

**INSTALAȚIE INDUSTRIALĂ DE
ETANȘARE GAZODINAMICĂ A UȘILOR
CUPTOARELOR DE ÎNCĂLZIRE**

**INDUSTRIAL INSTALLATION
OF GASODYNAMIC SEALING
OF HEATING FURNACES DOORS**

L. PĂUNESCU¹, A. GABA², Gh. IORDACHE³, M.P. MUNTEANU³

¹Cermax 2000 Patents SRL București

²Universitatea Valahia Târgoviște

³Institutul de Cercetări Metalurgice București

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

REZUMAT / ABSTRACT

Lucrarea prezintă o soluție tehnică inovativă destinată cuptoarelor de încălzire din industria metalurgică, cu scopul eliminării pierderilor de căldură prin răbufnirea gazelor arse prin ușile și neetanșeitățile acestora. Instalația de etanșare gazodinamică asigură o perdea de protecție termică în cadrul ușilor de încărcare (permanent parțial deschise) și descărcare (deschise temporar la evacuarea fiecărei brame) ale cuptorului, utilizând gaze arse calde recirculate din canalul de gaze, după recuperatorul de căldură. Instalația a fost proiectată și realizată la un cuptor cu propulsie de la ArcelorMittal Galați. Economia de combustibil (bigaz cu puterea calorifică de 8,5 MJ/Nm³) este de 23,7 Nm³/t, valoarea economiei fiind de 1,3 €/t (sau circa 130.000 €/an & cuptor).

The paper presents an innovative technical solution for heating furnaces in metallurgy, in order to eliminate heat losses by waste gases outburst through their doors and leaks. Installation of gasodynamic sealing assures a thermal protection curtain in the frame of loading doors (permanent partially open) and discharge doors (open temporary to each slab evacuation) of the furnace, using warm waste gases recirculated from the gas channel, after the heat recuperator. The installation was designed and made at a continuous discharge heating furnace in ArcelorMittal Galati. The fuel economy (bi-fuel gas with the calorific value of 8.5 MJ/Nm³) is 23.7 Nm³/t, the economy value being 1.3 € t (or about 130,000 €/year & furnace).

Key words: gasodynamic sealing, heating furnace, waste gas, outburst, overpressure

1. INTRODUCERE

Regimul presiunilor în cuptoarele industriale de încălzire de capacități mari joacă un rol important în privința pierderilor de căldură prin răbufnirea gazelor arse sau a infiltrărilor de aer rece. În general, căldura pierdută cu gazele arse răbufnite prin ușile sau neetanșeitățile unui cuptor cu propulsie pentru încălzirea bramelor reprezintă 2-3% din totalul căldurii intrate în conturul de bilanț termic. Infiltrările de aer rece din mediul înconjurător influențează asupra pierderilor de metal prin oxidarea bramelor încărcate în cuptor.

În condițiile menținerii unui regim gazodinamic optim în incinta cuptorului, cu o ușoară suprapresiune de maxim 0,3-0,4 mm col. H₂O (0,03-0,04 mbar), sunt

1. INTRODUCTION

The pressures regime in the industrial heating furnaces of high capacities plays an important role in terms of heat losses through waste gases outburst or cold air infiltrations. Generally, the heat lost with waste gases outburst through the doors or leaks of a pusher-type furnace for slabs heating represents 2-3% from the total entered heat of the thermal balance. The cold air infiltrations from the environment influence on the metal losses by oxidation of slabs loaded in furnace.

In the conditions of maintaining an optimal gasodynamic regime into furnace, with a low overpressure of maximum 0.3-0.4 mm col. H₂O (0.03-0.04 mbar), the cold air aspirations are avoided.

evitate aspirațiile de aer rece. Totuși, dimensiunile mari ale incintei cuptoarelor cu propulsie un permit un control foarte strict al presiunilor pe întreaga lungime, precum și pe înălțimea acestora. Din această cauză, practic, un pot fi evitate pierderile de căldură prin răbufnirea gazelor arse.

Prin asigurarea unei perdele de protecție termică în cadrul ușilor (de încărcare sau descărcare a bramelor), utilizând gaze arse calde recirculate din canalul de gaze al cuptorului (după cazanul de abur, care constituie ultimul element de recuperare energetică pe traseul gazelor arse), se crează un obstacol gazodinamic atât în calea răbufnirii gazelor din cuptor, cât și a eventualelor infiltrații accidentale de aer rece.

Această soluție tehnică, brevetată în România în anul 1991 de către Institutul de Cercetări Metalurgice București, a fost aplicată industrial la un cuptor de încălzire de capacitate mică de la actuala societate Ductil SA Buzău [1, 2].

Pe plan mondial nu se cunosc realizări similare.

