03	-	-	0.99
Air	2.63	-	-	-	-	-	-	0.61	2.02
Total	1255.00	15.96	4.77	5.26	0.29	0.48	1096.68	64.46	67.08
OUTPUTS									
Liquid steel	1000	0.70	-	0.70	0.11	0.30	993.99	-	4.20
Liquid slag	98.84	-	4.77	4.56	0.18	-	16.69	19.33	22.47 + 30.84
Waste gases + dust	147.18	15.26	-	-	-	0.18	86.00	41.33	4.41
Total	1246.02	15.96	4.77	5.26	0.29	0.48	1096.68	60.66	61.92
Error	8.98	-	-	-	-	-	-	3.80	5.16

Energia termică degajată (căldură exotermă) prin arderea integrală a celor 15,26 kg carbon/t este 519,686 MJ/t.

Fără post-combustie, prin arderea a 13,93 kg C/t la CO₂ și, respectiv, prin arderea a 1,33 kg C/t la CO, rezultă următoarea cantitate totală de căldură exotermă:

$$474,39 + 13,082 = 487,472 \text{ MJ/t.}$$

Diferența dintre cele două valori ale căldurii exoterme, calculate mai sus, constituie energia termică disponibilizată prin aplicarea procedurii post-combustiei, adică:

$$519,686 - 487,472 = 32,214 \text{ MJ/t (sau } 8,9 \text{ kWh/t).}$$

Bilanțul energetic al cuptorului prin aplicarea post-combustiei se modifică conform **Tabelului 8**.

Consumul de oxigen în cuptorul electric cu arc tip EBT de la Tenaris Călărași este, în prezent, de 19,4 Nm³/t. Prin aplicarea post-combustiei este necesar un consum suplimentar de 1,24 Nm³/t.

Deci, consumul total de oxigen va fi 20,64 Nm³/t.

The thermal energy released (exothermic heat) through the integral combustion of the 15.26 kg carbon/t is 519.686 MJ/t.

Without post-combustion, by combustion of 13.93 kg C/t to CO₂, results the following total amount of exothermic heat:

$$474.39 + 13.082 = 487.472 \text{ MJ/t.}$$

The difference between the two values of exothermic heat calculated above constitutes the thermal energy available by post-combustion process application, i.e.:

$$519.686 - 487.472 = 32.214 \text{ MJ/t (or } 8.9 \text{ kWh/t).}$$

*The energy balance of furnace by post-combustion implementation is modified according to **Table 8**.*

Oxygen consumption in electric arc furnace EBT type of Tenaris Calarasi is, currently, of 19.4 Nm³/t. By post-combustion application is necessary a supplementary consumption of 1.24 Nm³/t.

So, the total consumption of oxygen will be 20.64 Nm³/t.

Tabelul 8. Structura bilanțului energetic al cuptorului prin aplicarea post-combustiei
 Table 8. Structure of energy balance of furnace through post-combustion application

Inputs	MJ/t	%	Outputs	MJ/t	%
Electric arc heat	1875.491	69.37	Physical heat of liquid steel	1456.234	53.86
Exothermic reactions heat	819.097	30.30	Heat consumed to evaporate moisture	67.734	2.51
Physical heat of loads	8.671	0.32	Physical heat of liquid slag	219.583	8.12
Physical heat of instilled oxygen	0.406	0.01	Physical heat of waste gases	97.460	3.60
Physical heat of air aspired in furnace	0.042	0.001	Heat of the dust entrained with waste gases	89.241	3.30
			Endothermic reactions heat	20.975	0.78
			Heat lost through the furnace shell	216.281	8.00
			Heat lost with the cooling water	423.802	15.68
			Heat lost through radiation during instilling oxygen and graphite	6.152	0.23
			Balance error	106.232	3.93
Total	2703.707	100	Total	2703.707	100

În **Tabelul 9** se prezintă comparativ valorile consumurilor specifice de oxigen la cuptoare electrice cu arc moderne, înainte și după aplicarea post-combustiei [2, 7].

