

**CERCETĂRI PENTRU REALIZAREA
UNUI ARZĂTOR RECUPERATIV
PENTRU ÎNCĂLZIREA ZIDĂRIEI
OALELOR DE TURNARE A
OȚELULUI DE 65 - 125 TONE**

**RESEARCH TO ACHIEVE
A RECUPERATIVE BURNER
FOR HEATING THE STEEL LADLES
MASONRY OF 65 - 125 TONNES**

A. IOANA¹, L. PĂUNESCU², A. GABA³

¹Universitatea Politehnica București

²Cermax 2000 Patents SRL București

³Universitatea Valahia Târgoviște

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

REZUMAT / ABSTRACT

Lucrarea prezintă o realizare tehnică originală a colectivului de autori în domeniul aplicării unei tehnologii recuperative în procesul de uscare-temperare a zidăriei oalelor de turnare a oțelului de capacități mari (65 - 125 tone) pentru industria siderurgică.

Instalația realizează o recuperare energetică combinată a căldurii fizice a gazelor arse aspirate din oala de turnare și a căldurii radiate de suprafața superioară a carcasei metalice a capacului oalei. Economia de combustibil (gaz natural) obținută pe durata procesului de uscare-temperare este de circa 11,9%. De asemenea, impactul asupra mediului este favorabil, prin reducerea emisiilor de noxe (CO și NO_x) sub limitele maxime admise de normele legale, pe întregul domeniu de funcționare a instalației.

The paper presents an original technical achievement of the team of authors in the domain of application a recuperative technology in the drying-tempering process of the high capacities steel ladles masonry (65 - 125 tonnes) in the iron and steel industry.

The installation makes a combined energy recovery of the waste gas physical heat aspired from the ladle and the heat radiated by the upper surface of metallic casing of ladle lid. The fuel (natural gas) economy obtained during the drying-tempering process is of about 11.9%. Also, the impact on environment is favorable, through reduction of pollutants emissions (CO and NO_x) under the maximum limits allowed by the legal norms, on the whole domain of installation operation.

Key words: recuperative burner, ladle, temperature, waste gas, preheated air

1. INTRODUCERE

Arzătoarele recuperative, concepute și realizate pentru prima dată în perioada 1974-76 de către compania britanică Hotwork Development [1], constituie și în prezent, poate, cel mai eficient, din punct de vedere energetic, tip de arzătoare utilizate în sectoarele calde ale industriei. Acestea recuperează energia termică a propriilor gaze arse dezvoltate într-o incintă de lucru relativ etanșă (cuptoare de încălzire de toate tipurile, instalații de uscare și încălzire a zidăriei oalelor de turnare etc.), pe care o valorifică prin preîncălzirea la temperaturi ridicate, de peste 500°C, a propriului aer de combustie utilizat în procesul de combustie.

1. INTRODUCTION

The recuperative burners, conceived and achieved for the first time, between 1974-76 by the British company Hotwork Development [1], constitute now too, probably, the most energy effective burners type used in the hot sectors of industry. These recover the thermal energy of the own waste gas developed into a relative tight working inside (all types heating furnaces, drying and heating installations of ladles masonry etc.), which is revaluated by preheating at high temperatures, on over 500°C, of the own combustion air used in the combustion process.

Recuperatorul metalic al acestui tip de arzătoare este înglobat în corpul utilajului. În acest fel, transferul de căldură de la gazele arse fierbinți la aerul de combustie rece se realizează foarte eficient, cu pierderi minore în afara sistemului.

2. PARTICULARITĂȚI ALE PROIECTĂRII ARZĂTOARELOR RECUPERATIVE

Există, totuși, un dezavantaj al arzătoarelor recuperative performante legat de limitarea puterii termice maxime a acestora la 300-350 kW (adică, circa 30-35 Nm³ gaz natural/h). Creșterea peste această limită, generează probleme semnificative privind dimensiunile de gabarit și masa arzătorului, deoarece recuperatorul înglobat în corpul acestuia trebuie redimensionat, iar creșterea în volum a recuperatorului se realizează într-o proporție mult mai mare față de creșterea puterii termice a arzătorului. Din acest motiv, nici Talec Combustion Company [2] (producătorul principal al arzătoarelor recuperative Hotwork) și nici ceilalți producători mondiali posesori ai licenței de fabricare Hotwork din Franța, SUA, China etc., nu furnizează echipamente cu puteri termice mai mari.

În cazul aplicării arzătoarelor recuperative în procesele de uscare și încălzire a oalelor de turnare a oțelului, condiția impusă tehnologic de poziționare verticală a oalelor în timpul procesului, crează probleme suplimentare privind amplasarea, ancorarea și manevrarea arzătorului solidar cu capacul oalei, astfel încât dimensiunile și masa arzătorului nu pot depăși anumite limite. În acest caz, suprafața de schimb de căldură dintre gazele arse aspirate din oală și aerul de combustie rece nu mai poate fi adoptată la valoarea teoretic necesară pentru un transfer de căldură optim, astfel încât performanțele recuperatorului vor scădea.

Pentru a exemplifica cele enunțate mai sus vom lua ca etalon arzătorul recuperativ de 250 kW realizat de autori pentru uscarea și încălzirea la 900°C a zidăriei oalelor de turnare a oțelului de 15 tone [3, 4].

Datele tehnice ale arzătorului, conform documentației de omologare, sunt:

- puterea termică nominală: 250 kW;
- temperatura maximă a gazelor arse:
 - la intrarea în corpul arzătorului: 900°C;
 - la ieșirea din corpul arzătorului: 350°C;
- temperatura maximă a aerului de combustie preîncălzit în corpul arzătorului: 350°C;
- suprafața de schimb de căldură gaze arse/aer: 1,99 m²;
- coeficientul global de schimb de căldură: 125,5 kJ/m²·h·°C;
- diferența medie logaritmică de temperatură: 440°C;
- cantitatea de căldură preluată de aerul de combustie preîncălzit: 109,75 MJ/h;
- dimensiunile de gabarit ale arzătorului:
 - diametru: 420 mm;

The metallic recuperator of this burner type is included in the equipment body. In this way, the heat transfer from the hot waste gas to the cold combustion air is very efficiently achieved, with minor losses out of the system.