2. DETERMINAREA EXPERIMENTALĂ A PIERDERILOR DE CĂLDURĂ PRIN RĂBUFNIREA GAZELOR ARSE PE LA UȘILE CUPTORULUI

În vederea determinării cantității de căldură pierdute prin răbufnirea gazelor arse pe la ușile de încărcare și descărcare ale bramelor s-au efectuat măsurători la un cuptor cu propulsie din ArcelorMittal Galați, cuprinzând următorii parametri:

- secțiunile deschiderilor prin care ies gazele din cuptor;
- durata cât sunt deschise ușile în timpul funcționării cuptorului;
- compoziția chimică a gazelor arse;
- presiunea măsurată în secțiunea deschiderii prin care răbufnesc gazele;
- temperatura gazelor arse răbufnite.

Cuptorul cu propulsie are prin construcție două deschideri de lucru principale, la cele două capete ale cuptorului. Ușile laterale, de vizitare, sunt, în general, permanent închise și, de asemenea, etanșitatea lor este bună, astfel încât nu se justifică aplicarea procedurii etanșării gazodinamice în cazul acestora.

Deschiderea de la capătul cuptorului destinată încărcării cuptorului are următoarele dimensiuni:

- lungime: 7070 mm;
- înălțime: 960 mm.

Aceasta poate fi închisă sau deschisă prin intermediul a două uși metalice răcite cu apă și căptușite la interior cu beton refractar, acționate separat în plan vertical cu ajutorul unor scripeți. Ușile de încărcare stau permanent întredeschise, la înălțimea de 250 mm față de suprafața superioară a bramelor (grosime 200 mm), așezate pe calea cu role a vetrei cuptorului una în prelungirea celeilalte, pe două rânduri alăturate.

However, the large size of the enclosure of the pusher-type furnaces do not allow a very strict control of pressures on their entire length and height. Because of this, practically, the heat losses through waste gases outburst can not be avoided.

By creating a curtain of thermal protection in the frame of doors (of loading or discharge of slabs), using recirculated warm waste gases from the gases channel of furnace (after the steam boiler, which constitutes the last element of energy recovery on gas route), is created a gasodynamic obstacle both in the way of gases outburst from the furnace and the possible accidental infiltration of cold air.

This technical solution, patented in Romania in 1991 by the Metallurgical Research Institute Bucharest [1], was industrially applied at a low capacity heating furnace in the current company Ductil SA Buzau [2].

In the world, similar achievements are not known.

2. EXPERIMENTAL DETERMINATION OF HEAT LOSSES BY WASTE GASES OUTBURST THROUGH FURNACE DOORS

In order to determine the heat amount lost by waste gases outburst through loading and discharge doors of slabs, measurements were performed at a pusher-type furnace in ArcelorMittal Galati, comprising the following parameters:

- sections of openings through which the gases leave the furnace;
- duration as the doors are open during the furnace operation;
- chemical composition of waste gases;
- pressure measured in the section of the opening through which the gases burst out;
- temperature of the bursted waste gases.

The pusher-type furnace has, by construction, two main working openings, at the two ends of the furnace. The side doors, of visiting, are, generally, closed permanently and, also, their tightness is good, so that the application of gasodynamic sealing process in their case is not justified.

The opening at the furnace end for loading the slabs has the following sizes:

- length: 7070 mm;
- height: 960 mm.

This can be closed or opened by means of two water-cold metal doors, lined on the inside with refractory concrete, independently driven vertically by means of some pulleys. The loading doors are permanently open partially, at the height of 250 mm from the upper surface of the slabs (thickness 200 mm), placed on the path with rollers of the furnace hearth, one in the other extension, on two parallel rows. The slabs are

Având în vedere poziționarea ușilor și a bramelor, suprafața utilă prin care se produce răbufnirea gazelor arse pe la capătul de încărcare este de 1,77 m².

Deschiderea de lucru pentru evacuarea bramelor din cuptor, pe la capătul opus față de cel destinat încărcării, are următoarele dimensiuni:

- lungime: 7070 mm;
- înălțime: 600 mm (peretele este ușor oblic, astfel încât înălțimea reală a deschiderii, în planul acesteia, este de 700 mm).

Pentru evacuarea bramelor sunt acționate separat două ușiprin rabatere în jurul laturii superioare a ușii. Deschiderea totală efectivă prin care se evacuează bramele are înălțimea de 550 mm, aceeași lungime (7070 mm), iar suprafața disponibilă este de 3,89 m².

În perioadele în care nu sunt acționate ușile de descărcare, etanșarea asigurată de acestea nu este perfectă. Suprafața totală prin care se produc răbufniri de gaze arse a fost măsurată cu precizie și este de 0,12 m².

Unul din parametri care influențează cantitatea de gaze arse răbufnite din cuptor este durata cât sunt menținute deschise ușile și frecvența deschiderilor. După cum s-a precizat mai sus, ușile de încărcare a bramelor sunt permanente într-o poziție parțial deschisă. În ceea ce privește acționarea ușilor de descărcare, acestea sunt deschise numai când este împinsă o bramă afară din cuptor. Deci, este necesar a se determina experimental proporția duratei deschiderii ușilor într-un interval de timp de funcționare prestabilit al cuptorului.

În **Tabelul 1** se prezintă duratele și numărul deschiderii ușilor într-o perioadă de 15 minute.