*In **Table 9** are presented comparatively the values of specific consumption of oxygen at advanced electric arc furnaces, before and after post-combustion implementation [2, 7].*

Tabelul 9. Consumuri specifice de oxigen la cuptoare electrice cu arc performante
 Table 9. Oxygen specific consumption of advanced electric arc furnace

Plant	Specific consumption of oxygen, Nm ³ /t	
	Without post-combustion	With post-combustion
Badische	35.6	45.6
Von Roll	14.0	33.0
Valsabbia	29.3	34.2
Cascade Steel	33.0	56.0
SAM Neuves-Maisons	29.8	34.6

Se remarcă faptul că, exceptând uzina Von Roll, toate celelalte uzine cu cuptoare electrice cu arc performante prezentate în **Tabelul 9** au consumuri specifice de oxigen evident mai mari decât cele calculate pentru Tenaris Călărași, cuprinse între 29,3 – 35,6 Nm³/t, în situația fără aplicarea post-combustiei și, respectiv, între 34,2 – 56,0 Nm³/t, în situația cu aplicarea post-combustiei. Explicația constă în faptul că aceste cuptoare au în dotare arzătoare oxigaz (consumatoare de oxigen), spre deosebire de cuptoarele de la Tenaris și Von Roll.

Prin aplicarea post-combustiei se obține o creștere a valorii căldurii reacțiilor exoterme, care permite reducerea consumului specific de energie electrică cu 8,9 kWh/t în cazul cuptorului de la Tenaris. Ținând seama de consumul suplimentar de energie electrică pentru producerea oxigenului industrial, de

*It is noted that, excepting Von Roll plant, all other plants with advanced electric arc furnaces presented in **Table 9** have specific consumption of oxygen, evidently, more than calculated for Tenaris Calarasi, comprised between 29.3 – 35.6 Nm³/t, in the situation without post-combustion implementation and, respectively, between 34.2 – 56.0 Nm³/t, in the situation with post-combustion application. The explanation consists in the fact that these furnaces are endowed with oxigas burners (oxygen consumers), in contrast with the furnace of Tenaris and Von Roll. By post-combustion application is obtained an increasing of exothermic reaction heat values, that allows to reduce the specific consumption of electricity with 8.9 kWh/t in the case of Tenaris furnace. Considering to supplementary consumption of electricity to produce industrial oxygen, of*

0,65 kWh/Nm³ oxigen, rezultă că valoarea economiei nete de energie electrică este de 8,1 kWh/t.

În ceea ce privește randamentul termic al procesului tehnologic în situația utilizării post-combustiei, valoarea acestuia nu se modifică față de situația actuală, pentru că se compensează creșterea căldurii reacțiilor exoterme cu reducerea căldurii dezvoltate de arcul electric.

5. ELEMENTELE DE BAZĂ ALE PROIECTĂRII SISTEMULUI DE CONTROL A POST-COMBUSTIEI ÎN CUPTORUL EBT

În principiu, pentru aplicarea post-combustiei la cuptorul electric cu arc sunt necesare următoarele operații:

- determinarea continuă a concentrației CO în gazele arse, prelevarea probelor efectuându-se din zona cotului de evacuare a gazelor arse;
- transmiterea datelor referitoare la concentrația CO din gazele arse la calculatorul de proces al cuptorului;
- transmiterea semnalului la electroventilul de oxigen, care deschide sau închide, în funcție de necesități, alimentarea cu oxigen a lancei amplasate în pereții cuptorului;
- măsurarea continuă a debitului orar de oxigen insuflat prin lance, prin intermediul unei diafragme și transmiterea datelor cu ajutorul unui traductor de presiune la calculatorul de proces.

O operație secundară este aceea a asigurării răcirii continue cu apă a lancei de oxigen. Prin intermediul unui presostat se limitează valoarea minimă a presiunii apei de răcire. Acesta poate asigura deschiderea electroventilului din circuitul auxiliar (de rezervă) al apei de răcire, în cazul în care presiunea apei din circuitul primar de răcire a scăzut sub limita minimă impusă, precum și închiderea acestuia în momentul restabilirii presiunii în circuitul primar.

Figura 1 prezintă schema electrică de automatizare a procedurii post-combustiei la un cuptor electric cu arc tip EBT.

Metoda cea mai eficientă pentru măsurarea concentrației CO din gazele arse este metoda fizică, bazată pe absorbția radiațiilor infraroșii numai în anumite domenii, care formează benzi de absorbție specifice fiecărui gaz. Aparatul care satisface aceste condiții este analizorul INFRAlyt (AG).