2. PECULIARITIES OF THE RECUPERATIVE BURNERS DESIGN

There is, yet, a disadvantage of the advanced recuperative burners in connection with limitation of their maximum thermal power to 300-350 kW (i.e. about 30-35 Nm³ natural gas/h). Increasing over this limit creates significant problems on the burner sizes and mass, because the recuperator included in its body must be redimensioned and the volumetric increasing of the recuperator is achieved much higher proportion to increasing of the burner thermal power. Therefore, not even Talec Combustion Company [2] (the main producer of the Hotwork recuperative burners) and no other world producers, Hotwork manufacture license holders from France, USA, China etc. does not provide equipments with greater thermal powers.

In the case of the recuperative burners' application in drying and tempering of steel ladles, the condition imposed technologically of vertical position of ladles during the process, creates supplementary problems concerning emplacement, fastening and operating of the burner solidary with the ladle lid, so that the burner sizes and mass can not transcend certain limits. In this case, the heat exchange surface between waste gas aspired from the ladle and the cold combustion air can not be adopted yet at the theoretical necessary value for an optimum heat transfer, so that the recuperator performances will decrease.

To exemplify the above enunciation we shall take, as standard, the recuperative burner of 250 kW achieved by authors to dry and heat at 900°C the steel ladles masonry of 15 tonnes [3, 4].

The technical data of the burner, according the ratifying documentation, are:

- nominal thermal power: 250 kW;
- maximum temperature of waste gas
 - at the entrance in the burner body: 900°C;
 - at the exit from the burner body: 350°C;
- maximum temperature of combustion air preheated in the burner body: 350°C;
- heat exchange surface waste gas/air: 1.99 m²;
- overall coefficient of heat exchange: 125.5 kJ/m²·h·°C;
- logarithmic average temperature difference: 440°C;
- heat amount taken by the preheated combustion air: 109.75 MJ/h;
- burner sizes:
 - diameter: 420 mm;

- lungime: 1050 mm;
- masa netă: 125 kg.

Pentru a evidenția dificultatea realizării unor arzătoare recuperative performante (cu aceleași valori ale coeficientului global de schimb de căldură și a diferenței medii logaritmice de temperatură ca în cazul arzătorului de 250 kW) cu puteri termice mult superioare, necesare încălzirii zidăriei unor oale de turnare de 65 - 125 tone, se prezintă în **Tabelul 1** dimensiunile de gabarit și suprafețele de schimb de căldură ale arzătoarelor recuperative în intervalul 250 - 2000 kW, așa cum rezultă din calculele de proiectare utilizate pentru realizarea arzătorului de 250 kW.

- length: 1050 mm;
- net mass: 125 kg.

To emphasize the difficulty to achieve advanced recuperative burners (with the same values of overall coefficient of heat exchange and logarithmic average temperature difference as in the case of the recuperative burner of 250 kW) with thermal powers much higher, necessary for heating the ladles masonry of 65 - 125 tonnes, are presented in **Table 1** the sizes and the heat exchange surfaces of the recuperative burners in the range 250 - 2000 kW, as resulting from the design calculus used to achieve the burner of 250 kW.

Tabelul 1. Date de proiectare, în condiții performante, a unor arzătoare recuperative cu puteri termice între 250 - 2000 kW
Table 1. Design data, in performance conditions, of recuperative burners with thermal power between 250 - 2000 kW

Thermal power of recuperative burner (kW)	Sizes		Volume of the burner (m ³)	Overall coefficient of heat exchange (kJ/m ² ·h·°C)	Logarithmic average temperature difference (°C)	Heat exchange surface between waste gas and air (m ²)
	Diameter (mm)	Length (mm)				
250	420	1050	0.145	125.5	440	1.99
300	500	1150	0.226			2.39
350	620	1400	0.422			2.78
400	700	1700	0.654			3.18
500	800	1990	1.000			3.98
1000	1240	2717	3.280			7.95
1500	1600	3000	6.029			11.93
2000	1800	3300	8.415			15.90

Datele conținute în **Tabelul 1** confirmă cele afirmate mai sus referitor la problemele tehnice și organizatorice pe care le-ar ridica aplicarea industrială la încălzirea oalelor cu capacități de 65 - 125 tone a unor arzătoare recuperative performante de peste 1000 kW. În aceste circumstanțe, au fost căutate soluții care să satisfacă atât cerințele energetice ale procesului de încălzire a zidăriei oalelor la temperaturi înalte, de peste 1150°C, cât și cerințele mecanice și organizatorice de montare și manevrare în condiții de siguranță a unui ansamblu solidar arzător-capacul oalei, de dimensiuni destul de mari comparativ cu echipamentele utilizate în mod uzual în siderurgia din România.

3. DESCRIEREA ARZĂTORULUI ȘI A CAPACULUI OALEI PROIECTATE PENTRU O INSTALAȚIE INDUSTRIALĂ DE USCARE ȘI ÎNCĂLZIRE A ZIDĂRIEI OALELOR DE 65 TONE

3.1. Descrierea arzătorului recuperativ

Principiul de funcționare adoptat pentru arzătorul

The data from **Table 1** confirm the above affirmation referring to the technical and organizational problems which would be to industrial apply of advanced recuperative burners of over 1000 kW at the heating of ladles with capacities of 65 - 125 tonnes. In these circumstances, were gone in search solutions to satisfy both energy requests of the heating process of ladles masonry to high temperatures of over 1150°C and mechanical and organizational requests for safety assembling and operating a solidary burner - ladle lid ensemble with high dimensions, comparative with the equipments usually used in the iron and steel industry in Romania.

2. DESCRIPTION OF THE BURNER AND THE LADLE LID DESIGNED FOR A DRYING AND HEATING INDUSTRIAL INSTALLATION OF LADLES MASONRY OF 65 TONNES

3.1. Description of the recuperative burner

The functional principle adopted for the recuperative

recuperativ destinat uscării și încălzirii zidăriei oalelor de turnare a oțelului este următorul:

Arzătorul captează prin tiraj natural propriile gaze arse rezultate din procesul de ardere, după ce acestea au cedat o parte din căldură zidăriei oalei. Odată aspirate în corpul arzătorului, gazele fierbinți parcurg un traseu ascendent de secțiune inelară, delimitat de traseul periferic al aerului de combustie (în echicurent față de gazele arse) și traseul central al aerului (în contracurent față de gaze).