Tabelul 1. Duratele și numărul deschiderilor ușilor de descărcare
Table 1. Durations and number of discharge doors openings

Total time (seconds)	Number of doors openings	Duration of one door opening (seconds)	Total duration of doors openings	
			(seconds)	(%)
900	8	12	96	10,7

Pentru calculul volumului de gaze arse răbufnite din cuptor este necesară determinarea următorilor parametri:

- compoziția chimică a gazelor arse;
- presiunea statică măsurată în mijlocul deschiderii;
- temperatura gazelor arse răbufnite.

Analiza chimică a gazelor arse la ieșirea din cuptor (la intrarea în preîncălzitorul de aer) s-a efectuat cu analizorul digital TESTO - 350, indicând următoarea

loaded into the furnace by their pushing regularly (at about 2 minutes) with one special device for each of the two rows of slabs. Considering the positioning of the doors and slabs, the usable area through which the waste gases outburst occurs at the end of loading is 1.77 m².

The working opening for slabs evacuation from the furnace, on the opposite end given that destined to load, has the following sizes:

- *length: 7070 mm;*
- *height: 600 mm (the wall is low oblique, so that the real height of the opening, in its plane, is 700 mm).*

For the slabs evacuation, two doors are operated independently by folding around the upper side of the door. The effective total opening through which the slabs are evacuated has the height of 550 mm, the same length (7070 mm) and the available surface is 3.89 m².

In the periods in which the loading doors are not operated, the sealing assured by these is not perfect. The total surface, through which waste gases outbursts are produced, was measured precisely and is 0.12 m².

One of parameters which influences the amount of the waste gases bursted from the furnace is the maintaining duration of doors opened and the openings frequency.

As we show above, the slabs loading doors are permanently partially open position. Referring to the movement of the discharge doors, these are open only a slab is pushed out of the furnace. Consequently, it is necessary to determine experimentally the share of the duration of the doors opening in a pre-established operation time range of the furnace.

*In **Table 1** are presented durations and number of the doors openings in a period of 15 minutes.*

To calculate the volume of waste gases bursted from the furnace is necessary to determine the following parameters:

- *chemical composition of waste gases;*
- *static pressure measured in the middle of the opening;*
- *temperature of the waste gases bursted.*

The chemical analysis of waste gases at the exit from the furnace (at the entrance in the air preheater) was carried out with the digital analyser TESTO - 350,

compoziție: 14,1% CO₂; 6,0% O₂; 139 ppm CO; 144 ppm NO_x; (79,9% N₂).

showing the following composition: 14.1% CO₂; 6.0% O₂; 139 ppm CO; 144 ppm NO_x; (79.9% N₂).

Valorile presiunilor măsurate în mijlocul deschiderii cu ajutorul micromanometrului Ascania sunt prezentate în **Tabelul 2**.

The values of pressures measured in the middle of the opening, by means of the micromanometer Ascania are presented in **Table 2**.

Tabelul 2. Valorile presiunilor în deschiderile de lucru ale cuptorului
Table 2. Values of pressures in the working openings of furnace

Door	Pressure	
	(daN/m ²)	(mbar)
Loading	+ 0.12	+ 0.012
Discharge (open door)	+ 0.18	+ 0.018
Discharge (closed door)	+ 0.09	+ 0.009

Temperaturile gazelor arse răbufnite corespund temperaturii cuptorului din zonele marginale, astfel: temperatura gazelor răbufnite prin ușa de încărcare a bramelor este echivalentă temperaturii cuptorului din zona de preîncălzire a bramelor (zona 5), adică 1290°C, iar temperatura gazelor răbufnite prin ușa de descărcare corespunde temperaturii cuptorului din zona de egalizare (zona 1), adică 1250°C.

The temperatures of the bursted waste gases correspond to the furnace temperatures in the peripheral zones, in the following way: the bursted gases temperature through the slabs loading door is equivalent with the furnace temperature in the preheating zone of slabs (zone no. 5), i.e. 1290°C and the bursted gases temperature through the discharge door corresponds to the furnace temperature in the equalization zone (zone no. 1), i.e. 1250°C.

Volumul de gaze arse răbufnite prin deschiderile de lucru ale cuptorului se calculează cu relația [3, 4]:

The volume of waste gases bursted through the working openings of the furnace is calculated with the relationship [3, 4]:

$$V_{gr} = (\sigma_{des} / \sigma_{tot}) \cdot 3600 \cdot \alpha \cdot S \cdot (2g / \gamma_N)^{1/2} \cdot (p)^{1/2} \cdot [(p + p_b) \cdot 273 / 10332 \cdot T_g]^{1/2}, \text{ Nm}^3 / \text{ h} \quad (1)$$

unde:

σ_{des} , σ_{tot} - durata totală a deschiderii ușii și, respectiv, durata totală urmărită;

α - coeficient de contracție a deschiderii (pentru uși $\alpha = 0,85$);

S - secțiunea deschiderii prin care ies gazele, m²;

g - accelerația gravitațională, m/s²;

γ_N - greutatea specifică a gazelor la starea normală, kg/Nm³;

p - presiunea măsurată în mijlocul deschiderii, daN/m²;

p_b - presiunea barometrică, daN/m²;

T_g - temperatura absolută a gazelor arse, K.

where:

σ_{des} , σ_{tot} - total duration of the door opening and, respectively, total duration followed;

α - contraction coefficient of the opening (for doors $\alpha = 0.85$);

S - section of the opening through which the gases turn out, m²;

g - gravitational acceleration, m/s²;

γ_N - specific weight of gases at the normal state, kg/Nm³;

p - pressure measured in the middle of the opening, daN/m²;

p_b - barometric pressure, daN/m²;

T_g - absolute temperature of waste gases, K.