Instalația de transmitere și înregistrare se compune din amplificatorul de semnal (AS), care amplifică tensiunea obținută prin transformarea variației periodice a capacității, convertorul (C1) cu rol de redresor al semnalului, care este dirijat spre calculatorul de proces (CP), unde sunt achiziționate, prelucrate și, apoi, transmise informațiile către elementele de execuție.

Instalația de automatizare a alimentării cu oxigen a

0.65 kWh/Nm³ oxygen, results that the value of net economy of electricity is 8.1 kWh/t.

Relating to the thermal efficiency of technological process in the situation of post-combustion using, its value is not modified given the current situation, because exothermic reactions heat increasing is compensated with reduction of heat developed by electric arc.

5. THE BASED ELEMENTS OF DESIGN OF CONTROL SYSTEM OF POST-COMBUSTION IN EBT TYPE FURNACE

In principle, in order to apply post-combustion at electric arc furnace are necessary the following operations:

- continuous determination of CO concentration in waste gases, taking samples carrying out from waste gases exhaust elbow area;
- submission of data referring to CO concentration in waste gases to the process computer of furnace;
- submission of signal to oxygen electrovalve, which opens or closes, as needed, the oxygen supply of lance placed in the furnace walls;
- continuous measurement of hourly oxygen flow instilled through lance, by means of a diaphragm and submission of a pressure transducer, to the process computer.

A secondary operation is to assure the continuous water cooling of oxygen lance. By means of a pressostat is limited the minimum value of cooling water pressure. This can assure the opening of electrovalve from the auxiliary circuit (of reserve) of cooling water, if the water pressure in the primary cooling circuit decreased under the minimum limit imposed, as well as, its closing when is restored the pressure in the primary circuit.

Figure 1 presents the automation electrical scheme of post-combustion process of electric arc furnace EBT type.

The most effective method to measure CO concentration in waste gases is the physical method, based on absorption of infrared radiation only in certain areas, that forms specific absorption bands to each gas. The device that satisfies these conditions is INFRAlyt analyser (AG).

The submission and recording plant consists of the signal amplifier (AS), that amplifies the voltage obtained by converting the periodic variation of capacity, the converter (C1) with a role of rectifier the signal, which is directed to the process computer (CP), where are purchased, processed and, then, transmitted the informations to the executing elements.

The automation plant of oxygen supply of lance takes

lăncii preia semnalul transmis de calculator, care este convertit în convertorul (C2) și transmis electroventilului (EV1). Pentru măsurarea debitului de oxigen se folosește o diafragmă (D), care transmite printr-o conductă de impuls un semnal către traductorul de presiune (TP), cu rolul de transformare a semnalului de presiune într-un semnal electric. Prelucrarea și stocarea semnalului au loc în calculator. Instalația de automatizare pentru răcirea lancei de oxigen este compusă dintr-un presostat (PA), care în momentul scăderii presiunii apei de răcire sub 2 bar transmite un semnal electric la calculatorul de proces, iar acesta comandă deschiderea electroventilului (EV2). Electroventilul se închide imediat ce presiunea din circuitul primar al apei de răcire atinge valoarea minimă de 2 bar.

Oxigenul necesar procesului post-combustiei este furnizat atât prin lancea existent de insuflare a oxigenului și grafitului, cât și printr-o lance post-combustie răcită cu apă, care insuflă oxigen în cuptor cca. 250 Nm³/h (1,60 Nm³/t), la presiunea minimă de 1,5 bar.

the signal transmitted by computer, that is converted in the converter (C2) and transmitted to the electrovalve (EV1). To measure the oxygen flow is used a diaphragm (D), which transmits, through an impulse pipe, a signal to the pressure transducer (TP), with the purpose of transforming the pressure signal into an electrical signal. The signal processing and storage are carried out in computer

The automation plant of oxygen lance cooling is composed by a pressostat (PA), which, when the cooling water pressure decreases under 2 bar, transmits an electrical signal to the process computer and this commands the opening of electrovalve (EV2). The electrovalve closes, immediately, the pressure in the primary circuit of cooling water reaches minimum 2 bar.

Oxygen necessary for the post-combustion process is supplied both through the current lance of oxygen and graphite instilling and through a post-combustion water cooling lance, that instills oxygen in furnace about 250 Nm³/h (1.60 Nm³/t), at the minimum pressure of 1.5 bar.