Racordurile (în număr de patru, echidistante), care fac legătura dintre cele două trasee ale aerului din corpul arzătorului, sunt poziționate în vecinătatea zonei prin care gazele arse sunt eșapate în atmosferă. Acestea au o formă turtită, partea alungită fiind în sensul de curgere a gazelor, constituind suprafețe suplimentare de transfer de căldură între cele două fluide gazoase.

Partea centrală axială a arzătorului recuperativ constituie arzătorul propriu-zis, stabilizatorul de flacără fiind piesa prin care combustibilul (gaz natural) este transportat și distribuit pentru contactul cu aerul de combustie. În curentul de aer preîncălzit, de formă inelară, dintre ajutorul de aer și stabilizatorul de flacără, turbionat cu ajutorul elicei, se injectează, prin intermediul orificiilor radiale, 66% din volumul total de gaz natural consumat în procesul de ardere. Rezultă un jet inelar oxidant format din gaz natural și aer, care se aprinde în aval de stabilizator. Restul combustibilului (34%) este dirijat prin orificiul central în lungul axei longitudinale a arzătorului. Jetul central de gaz natural va parcurge o parte din lungimea camerei de ardere fără să se afle în contact cu oxigenul aflat în exces în jetul inelar aprins.

Pe acest parcurs, jetul central de combustibil este supus încălzirii simultane produse de jetul inelar aprins, suprafața camerei de ardere și radiația zidăriei oalei supuse încălzirii. Ca urmare, jetul central de combustibil crachează termic, producând carbon liber, care colorează partea a doua a flăcării.

Elementele rezultate prin cracare (carbonul și hidrogenul) absorb energie termică în zona camerei de ardere.

Camera este, astfel, protejată de degajări excesive de energie, caracteristice arzătoarelor fără autocarburare. Energia absorbită de jetul central de gaze naturale și energia degajată prin arderea elementelor combustibile din acest jet (după combinarea cu oxigenul din jetul inelar exterior), se degajă în cea de-a doua parte a flăcării.

Principiul funcțional al arzătorului recuperativ este prezentat în **Figura 1**.

burner destined to the steel ladles masonry drying and heating is the following:

The burner captures by natural draught the own waste gas resulted from the combustion process, after when these yielded a part of heat to the ladle masonry. Aspired in the burner body, the hot gases cross an ascending route on annular section, delimited by the peripheral route of the combustion air (in equicurrent given waste gas) and the central line of air (in counter-current given gases).

The connections (four, equidistant), which make the link between the two routes of air from the burner body, are placed in the area neighborhood through which waste gas are exhausted in atmosphere. These have a flattened form, the elongate part being in the direction of flow of the gases, constituting supplementary surfaces of heat transfer between the two gaseous fluids.

The central axial part of the recuperative burner constitutes the proper burner, the flame stabilizer being the piece through which the fuel (natural gas) is transported and distributed for the contact with the combustion air. Into the preheated air current, on annular form, between the air nozzle and the flame stabilizer, swirled with a screw, is instilled, through radial holes, 66% from the total volume of natural gas consumed in the combustion process. It results an annular oxidizing jet, constituted by natural gas and air, which ignites within the downstream stabilizer. The rest of fuel (34%) is guided through the central hole along the longitudinal axis of the burner. The natural gas central jet will travel a part of the combustion chamber length without contact with oxygen in excess into the ignited annular jet.

On this route, the fuel central jet is heated simultaneously by the ignited annular jet, combustion chamber surface and radiation of the ladle masonry in heating. As result, the fuel central jet dissociates, producing free carbon, which colours the second part of the flame.

The elements resulted by dissociation (carbon and hydrogen) absorb the thermal energy in the combustion chamber area.

Thus, the chamber is protected given excessive releases of energy, characteristics of the burners without autocarburizing. The energy absorbed by the natural gas central jet and the energy released by combustion of fuel elements from this jet (after combustion with oxygen from the external annular jet), are evolved in the second part of the flame.

*The functional principle of the recuperative burner is presented in **Figure 1**.*

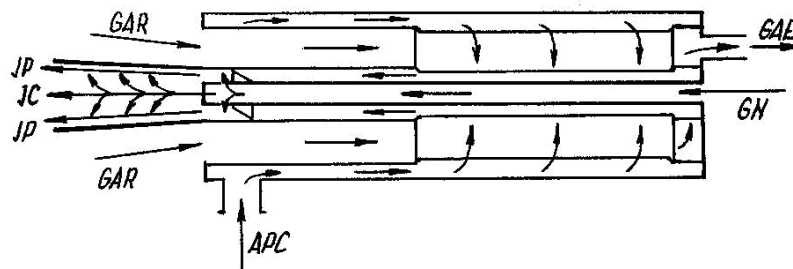


Fig. 1. Principiul funcțional al arzătorului recuperativ
The functional principle of the recuperative burner

APC – aer preîncălzit în capac / *air preheated in the ladle lid*; GAR – gaze arse reutilizate / *reused waste gas*;
 GN – gaz natural / *natural gas*; JC – jet central de combustibil / *central jet of fuel*;
 JP – jet periferic de amestec combustibil-aer aprins / *peripheral jet of ignited fuel-air mixture*;
 GAE – gaze arse evacuate din arzător / *waste gas evacuated from the burner*

Arzătorul se compune din următoarele piese principale:

a. Stabilizatorul de flacără este o piesă alcătuită dintr-o conductă $\Phi 76 \times 4,5$ mm, având în aval ajutorul de gaz natural. Ajutajul este executat din oțel refractar 15SiNiCr250 și este prevăzut cu două rânduri de câte 10 orificii radiale $\Phi 7$ mm și un orificiu axial $\Phi 22,5$ mm. Pe exteriorul ajutorului sunt sudate 7 nervuri înclinate cu 30° față de axul stabilizatorului, pentru a asigura o mișcare turbionară a aerului de combustie.

b. Conducta de aer cald este executată din țevă $\Phi 193 \times 6,5$ mm din oțel refractar 15SiNiCr250, având prevăzute în amonte patru fante de 554×35 mm, în care se sudează cele patru racorduri pentru aer.

c. Camera de ardere este o piesă tronconică, cu deschiderea de 16° , executată din tablă din oțel refractar 15SiNiCr250, roluită la cald, care se sudează în capul din avalul conductei de aer cald.