Using the relationship (1) were calculated the volumes of waste gases bursted through the loading door and, respectively, the discharge door opened and closed. To calculate the heat amounts lost through outburst was used the below relationship [3]:

Utilizând relația de calcul (1) s-au calculat volumele de gaze arse răbufnite prin ușa de încărcare și, respectiv, prin ușa de descărcare deschisă și închisă. Pentru a calcula cantitățile de căldură pierdute prin răbufnire s-a utilizat relația [3] de mai jos:

$$Q_{r\ddot{a}b} = V_{gr} \cdot c_g \cdot t_g \cdot 10^{-3}, \text{ MJ/h} \quad (2)$$

unde:

c - căldura specifică a gazelor arse răbufnite, kJ/Nm³·°C;

where:

c - specific heat of the bursted waste gases, kJ/Nm³·°C;

t_g - temperatura gazelor răbufnite, °C.

În **Tabelul 3** sunt prezentate volumele de gaze arse răbufnite și cantitățile de căldură pierdute prin răbufnirea gazelor.

t_g - temperature of the bursted waste gases, °C.

In **Table 3** are presented the volumes of the bursted waste gases and the heat amount lost through the gases outbursts.

Tabelul 3. Calculul cantităților de căldură pierdute prin răbufnire
Table 3. Calculation of heat amount lost through outburst

Door	Volume of the bursted gases (Nm ³ /h)	Heat amount lost through outburst	
		(MJ/h)	(MJ/t)
Loading	3,107.7	6,174.1	161.0
Discharge			
- open door	906.3	1,735.2	45.2
- closed door	116.5	223.1	5.8
- total	1,022.8	1,958.3	51.0
Total furnace	4,130.5	8,132.4	212.0

După cum rezultă din **Tabelul 3**, 75,9% din căldura totală pierdută de cuptor prin răbufnirea gazelor arse se concentrează în zona ușii de încărcare a bramelor, care se menține permanent deschisă parțial din motive tehnologice. Restul de 24,1% se pierde pe la capătul cuptorului prin care se evacuează bramele. Cantitatea totală de căldură pierdută prin răbufnirea gazelor, de 212,0 MJ/t, reprezintă circa 8,8% din căldura dezvoltată de combustibilul utilizat (bigaz) în procesul de încălzire din cuptor (2.402,2 MJ/t).

Din acest punct de vedere, se justifică aplicarea etanșării gazodinamice pentru eliminarea pierderilor de căldură prin răbufnirea gazelor la cuptoarele cu propulsie.

3. DESCRIEREA INSTALAȚIEI DE ETANȘARE GAZODINAMICĂ A UȘILOR CUPTORULUI CU PROPULSIE

Principiul funcțional al instalației de etanșare gazodinamică a deschiderilor de lucru ale cuptorului cu propulsie constă în:

- captarea unei părți din gazele arse evacuate din cuptor după ultimul element derecuperare energetică a căldurii gazelor (adică după cazanul de abur);
- transportul gazelor (la circa 150°C), cu ajutorul unui exhaustor, din zona de captare din canalul de evacuare a gazelor până în dreptul ușilor de încărcare și, respectiv, de descărcare;
- imentarea cu gazele recirculate a unor rame din țevă prevăzute cu fante pe toată lungimea deschiderilor de lucru, astfel încât jeturile să constituie o perdea termică, care să blocheze răbufnirea gazelor din cuptor sau posibila aspirație de aer rece.

În **Figura 1** se prezintă schema generală de captare și alimentare cu gaze arse recirculate a ramelor montate în deschiderile de lucru ale cuptorului.

According to **Table 3**, 75.9% from the total furnace heat lost through the waste gases outburst is concentrated on the slabs loading door zone, which is permanently maintained partially open, from technological reasons. The rest of 24.1% is lost through the furnace end, through which the slabs are evacuated. The total amount of heat lost through gases outburst, of 212.0 MJ/t, represents about 8.8% from the heat developed by the used fuel (bi-fuel gas) in the heating process from the furnace (2,402.2 MJ/t).

In this frame, the application of gaso-dynamic sealing is justified to eliminate the heat losses through the gases outburst at the pusher-type furnaces.

3. DESCRIPTION OF THE GASODYNAMIC SEALING INSTALLATION OF THE PUSHER-TYPE FURNACE DOORS

The functional principle of gasodynamic sealing installation of the working opening of the pusher-type furnace consists in:

- capture of one part of waste gases evacuated from the furnace after the last element of energy recovery of gases heat (i.e. after the steam boiler);
- gases transport (at about 150°C), at means of an exhauster, the gases evacuation channel of the capture zone to the loading doors area and, respectively, the discharge doors area;
- supplying with recirculated gases of pipe frames provided with slits on the whole length of the working openings, so that the jets make up a thermal curtain, which obstructs the gases outburst from the furnace or the possible aspiration of cold air.