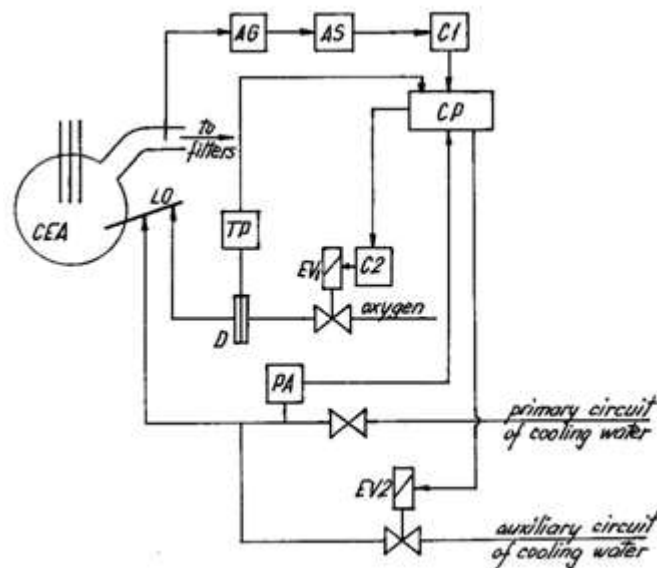


Fig. 1. Schema electrică de automatizare a procedeeului post-combustiei la cuptorul electric cu arc
Automation electrical scheme of post-combustion process of electric arc furnace

CEA - cuptor electric cu arc / *electric arc furnace*; LO - lance oxigen / *oxygen lance*;

AG - analizor de gaze / *gas analyzer*; C1, C2 - convertoare / *converters*; AS - amplificator de semnal / *signal amplifier*; D - diafragmă / *diaphragm*; TP - traductor presiune / *pressure transducer*; PA - presostat / *pressostat*;

EV1 - electroventil pentru oxigen / *oxygen electrovalve*;

EV2 - electroventil pentru apa de răcire / *cooling water electrovalve*.

6. EFECTE ECONOMICE ESTIMATE

Conform calculelor efectuate la cap. 4, economia de energie electrică rezultată prin aplicarea post-combustiei la cuptorul electric cu arc tip EBT de la societatea Tenaris S.A. Călărași este de 8,9 kWh/t. Scăzând consumul suplimentar de energie electrică

6. ESTIMATED ECONOMIC EFFECTS

According to calculus performed in Chapter 4, the electricity economy resulted by post-combustion application at electric arc furnace EBT type of the company Tenaris S.A. Calarasi is 8,9 kWh/t. Considering the supplementary consumption of

pentru producerea oxigenului insuflat în cuptor pentru post-combustie (0,8 kWh/t), rezultă că economia netă de energie electrică este de 8,1 kWh/t. Având în vedere prețul mediu actual al energiei electrice de 80 Euro/MWh, valoarea economiei este: $8,1 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0,648$ Euro/t.

La o producție anuală de oțel de 250000 t, valoarea economiei va fi de 162000 Euro/an. Estimând valoarea investiției suplimentare la cca. 320000 Euro, rezultă că investiția se poate amortiza în 2 ani.

7. CONCLUZII

1. Tehnologia post-combustiei constituie una din etapele de modernizare (cronologic, cea mai recentă) a cuptoarelor electrice cu arc, fiind asociată altor modernizări aplicate tuturor cuptoarelor performante: arzătoare oxigaz, lance supersonică pentru insuflarea oxigenului și prafului de cărbune, pereți și boltă răcite, funcționare în regim UHP, conducere computerizată a procesului.
2. Tehnologia post-combustiei urmărește două obiective: să producă energie prin arderea monoxidului de carbon și să transfere această energie șarjei, fără efect oxidant.
3. Pe plan mondial se cunosc mai multe procedee de post-combustie aplicate la cuptoare electrice performante: Alarc-PC, DC-EAF, K-ES, IRSID.
4. Scopul lucrării este îmbunătățirea performanțelor cuptorului electric cu arc tip EBT al societății Tenaris, furnizat de Mannesmann Demag, care nu dispune de echipamente pentru aplicarea tehnologiei post-combustiei.
5. Măsurătorile și determinările efectuate la cuptorul de la Tenaris au permis identificarea parametrilor funcționali ai cuptorului în situația actuală. Astfel, cantitatea de monoxid de carbon din gazele arse evacuate este de 3,10 kg/t, pentru aplicarea post-combustiei fiind necesar un aport suplimentar de oxigen insuflat de 1,24 Nm³/t.
6. Energia termică disponibilizată prin aplicarea post-combustiei (creșterea ponderii căldurii reacțiilor exoterme) este 32,2 MJ/t.
7. Ca efect al aplicării post-combustiei, se poate obține o economie netă de energie electrică de 8,1 kWh/t. La o producție anuală de 250000 t oțel, valoarea economiei ar putea fi de 162000 Euro/an.
8. Investiția suplimentară pentru implementarea tehnologiei post-combustiei este de circa 320000 Euro, iar cheltuielile pot fi amortizate în 2 ani.