d. Schimbătorul de căldură al arzătorului recuperativ se compune din următoarele piese:

- conducta de gaze arse, realizată din tablă 12NiCr180, cu grosimea de 3 mm, roluită la cald, având prevăzute în amonte patru fante în care se sudează cele patru racorduri pentru aer;
- racordurile pentru aer (4 bucăți), executate din tablă 12NiCr180, cu grosimea de 3 mm;
- mantaua, care constituie carcasa exterioară a arzătorului, executată prin roluire din tablă OL 37.2k cu grosimea de 3 mm; în manta este prevăzut racordul de alimentare cu aer;
- capacul și piesele inelare, executate din tablă OL 37.2k cu grosimea 3 mm, asigură închiderea capetelor din amonte și aval ale arzătorului;
- sistemul de evacuare în mediul înconjurător a gazelor arse, montat în capacul arzătorului, care se compune din două țevi verticale și două orizontale de $\Phi 152 \times 6$ mm, sudate între ele, care înțeață o țevă de $\Phi 168 \times 6$ mm, ce constituie coșul de evacuare a gazelor arse.

The burner is composed from the following main pieces:

a. The flame stabilizer is a piece constituted from a pipe $\Phi 76 \times 4.5$ mm, having downstream the natural gas nozzle. The nozzle is performed from 15SiNiCr250 refractory steel and has two rows of 10 radial holes $\Phi 7$ mm and an axial hole $\Phi 22.5$ mm. On the nozzle outside are welded 7 ribs inclined with 30° given the stabilizer axis, to assure a swirled motion of the combustion air.

b. Warm air tube is performed by a pipe $\Phi 193 \times 6.5$ mm from 15SiNiCr250 refractory steel, having upstream four slits of 554×35 mm, in which the four air connections are welded.

c. The combustion chamber is a truncated cone piece, with the opening of 16° , performed from a 15SiNiCr250 refractory steel plate, by hot rolling, which is welded in downstream end of the warm air tube.

d. The heat exchange of the recuperative burner is composed from the following pieces:

- *waste gas tube, performed from a 12NiCr180 plate, with thickness of 3mm, by hot rolling, having upstream four slits in which the four air connections are welded;*
- *air connections (4 pieces), performed from a 12NiCr180 plate, with thickness of 3 mm;*
- *the casing, which constitutes the external carcass of the burner, performed by rolling from a OL37.2k plate with thickness of 3 mm; in the casing there is the air supply connection;*
- *the lid and the annular pieces, performed from a OL37.2k plate with thickness of 3 mm, assure the closure of upstream and downstream ends of the burner;*
- *the system of waste gas evacuation in environment, assembled in the burner lid, which is composed from two vertical and two horizontal pipes of $\Phi 152 \times 6$ mm, welded, which pique a pipe $\Phi 168 \times 6$ mm, which constitutes the waste gas evacuation chimney.*

3.2. Descrierea capacului recuperativ al oalei

Capacul oalei este o construcție metalică sudată, cu diametrul de 4200 mm, ștampată pe fața interioară (orientată spre gura oalei) cu beton refractar superaluminos cu grosimea de 180 mm. Rolul capacului este de a acoperi și proteja termic întreaga suprafață a gurii oalei, sprijinindu-se pe marginea metalică a carcasei acesteia. Căptușeala refractară a capacului lasă un spațiu liber în zona sa centrală, pentru a permite montarea arzătorului recuperativ și, implicit, dezvoltarea flăcării și aspirația gazelor arse din oală. Deoarece, pe la partea superioară a capacului există pierderi de căldură prin radiație către mediul ambiant, a fost adoptată soluția răcirii capacului cu aerul de combustie și, în același timp, preîncălzirii parțiale a aerului înaintea intrării acestuia în corpul arzătorului, prin recuperarea căldurii pierdute prin căptușeala refractară a capacului. Aerul de combustie, furnizat de un ventilator, este vehiculat către ansamblul capac-arzător prin spațiul interior al brațului mobil, care susține și basculează acest ansamblu, conform soluției de proiectare utilizate anterior și menținute și în situația de față. Metoda de preîncălzire etapizată a aerului de combustie în capacul recuperativ al oalei și, apoi, în corpul arzătorului recuperativ, a fost brevetată anterior de autori [5] și este recomandată în procesele de încălzire a oalelor de turnare de capacități mari [6]. Principiul funcțional al instalației combinate capac oală - arzător recuperativ este prezentat în **Figura 2**.

3.2. Description of the ladle recuperative lid

The ladle lid is a welded metallic structure, with the diameter of 4200 mm, stamped on its inner face (oriented to the ladle opening) with a superaluminous refractory concrete with thickness of 180 mm. The lid role is to cover and thermal protect the whole surface of ladle opening, leaning upon the metallic edge of its carcass. The refractory lining of the lid lets a free space in its central area, to allow assembling of the recuperative burner and, implicitly, the flame development and waste gas aspiration from the ladle. Because on the upper part of the lid there are heat losses through radiation to environment, was adopted the solution of lid cooling with the combustion air and, in the same time, the partial preheating of air prior to its entrance into the burner body, by heat recovery lost through the lid refractory lining. The combustion air provided by a fan, is transported to the lid - burner ensemble through the inner space of the mobile arm, which supports and tips this ensemble, according to the design solution used previously and maintained too, in present.

The method of the phased preheating of combustion air, was earlier patented by authors [5] and is recommended in the heating processes of the high capacities ladles [6].

The functional principle of the combine installation ladle lid - recuperative burner is presented in **Figure 2**.

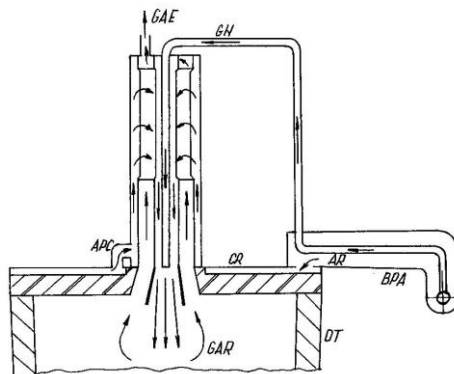


Fig. 2. Principiul funcțional al instalației combinate capac-arzător recuperativ

The functional principle of the combined installation of ladle lid-recuperative burner

BPA – braț port-arzător / burner support arm; AR – aer rece / cold air; CR – capac recuperativ / recuperative ladle lid; OT – oală de turnare / casting ladle; APC – aer preîncălzit în capac / air preheated in ladle lid;

GN – gaz natural / natural gas; GAR – gaze arse reutilizate / reused waste gas;

GAE – gaze arse evacuate din arzător / waste gas evacuated from the burner.