In **Figure 1** is presented the general scheme of capture and supply with recirculated waste gases of the frames assembled in the working openings of the furnace.

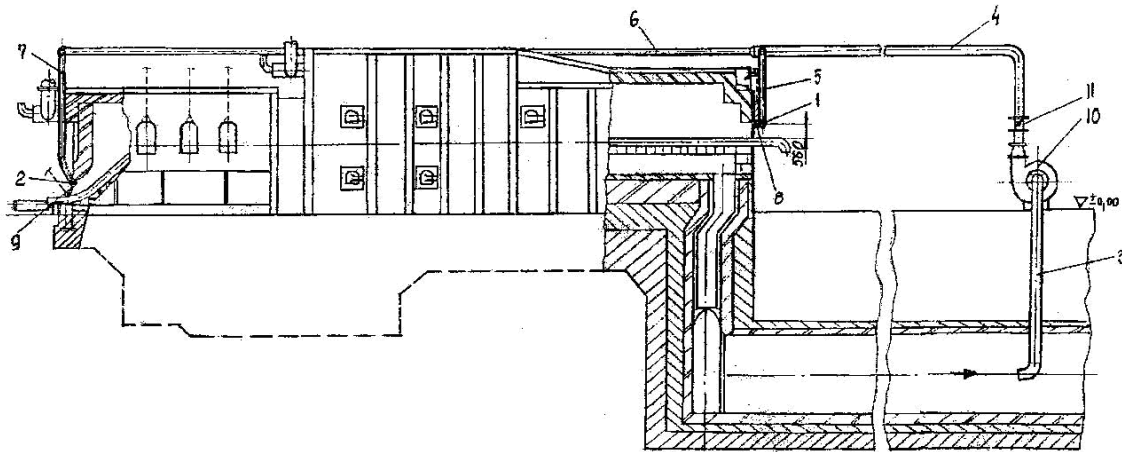


Fig. 1. Schema generală de captare și alimentare a instalației de etanșare gazodinamică a ușilor cuptorului cu propulsie

The general scheme of capture and supply of gasodynamics sealing installation of the pusher furnace doors

- 1 - ramă ușa de încărcare / loading door frame; 2 - ramă ușa de descărcare / discharge door frame;
 3 - conductă de aspirație gaze / gas aspiration pipe; 4 - conducta principală de alimentare / supply main pipe;
 5 - racord ramă ușa de încărcare / loading door frame connection;
 6 - conducta de alimentare a ramei usii de descărcare / supply pipe of discharge door frame;
 7 - racord ramă etanșare a usii de descărcare / sealing frame connection of discharge door;
 8 - ușa de încărcare / loading door; 9 - ușa de descărcare / discharge door; 10 - exhaustor / exhaustor

Figura 2 prezintă schema de alimentare a deschiderii de lucru de la încărcarea bramelor (jumătatea din stânga imaginii) și, respectiv, de la descărcare (jumătatea din dreapta).

Figure 2 presents the supply scheme of the working opening of slabs loading (the left half) and, respectively, of the discharge (the right half).

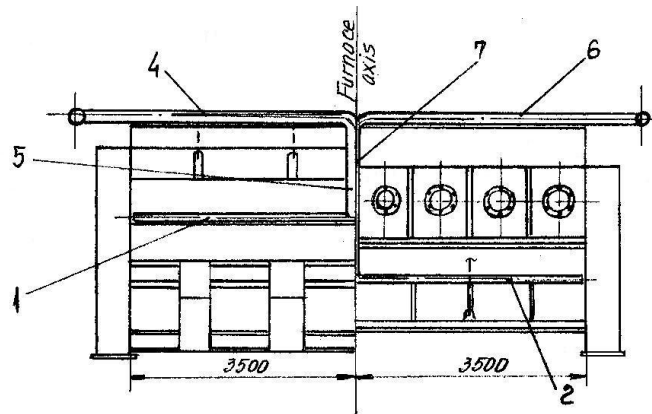


Fig. 2. Schema de alimentare a deschiderii de lucru de la încărcare (jumătatea din stânga) și, respectiv, de la descărcare (jumătatea din dreapta)

Supply scheme of working opening of loading (left half) and, respectively, discharge (right half)

- 1 - ramă ușa de încărcare / loading door frame; 2 - ramă ușa de descărcare / discharge door frame;
 4 - conducta principală de alimentare / supply main pipe; 5 - racord ramă ușa de încărcare / loading door frame connection;
 6 - conducta de alimentare a ramei usii de descărcare / supply pipe of discharge door frame;
 7 - racord ramă etanșare a usii de descărcare / sealing frame connection of discharge door