electricity to produce oxygen instilled in furnace for post-combustion (0.8 kWh/t), results that the net economy of electricity is 8.1 kWh/t. Given the current average price of electricity of 80 Euro/MWh, the economy value is: $8.1 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 0.648$ Euro/t.

For an annual production of steel of 250000 t, the economy value will be 162,000 Euro/year. Estimating the supplementary investment cost at about 320,000 Euro, results that the investment can be amortized in 2 years.

7. CONCLUSIONS

1. *Post-combustion technology constitutes one of the modernization stages (chronologically, the most recent) of electric arc furnaces, being associated with other modernizations applied to all advanced furnaces: oxigas burners, supersonic lance for oxygen and coal dust, cooled walls and vault, UHP regime functioning, computerized leading of process.*
2. *Post-combustion technology aims two objectives: to produce energy through combustion of carbon monoxide and to transfer the charge this energy, without oxidant effect.*
3. *Worldwide are known more post-combustion processes applied to advanced electric arc furnaces: Alarc-PC, DC-EAF, K-ES, IRSID.*
4. *The purpose of the paper is to improve performances of electric arc furnace EBT type of the company Tenaris, provided by the company Mannesmann Demag, which has not equipments for post-combustion technology application.*
5. *Measurements and determinations carried out at the Tenaris furnace allow to identify the functional parameters of furnace in the current situation. Thus, the amount of carbon monoxide from exhausted waste gases is 3.10 kg/t, for post-combustion application being necessary a supplementary contribution of oxygen instilled of 1.24 Nm³/t.*
6. *The thermal energy available by post-combustion application (increasing of exothermic reaction heat share) is 32.2 MJ/t.*
7. *As the effect of post-combustion applying, it can be obtained a net economy of electricity of 8.1 kWh/t. At an annual production of 250000 t steel, the economy value could be of 162,000 Euro/year.*
8. *The supplementary investment of post-combustion technology is about 320,000 Euro and the costs can be amortized in 2 years.*

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- [1] **L. PĂUNESCU, M. HRIȚAC, M.M. DESPA** - *Utilizarea procedurii post-combustiei la cuptoarele electrice cu arc*, Buletin Informativ Tehnico-Economic pentru Metalurgie, Nr. 1, Ianuarie, pag. 41-45, (2014).
- [2] **C.E. GARTNER, K.H. KLEIN, T. DARLE, F. VIRAIZE** - *Performances de la technologie de post-combustion Alarc-PC sur des fours industriels*, La Revue de Métallurgie - CIT, no. 4, Avril, pag. 437-447, (1997).
- [3] **P. SAMUELSSON** - *Nouveaux développements dans le domaine du four à arc*, La Revue de Métallurgie - CIT, no. 4, Avril, pag. 431-436, (1997).
- [4] **M. PAVLICEVIC** - *New Danieli strategy in DC-EAF technology*, Danieli News, vol. I, (1996).
- [5] **H.G. MÜLLER** - *Advanced electric arc furnace solutions for improved steelmaking performances*, La Revue de Métallurgie - CIT, no. 4, April, (1996).
- [6] **R. CADET, X. Le COQ, S. COLSENET, F. PORZUCEK** - *Développement d'un nouveau procédé de postcombustion au four à arc de SAM Neuves-Maisons*, La Revue de Métallurgie - CIT, no. 4, Avril, pP. 511-516, (1998).
- [7] * * * - *Manual de operare EBT*, Mannesmann Demag Hüttentechnik, (1997).