3.3. Principalele date tehnice de proiectare ale arzătorului și capacului

Principalele date tehnice adoptate pentru proiectarea arzătorului recuperativ și a capacului oalei sunt:

- puterea termică nominală a arzătorului: 1500 kW;
- debitul nominal de gaz natural: 150 Nm³/h;

3.3. The main design technical data of the burner and the lid

The main technical data adopted to design of the recuperative burner and the ladle lid are:

- nominal thermal power of the burner: 1500 kW;
- nominal natural gas flow: 150 Nm³/h;

- proporția distribuției gazului natural prin:
 - orificii radiale: 66%;
 - orificiul axial: 34%;
 - viteza aerului în recuperatorul de căldură al arzătorului: 20 m/s;
 - viteza gazelor arse în recuperatorul arzătorului: 3,5 m/s;
 - viteza aerului în ajutorul de aer: 22 m/s;
 - viteza gazelor arse la ieșirea din camera de ardere: 60 m/s;
 - viteza aerului în capacul oalei: 20 m/s;
 - temperatura aerului la intrarea în capacul oalei: 10°C;
 - temperatura de încălzire a suprafeței căptușelii refractare a oalei: 1100°C;
 - temperatura maximă de preîncălzire a aerului în capac: 60°C;
 - temperatura maximă de preîncălzire a aerului în recuperatorul arzătorului: 270°C;
 - suprafața de schimb de căldură a arzătorului: 5,17 m²
 - randamentul termic al recuperatorului arzătorului: 0,95.
- *natural gas distribution ratio by:*
 - *radial holes: 66%;*
 - *axial hole: 34%;*
 - *air velocity into the heat recuperator of the burner: 20 m/s;*
 - *waste gas velocity into the burner recuperator: 3.5 m/s;*
 - *air velocity in the air nozzle: 22 m/s;*
 - *waste gas velocity at the exit from the combustion chamber: 60 m/s;*
 - *air velocity into the ladle lid: 20 m/s;*
 - *air temperature at the entrance in the ladle lid: 10°C;*
 - *heating temperature of the ladle refractory lining surface: 1100°C;*
 - *maximum preheating temperature of air in the lid: 60°C;*
 - *maximum preheating temperature of air in the burner recuperator: 270°C;*
 - *heat exchange surface of the burner: 5.17 m²;*
 - *thermal efficiency of the burner recuperator: 0.95.*

4. METODOLOGIA EXPERIMENTĂRII

Experimentarea arzătorului recuperativ și a capacului recuperativ aferent se efectuează în condiții normale de lucru pe o instalație de uscare și încălzire a zidăriei oalelor de turnare a oțelului de 65 tone.

Parametrii funcționali măsurați sunt:

- debitul orar de gaz natural, cu ajutorul unei diafragme;
- presiunea gazului natural, cu un manometru tip Bourdon;
- temperatura aerului la intrarea în capac, cu un termometru cu mercur, cu domeniul de măsurare 0-400°C;
- temperatura aerului la ieșirea din capac, cu un termometru cu mercur, cu domeniul de măsurare 0-400°C;
- temperatura aerului în capul arzătorului, în zona ajutorului de aer, cu un termocuplu de pasaj Fe-constantan, cu domeniul de măsurare 0-700°C;
- temperatura suprafeței căptușelii refractare a oalei, cu un termocuplu de pasaj Cromel-alumel, cu domeniul de măsurare 0-1200°C și cu un pirometru de radiație, cu domeniul de măsurare 300-1200°C;
- temperatura flăcării arzătorului, cu un pirometru de radiație, cu domeniul de măsurare 800-1800°C;
- temperatura gazelor arse la ieșirea din arzătorul recuperativ, cu un termocuplu Cromel-alumel, cu domeniul de măsurare 0-1200°C;
- compoziția chimică a gazelor arse prelevate din incinta oalei de turnare, cu ajutorul analizorului digital TESTO 350.

4. EXPERIMENTATION METHODOLOGY

The experimentation of the recuperative burner and the afferent recuperative lid is accomplished in normal working conditions at a drying and heating installation of the steel ladles masonry of 65 tonnes.

The functional parameters measured are:

- *natural gas hourly flow, with a diaphragm;*
- *natural gas pressure, with a Bourdon type manometer;*
- *air temperature at the entrance into the lid, with a thermometer with mercury, with the measurement domain: 0-400°C;*
- *air temperature at the exit from the lid, with a thermometer with mercury, with the measurement domain: 0-400°C;*
- *air temperature in the burner end, in the air nozzle area, with a passage thermocouple Fe - constantan, with the measurement domain: 0-700°C;*
- *temperature of the ladle refractory lining surface, with a passage thermocouple Cromel - alumel, with measurement domain: 0-1200°C and a radiation pyrometer, with measurement domain: 300-1200°C;*
- *flame temperature of the burner, with a radiation pyrometer, with measurement domain: 800-1800 °C;*
- *waste gas temperature at the exit from the recuperative burner, with a thermocouple Cromel - alumel, with measurement domain: 0-1200°C;*
- *chemical composition of waste gas captured from the ladle inside, with the digital analyser TESTO 350.*

Înainte de începerea procesului de încălzire a oalelor de turnare, s-au determinat limitele debitelor maxime și minime de funcționare cu gaz natural și valorile corespunzătoare ale presiunilor combustibilului.

Procesul de uscare și încălzire a căptușelii refractare a unei oale de 65 tone a fost controlat prin efectuarea la interval de 1 oră a măsurătorilor parametrilor funcționali precizați mai sus. Debitul orare de aer de combustie și de gaze arse au fost calculate în urma determinării coeficienților de exces de aer (rezultați din analizele chimice ale gazelor arse).