Conducta de aspirație a gazelor arse este executată din țevă Φ 293 mm, fiind introdusă în canalul de gaze arse și curbată în axa canalului în sensul invers al circulației gazelor. Aspirația gazelor arse este asigurată de un exhaustor, care asigură și transportul acestora către cele două capete ale cuptorului, unde se află ușile de încărcare și, respectiv, de descărcare. În

Waste gases aspiration pipe is performed of pipe Φ 293 mm, being introduced in the waste gases channel and curved in the channel axis, in the reverse direction of gases circulation. Waste gases aspiration is assured by an exhaustor, which assures too their transport towards the two ends of furnace, where there are the loading and, respectively, discharge

dreptul ușii de încărcare, conducta principală de transport a gazelor se ramifică în două direcții: racordul spre ușa de încărcare, pe țevă Φ 219 mm și conducta de alimentare a instalației de etanșare a ușii de descărcare (țevă Φ 114 mm).

Pentru a evita pierderile de căldură ale gazelor arse recirculate, conductele de transport a gazelor și racordurile sunt căptușite la exterior cu fibră ceramică. Rama pentru etanșarea ușii de încărcare este o țevă Φ 219 mm, obturată la cele două capete, care are o fantă pe întreaga lungime, având lățimea de 1 mm, prin care se propagă jetul de gaze cu viteza de 60 m/s, care formează perdeaua termică de etanșare. Fanta este înclinată cu 7° față de planul vertical, înclinarea fiind astfel orientată încât jetul de gaze să fie distribuit spre interiorul deschiderii de lucru.

Teoretic, volumul de gaze arse necesar pentru etanșare gazodinamică trebuie să reprezinte circa $1/3$ din volumul gazelor răbufnite [2]. Deci, pentru blocarea celor $3107,7 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de gaze răbufnite este necesară o perdea de protecție termică de:

$$3107,7 \cdot 1/3 = 1036 \text{ Nm}^3/\text{h}.$$

Rama de etanșare gazodinamică a ușii de descărcare a bramelor este executată din țevă Φ 108 mm, obturată la cele două capete, având prevăzută o fantă pe întreaga lungime a ramei cu lățimea de 0,5 mm. Debitul necesar de gaze pentru asigurarea etanșării gazodinamice este de $341 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Viteza jetului de gaze este de 60 m/s. Racordul prin care sunt aduse gazele arse recirculate în rama de etanșare are o înclinare de 45° față de planul vertical. Fanta prin care se dezvoltă jetul de gaze care formează perdeaua termică este orientată vertical. În **Figura 3** se prezintă rama de etanșare pentru ușa de descărcare.

doors. In the area of loading door, the main gases transport pipe branches out in two directions: the connection to the loading door, on pipe Φ 219 mm and the supply pipe of the sealing installation of the discharge door (pipe Φ 114 mm).

To avoid the heat losses of recirculated waste gases, the gases transport pipes and the connections are external lined with ceramic fibber.

The frame for sealing of loading door is a pipe Φ 219 mm, obturated at the two ends, which has a slit on the whole length, having the width of 1 mm, through which is propagated the gas jet with the speed of 60 m/s, which forms a thermal curtain of sealing. The slit is inclined with 7° given the vertical plane, the inclination being so oriented that the gas jet be distributed to inner of the working opening.

Theoretically, the necessary waste gases volume for gasodynamic sealing must to represent about $1/3$ from the volume of the bursted gases [2]. So, to block the $3107.7 \text{ Nm}^3/\text{h}$ of bursted gases is necessary a thermal protection curtain of: $3107.7 \cdot 1/3 = 1036 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

The frame of gasodynamic sealing of the slabs discharge door is performed from a pipe of Φ 108 mm, obturated at the two ends, having provided a slit on the whole length of the frame with the width of 0.5 mm. The necessary gas flow to assure the gasodynamic sealing is $341 \text{ Nm}^3/\text{h}$. The speed of gas jet is 60 m/s. The connection through which the recirculated waste gases are brought in the sealing frame, has an inclination of 45° given the vertical plane. The slit through which is developed the gas jet which forms the thermal curtain is oriented vertically. In **Figure 3** is presented the sealing frame for the discharge door.

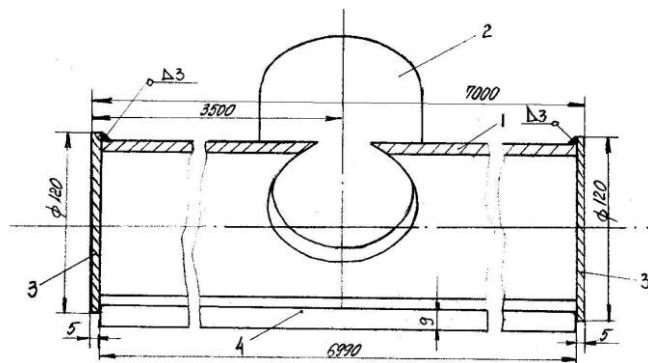


Fig. 3. Rama de etanșare pentru ușa de descărcare

Sealing frame of discharge door

1- distribuitor de gaze / gas distributor; 2- record / connection; 3- obturator / obturator; 4- platbandă / platband

La confecționarea distribuitorului (poz. 1) se procedează astfel: se taie țeava pe toată lungimea cu discul abraziv, se sudează platbandele (poz. 4) prin puncte, din 30 în 30 mm, la marginile tăiate ale țevii, apoi se strânge țeava, după amplasarea unor distanțiere la 0,5 mm pe toată lungimea.