5. REZULTATE EXPERIMENTALE

Experimentarea industrială a instalației recuperative pentru uscarea și încălzirea zidăriei oalelor, compusă din arzătorul cu puterea termică de 1500 kW și capacul oalei, s-a desfășurat la Mechel SA Târgoviște, pe un stand de încălzire a oalelor de turnare de 65 tone din Oțelăria Electrică.

În **Tabelul 2** este prezentată fișa tehnică a procesului de uscare-temperare a unei oale proaspăt înzidită cu cărămizi magnezio-spinelice ca strat de uzură. Durata procesului a fost de 17 ore și 20 minute, iar temperatura finală de încălzire a zidăriei (măsurată pe suprafața acesteia) a fost de 1100°C, conform cerinței tehnologice.

Prior to the beginning of the ladle heating process, were determined the operating limits of maximum and minimum natural gas flows and the corresponding values of fuel pressures.

The drying and heating process of refractory lining of a ladle of 65 tonnes was controlled by carrying out, at a range of 1 hour, of the functional parameters measurements, specified above. The hourly flows of combustion air and waste gas were calculated after determining of air excess coefficients (resulted from the chemical analyse of waste gas).

5. EXPERIMENTAL RESULTS

The industrial experimentation of the recuperative installation for ladle masonry drying and heating, composed by the burner with thermal power of 1500 kW and the ladle lid, was carried out in Mechel SA Targoviste, on a ladles heating stand of 65 tonnes of Electric Steel Works.

In Table 2 is presented the technical sheet of the drying-tempering process of ladle new built with magnesio-spinel bricks as working layer. The process duration was 17 hours and 20 minutes and the final masonry heating temperature (measured on its surface) was 1100°C, according to the technological request.

Tabelul 2. Fișa tehnică de uscare-temperare a oalei de 65 tone
Table 2. Drying-tempering technical sheet of a ladle of 65 tonnes

Time hours, minutes	Natural gas consumption (Nm ³ /h)	Combustion air temperature, °C			Temperature of the ladle masonry surface (°C)
		Lid entry	Exit from the lid	The air nozzle area	
01.00	173	10	12	45	510
02.00	173		15	57	650
02.45	123		20	70	720
03.00	123		21	80	740
04.00	123		25	88	800
04.45	118		30	97	815
05.00	118		31	110	825
06.00	118		38	124	870
07.00	118		40	138	910
08.00	118		44	150	950
09.00	118		46	167	980
10.00	118		48	178	1000
11.00	118		50	190	1010
11.20	115		50	193	1010
12.00	115		54	210	1040
13.00	115		58	220	1060
14.00	115		59	228	1080
15.00	115		59	239	1085
16.00	115		60	258	1090
17.00	115		60	269	1100
17.20	90	60	270	1100	

Analizând datele din **Tabelul 2** rezultă că valorile debitului orar de gaz natural se încadrează în intervalul 90-173 Nm³/h, consumul total de combustibil fiind de 2179,9 Nm³. Durata totală a procesului fiind de 17 ore și 20 minute, rezultă că valoarea medie orară a consumului de combustibil este de 125,8 Nm³/h. Datorită traseului aerului de combustie prin capacul recuperativ al oalei, în care acesta recuperează o parte din căldura pierdută prin radiație către mediul ambiant, temperatura de intrare a aerului în corpul arzătorului poate ajunge, la finalul încălzirii, la 60°C. În aceste condiții, temperatura cu care aerul intră în procesul de ardere atinge o valoare maximă de 270°C. Datorită aportului termic suplimentar al aerului preîncălzit sunt create condițiile pentru încălzirea la temperaturi înalte (1100°C) a căptușelii refractare a oalei.

Pe parcursul desfășurării procesului de uscare-temperare a zidăriei oalei s-au efectuat măsurători termotehnice complete corespunzătoare regimurilor termice utilizate. De asemenea, au fost determinate suplimentar regimurile maxime și minime și valorile corespunzătoare ale presiunilor combustibilului.

În **Tabelul 3** sunt prezentate caracteristicile funcționale ale arzătorului recuperativ în intervalul valorilor minime-maxime ale regimurilor termice.

*The data from **Table 2** show that the natural gas hourly flow values are integrated in the range 90-173 Nm³/h, the total consumption of fuel being 2179.9 Nm³. The total duration of the process being 17 hours and 20 minutes, results that the hourly average value of the fuel consumption is 125.8 Nm³/h. Due to the combustion air line through the ladle recuperative lid, in which this recovers a part of the heat lost by radiation to environment, the temperature of air entrance into the burner body can reach 60°C, at the heating final. In these conditions, the temperature with which the air enters in the combustion process reaches a maximum value of 270°C. Due to the supplementary thermal contribution of the preheated air are created conditions for high temperatures heating (110°C) of the ladle refractory lining.*

During the drying-tempering process of the ladle masonry were carried out complete thermo technical measurements corresponding to the used thermal regimes. Also, were supplementary determined the maximum and minimum regimes and the corresponding values of the fuel pressures.

*In **Table 3** are presented the functional characteristics of the recuperative burner in the range of minimum-maximum values of the thermal regimes.*

Tabelul 3. Caracteristicile funcționale ale arzătorului recuperativ
Table 3. The functional characteristics of the recuperative burner

No.	Natural gas flow (Nm ³ /h)	Natural gas pressure (mbar)	Combustion air temperature (°C)	Waste gas composition				Coefficient of air excess	Flame length (m)	Flame temperature (°C)	Ladle masonry temperature (°C)	Waste gas temperature at the evacuation from the burner (°C)
				CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO (Nm ³ /h)	NO _x (Nm ³ /h)					
1	199	38.0	57	11.06	1.19	85	210	1.05	2.20	1520	650	560
2	173	28.3	57	11.10	1.17	80	203	1.05	2.10	1510	650	560
3	150	21.0	88	11.02	1.21	77	197	1.05	1.90	1520	700	540
4	123	16.3	88	11.00	1.22	71	190	1.05	1.60	1500	800	640
5	118	14.4	178	11.02	1.20	70	193	1.05	1.40	1500	1000	620
6	115	14.2	210	10.98	1.22	66	195	1.05	1.30	1510	1040	570
7	115	14.2	269	11.00	1.20	67	200	1.05	1.30	1520	1100	450
8	40	4.0	270	10.65	1.53	49	172	1.09	0.50	1470	1100	-

Măsurătorile efectuate pe parcursul procesului de uscare-temperare a oalei, ale căror rezultate sunt prezentate în **Tabelul 3**, au permis stabilirea regimurilor termice maxime și minime la care poate funcționa arzătorul. Pentru toate regimurile termice care s-au succedat pe parcursul procesului, impuse de necesarul caloric al acestuia, consumul de aer de combustie raportat la debitul orar de combustibil a fost menținut constant, respectiv 10 Nm³ aer/Nm³ gaz natural, prin controlul permanent al coeficientului de exces de aer ($\alpha = 1,05$), rezultat prin calcul din compoziția chimică volumetrică a gazelor arse.