At the gas distributor (pos. 1) manufacturing it is proceeded so: the pipe is cut on the whole length with an abrasive disk, the platbands (pos. 4) are welded through points from 30 in 30 mm, at the cut extremities of the pipe, then, the pipe is pressed, after to place some distance pieces at 0.5 mm on the whole length.

4. REZULTATELE EXPERIMENTALE

Instalația de etanșare gazodinamică descrisă anterior a fost montată la un cuptor cu propulsie de la ArcelorMittal Galați.

Debitul total de gaze arse recirculate din canalul de evacuare a gazelor a fost de 1350-1385 Nm³/h, distribuit astfel: 1025-1038 Nm³/h, la ușa de încărcare și 338-343 Nm³/h, la ușa de descărcare.

Temperatura gazelor insuflate pentru etanșare în zona ușii de încărcare a variat între 146-148°C.

În condițiile menținerii productivității cuptorului (38,0 - 38,5 t/h), a puterii calorifice a bigazului (8,5 MJ/Nm³), temperaturii de preîncălzire a aerului de combustie (300°C) și temperaturii zonelor cuptorului ca în perioada efectuării măsurătorilor pentru determinarea pierderilor de căldură prin răbufnirea gazelor, metoda evidențierii eficienței tehnice și economice a aplicării etanșării gazodinamice este aceea a contorizării consumului de bigaz al cuptorului. Consumul de bigaz înaintea aplicării etanșării gazodinamice era de 282,6 Nm³/t, adică 2,4 GJ/t. După aplicarea etanșării gazodinamice, consumul de bigaz contorizat pe o perioadă de 12 zile s-a diminuat la 258,9 Nm³/t, adică 2,2 GJ/t. Procentual, consumul de combustibil a scăzut cu 8,39%.

Consumul suplimentar de energie electrică al exhaustorului pentru captarea și transportul gazelor recirculate la ramele de etanșare a fost de 0,5 kWh/t, adică 0,0018 GJ/t.

În **Tabelul 4** se prezintă sintetic parametrii funcționali ai cuptorului cu propulsie în situația neaplicării și, respectiv, aplicării etanșării gazodinamice.

4. EXPERIMENTAL RESULTS

The installation of gasodynamic sealing, described above, was assembled at a pusher-type furnace in ArcelorMittal Galati.

The total recirculated waste gases flow from the channel of gases evacuation was 1350-1385 Nm³/h, distributed so: 1025-1038 Nm³/h, at the loading door and 338-343 Nm³/h, at the discharge door. The temperature of the instilled gases for sealing in the loading door area varied between 146-157°C and in the discharge door area was situated in the range 140 - 148°C.

While maintaining the furnace productivity (38.0 - 38.5 t/h), the calorific value of the bi-fuel gas (8.5 MJ/Nm³), the preheating temperature of combustion air (300°C) and the temperature of the furnace zones as the period of carrying out the measurements to determine the heat losses through gases outburst, the method to emphasize the technical and economic efficiency of the gasodynamic sealing application is that of the continuous register of the furnace bi-fuel gas consumption.

The bi-fuel gas consumption before the application of the gasodynamic sealing was 282.6 Nm³/t, i.e. 2.4 GJ/t. After the application of the gasodynamic sealing, the bi-fuel gas consumption, registered on a 12 days period, was diminished to 258.9 Nm³/t, i.e. 2.2 GJ/t. In percentage terms, the fuel consumption decreased with 8.39%.

The supplementary electricity consumption of the exhauster to capture and transport the recirculated gases to the sealing frames was 0.5 kWh/t, i.e. 0.0018 GJ/t.

In **Table 4** are presented synthetically the functional parameters of the pusher-type furnace in the situation of non-application and, respectively, application of gasodynamic sealing.

Tabelul 4. Parametri funcționali ai cuptorului cu propulsie fără și cu etanșare gazodinamică
Table 4. The functional parameters of the pusher furnace without and with gasodynamic sealing

Situation	Productivity (t/h)	Air temperature (°C)	Calorific value of bi-fuel gas (MJ/Nm ³)	Furnace temperature, °C		Recirculated gases flow (Nm ³ /h)	Recirculated gases temperature (°C)	Bi-fuel gas consumption		Supplementary consumption (GJ/t)
				Zone 1	Zone 2			(Nm ³ /t)	(GJ/t)	
Without sealing	38.35	300	8.5	1250	1290	-	-	282.6	2.4	-
With sealing	38-38.5	300	8.5	1250	1290	1350-1385	146-157 (at the loading door) 140-148 (at the discharge door)	258.9	2.2	0.0018

5. EFICIENȚA ECONOMICĂ

Eficiența economică a aplicării etanșării gazodinamice la cuptorul cu propulsie constă în reducerea consumului specific de combustibil ca urmare a eliminării pierderilor de căldură prin răbufnirea gazelor arse din cuptor prin deschiderile de lucru ale acestuia.

Conform determinărilor experimentale, consumul de bigaz s-a redus cu 23,7 Nm³/t, adică 0,2 GJ/t, reprezentând 8,39%. Consumul suplimentar de energie este neglijabil.

Convertind bigazul în gaz natural, economia de gaz natural este de 5,7 Nm³/t. La prețul gazului natural de 230 €/1000 Nm³, valoarea economiei de combustibil este 1,3 €/t sau 130.000 €/an & cuptor.

Costurile investiției au fost de maxim 15.000 €, fiind amortizate în 1,5 luni.

6. CONCLUZII

1. Instalația de etanșare gazodinamică a ușilor cuptoarelor industriale de încălzire a fost concepută și realizată pentru eliminarea pierderilor de căldură prin răbufnirea gazelor arse din cuptor prin instalarea unor rame cu insuflare de jeturi de gaze cu viteză mare, captate din canalul de evacuare a gazelor, după cazanul de abur.
2. În urma efectuării măsurătorilor la un cuptor cu propulsie de la ArcelorMittal Galați au fost calculate valorile pierderilor de căldură prin răbufnire prin zona ușilor de încărcare (161,0 MJ/t) și prin zona ușilor de descărcare (51,0 MJ/t), totalul fiind de 212,0 MJ/t.
3. Cantitatea totală de căldură pierdută prin răbufnirea gazelor reprezintă cca. 8,8% din căldura dezvoltată de combustibilul utilizat (bigaz), justificându-se aplicarea etanșării gazodinamice.
4. Prin montarea ramelor de etanșare gazodinamică la cuptorul cu propulsie de la ArcelorMittal Galați, consumul specific de bigaz, contorizat pe o perioadă de 12 zile, a scăzut de la 282,6 Nm³/t, adică 2,4 GJ/t, la 258,9 Nm³/t, adică 2,2 GJ/t. Procentual, consumul de combustibil a scăzut cu 8,39% în perioada urmărită.
5. Valoarea economiei de combustibil a fost calculată la 1,3 €/t sau 130.000 €/an & cuptor.
6. Costurile investiției au fost de maxim 15.000 €, fiind amortizate în 1,5 luni.

5. ECONOMIC EFFICIENCY

The economic efficiency of the application of gasodynamic sealing at the pusher-type furnace consists in reduction of the specific consumption of fuel, as result of removing the heat losses by waste gases outburst from the furnace through its working openings.

According to the experimental determinations, the bi-fuel gas consumption is reduced with 23.7 Nm³/t, i.e. 0.2 GJ/t, representing 8.39%. The supplementary consumption of energy is negligible.

Converting the bi-fuel gas in natural gas, the natural gas economy is 5.7 Nm³/t. At the price of natural gas of 230 €/1000 Nm³, the value of the fuel economy is 1.3 €/t or 130,000 €/year & furnace.

The investment costs were of maximum 15,000 €, being liquidated in 1.5 months.

6. CONCLUSIONS

1. *The installation of gasodynamic sealing of the industrial heating furnace doors was conceived and achieved to remove the heat losses through waste gases outburst from the furnace by assembling of frames with instilling of gas jets with high speed, captured from the gases evacuation channel, after the steam boiler.*
2. *As result of measurement performing at a pusher-type furnace in ArcelorMittal Galati were calculated the values of heat losses by outburst through the loading doors area (160.1 MJ/t) and the discharge doors area (51.0 MJ/t), the total being 212.0 MJ/t.*
3. *The total amount of lost heat through gases outburst represent about 8.8% from the heat developed by the used fuel (bi-fuel gas), justifying the application of gasodynamic sealing.*
4. *By assembling the frames of gasodynamic sealing at the pusher-type furnace in ArcelorMittal Galati, the specific consumption of bi-fuel gas, registered on a 12 days period, was diminished from 282.6 Nm³/t, i.e. 2.4 GJ/t, to 258.9 Nm³/t, i.e. 2.2 GJ/t. In percentage terms, the fuel consumption decreased with 8.39% in the followed period.*
5. *The value of the fuel economy was calculated at 1.3 €/t or 130,000 €/year & furnace.*
6. *The investment costs were of maximum 15,000 €, being liquidated in 1.5 months.*

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- [1] **Gh. IORDACHE, A. GABA** - *Procedeu pentru mărirea randamentului cuptoarelor industriale și cuptor industrial cu randament îmbunătățit*, Brevet România nr. 77715, 1991.
- [2] **A. GABA, R. PĂTRAȘCU** - *Procedeu de etanșare gazodinamică a ușilor cuptoarelor metalurgice*, Proceeding la Conferința TPSRM 2000, pag. 617-622, București, 26-27 oct. 2000.
- [3] **E.M. GOLDFARB, N. TAIȚ** - *Calculul cuptoarelor de încălzire*, Editura Tehnică, București, 1960.
- [4] **T. BERINDE** - *Întocmirea și analiza bilanșurilor energetice în industrie, vol. I și II*, Editura Tehnică, București, 1976.