*The measurements carried out during the ladle drying-tempering process, whose results are presented in **Table 3**, allowed to establish the maximum and minimum thermal regimes at which the burner can operate. For all thermal regimes which alternated during the process, imposed by its caloric request, the consumption of combustion air reported to the fuel hourly flow was maintained constant, respectively 10 Nm³ air/Nm³ natural gas, by the permanent control of the coefficient of air excess ($\alpha = 1.05$), resulted by calculation from the*

Datorită efectuării măsurătorilor în condițiile dinamicii procesului de uscare-temperare a oalei, temperatura aerului de combustie a variat într-un interval larg de la 57°C la 270°C, datorită tendinței de creștere a temperaturii gazelor arse aspirate din incinta oalei (de la 700°C până la 1150°C).

Temperatura gazelor arse la evacuarea din corpul arzătorului are valori destul de ridicate, de până la 640°C (vezi **Tabelul 3**), în condițiile în care etanșarea spațiului dintre capac și oală nu este satisfăcătoare, dar nici nu poate fi îmbunătățită pe utilajele tehnologice actuale. Astfel, o parte destul de însemnată din gazele arse produse prin procesul de ardere părăsesc spațiul de lucru prin neetanșeitățile dintre capac și oală și doar circa 30% din volumul gazelor arse circulă prin recuperatorul arzătorului și transferă căldura lor fizică aerului de combustie. Pe de altă parte, dimensiunile foarte mari ale instalației recuperative și caracterul mobil al acesteia, fac imposibilă o recuperare energetică secundară a căldurii gazelor arse ieșite din arzător.

Totuși, pentru o instalație industrială de dimensiuni mari, așa cum este instalația de uscare-temperare a zidăriei oalelor de 65-125 tone, recuperarea cumulată a căldurii pierdute prin radiația carcusei metalice a capacului către mediul ambiant și a gazelor arse evacuate din oală, în scop tehnologic (preîncălzirea până la 270°C a propriului aer de combustie), constituie o soluție eficientă și originală, în condițiile în care nu se cunosc pe plan mondial alte tehnologii cu eficiență superioară.

În **Tabelul 4** sunt prezentate caracteristicile și parametrii funcționali ai instalației recuperative (arzător - capac) pentru uscarea-temperarea zidăriei oalelor de turnare a oțelului.

volumetric chemical composition of waste gas.

Because the carrying out of measurements in the conditions of dynamics of the ladle drying-tempering process, the combustion air temperature varied in a large range from 57°C to 270°C, due the increasing trend of waste gas temperature, aspired from the ladle inside (from 700°C to 1150°C).

*Waste gas temperature at the exit from the burner body has high enough, up to 640°C (see **Table 3**), in conditions in which the sealing of the space between lid and ladle is not satisfactory, but can not be even improved on the current technological equipments. Thus, an enough important part from waste gas resulted by the combustion process leaves the working space through the untightness between lid and ladle and only about 30% from waste gas volume circulate through the burner recuperator and transfer their physical heat to the combustion air. On the other hand, the very high dimensions of the recuperative installation and its mobile character, do impossible a secondary energy recovery of waste gas heat turn out from the burner.*

However, for a high dimensions industrial installation, as the drying-tempering installation of ladles masonry of 65-125 tonnes, the cumulative recovery of the lost heat through radiation of the lid metallic carcasse to environment and waste gas evacuated from ladle, for technological purpose (preheating up to 270°C of the own combustion air), constitutes an effective and original solution, in conditions in which other technologies worldwide with better efficiency are not known.

*In **Table 4** are presented characteristics and functional parameters of the recuperative installation (burner – lid) for the drying-tempering of the steel ladles masonry.*

Tabelul 4. Caracteristici și parametri funcționali
Table 4. Characteristics and functional parameters

No.	Name	Measure unit	Value
1	Nominal thermal power	kW	1500
2	Fuel type	-	natural gas
3	Natural gas flow - minimum - nominal - maximum	Nm ³ /h Nm ³ /h Nm ³ /h	40 150 199
4	Natural gas pressure -minimum - nominal - maximum	mbar mbar mbar	4 21 38
5	Maximum heating temperature of the ladle masonry surface	°C	1100
6	Preheating temperature of the combustion air (at the ladle temperature of 1100°C)	°C	270

No.	Name	Measure unit	Value
7	Coefficient of air excess	-	1.05 - 1.09
8	Flame length - at the maximum fuel flow - at the nominal fuel flow - at the minimum fuel flow	m m m	2.20 1.90 0.50
9	Duration of the drying - tempering process (at 1100 °C)	hours, minutes	17.20
10	Sizes of the burner - length - diameter - mass	mm mm kg	2420 780 377
11	Temperature of combustion air - lid entry - exit from the lid (maximum)	°C °C	10 60
12	Logarithmic average temperature difference	°C	635
13	Overall coefficient of heat exchange	kJ/ m ² · h · °C	124.7

6. EFICIENȚA ECONOMICĂ ȘI IMPACTUL ASUPRA MEDIULUI

Pentru a evidenția eficiența economică a instalației recuperative pentru uscarea-temperarea oalelor de 65 - 125 tone, comparativ cu instalația de referință de la Mechel Târgoviște, s-au avut în vedere pierderile de căldură specifice celor două instalații.

Astfel, în situația de referință gazele arse rezultate din procesul de ardere sunt evacuate în mediul înconjurător prin orificiile din capacul oalei, fără nicio recuperare energetică. Ținând seama că debitul orar mediu de gaz natural este de 150 Nm³/h, coeficientul de exces de aer este 1,10, iar temperatura medie a gazelor arse pe durata procesului de uscare-temperare (conform diagramei tehnologice) este de 900°C, s-a calculat căldura pierdută orar cu gazele evacuate [7 - 9].

$$Q_g = D_{gn} \cdot (9.52\alpha + 1) \cdot c_g \cdot t_{gmed}, \text{ kJ/ h} \quad (1)$$

unde:

D_{gn} - debitul orar de gaz natural, Nm³/ h;

α - coeficientul de exces de aer;

c_g - căldura specifică a gazelor arse corespunzătoare temperaturii medii a acestora, kJ/ Nm³·°C;

t_{gmed} - temperatura medie a gazelor arse pe durata procesului, °C.

Deci:

$$Q_g = 150 \cdot (9,52 \cdot 1.1 + 1) \cdot 1.469 \cdot 900 \cdot 10^{-3} = 2275 \text{ MJ/ h}$$

De asemenea, pierderea de căldură prin radiația suprafeței superioare a carcasei metalice a capacului reprezintă 1,5% din căldura chimică a combustibilului (conform bilanțului termic al instalației de referință).

$$Q_{rad} = 0.015 \cdot Q_{cc}, \text{ MJ/ h} \quad (2)$$

unde:

6. ECONOMIC EFFICIENCY AND THE IMPACT ON ENVIRONMENT

To emphasize the economic efficiency of the recuperative installation for drying-tempering of ladles of 65-125 tonnes, comparative with the reference installation in Mechel Targoviste, the specific heat losses of the two installations were taken in consideration.

Thus, in the reference situation waste gas resulted from the combustion process are evacuated on environment through the holes of ladle lid, without energy recovery. Considering that the average hourly flow of natural gas is 150 Nm³/h, the coefficient of air excess is 1.10 and waste gas average temperature during the drying-tempering process (according to the technological diagram) is 900°C, was calculated the hourly lost heat with the evacuated gases [7 – 9].

where:

D_{gn} - natural gas hourly flow, Nm³/ h;

α - coefficient of air excess;

c_g - specific heat of waste gas corresponding to their average temperature, kJ/ Nm³·°C;

t_{gmed} - waste gas average temperature during the process, °C.

So:

Also, the heat lost through radiation of the upper surface of the lid metallic carcass represents 1.5% from the chemical heat of the fuel (according to the thermal balance of the reference installation).

where:

Q_{cc} - căldura chimică a gazului natural consumat
($Q_{cc} = 5335,9$ MJ/h).

Deci:

$$Q_{rad} = 0,015 \cdot 5335,9 = 80 \text{ MJ/h}$$

Totalul căldurii pierdute prin gura oalei protejate cu capac, în instalația de referință, este așadar:

$$Q_p = Q_g + Q_{rad}, \text{ MJ/h} \quad (3)$$

$$Q_p = 2275 + 80 = 2355 \text{ MJ/h}, \text{ or } 40812,2 \text{ MJ/proces}$$

Prin aplicarea tehnologiei recuperative, 30% din volumul gazelor arse trece prin recuperatorul arzătorului și iese în mediul înconjurător la o temperatură medie de 570°C, iar restul de 70% din volumul gazelor arse iese prin neetanșeitățile dintre capac și oală la temperatura medie de 900°C (ca în situația de referință).

Relația de calcul a căldurii gazelor arse pierdute în mediul înconjurător este:

$$Q'_g = D_{gn} \cdot (9.52\alpha + 1) \cdot (0.3 \cdot c_g \cdot t_{gmed} + 0.7 \cdot c'_g \cdot t'_{gmed}) \cdot 10^{-3}, \text{ MJ/h} \quad (4)$$

unde:

D_{gn} - debitul orar mediu de gaz natural

($D_{gn} = 125,8 \text{ Nm}^3/\text{h}$, conform **Tabelului 2**);

α - coeficientul de exces de aer ($\alpha = 1,05$);

t_{gmed} - temperatura medie a gazelor arse evacuate din arzător ($t_{gmed} = 570^\circ\text{C}$);

c_g - căldura specifică a gazelor arse evacuate din arzător ($c_g = 1,419 \text{ kJ/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$);

t'_{gmed} - temperatura medie a gazelor arse ieșite prin neetanșeitățile dintre capac și oală ($t'_{gmed} = 900^\circ\text{C}$);

c'_g - căldura specifică a gazelor arse ieșite prin neetanșeitățile dintre capac și oală

($c'_g = 1,469 \text{ kJ/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$).

Deci:

$$Q'_g = 125.8 \cdot (9.52 \cdot 1.05 + 1) \cdot (0.3 \cdot 1.419 \cdot 570 + 0.7 \cdot 1.469 \cdot 900) \cdot 10^{-3} = 1616.3 \text{ MJ/h}$$

Sau: 28010,5 MJ/proces

Căldura pierdută prin radiația suprafeței superioare a carcusei capacului este practic neglijabilă.

Economia de energie termică (E_e) obținută prin aplicarea tehnologiei recuperative rezultă prin diferența dintre căldura pierdută în situația de referință (Q_p) și căldura pierdută la aplicarea tehnologiei recuperative (Q'_g).

Deci:

$$E_e = Q_p - Q'_g, \text{ MJ/proces} \quad (5)$$

$$E_e = 40812.2 - 28010.5 = 12801.7 \text{ MJ/proces}$$

Cunoscând puterea calorifică a gazului natural ($H_{gn} = 35572 \text{ kJ/Nm}^3$) se poate calcula economia de gaz natural (E_c) rezultată în urma aplicării tehnologiei recuperative:

12

Q_{cc} - chemical heat of natural gas consumed
($Q_{cc} = 5335.9$ MJ/h).

So:

$$Q_{rad} = 0.015 \cdot 5335.9 = 80 \text{ MJ/h}$$

The total lost heat through the ladle opening protected with lid, in the reference installation, is so:

By application of the recuperative technology, 30% from the waste gas volume passes through the burner recuperator and turns out in environment at a average temperature of 570°C and the rest of 70% from waste gas volume turns out through the untightness between lid and ladle at the average temperature of 900°C (as in the reference situation).

The relationship for calculation the heat of waste gas lost on the environment is:

where:

D_{gn} - average hourly flow of natural gas

($D_{gn} = 125.8 \text{ Nm}^3/\text{h}$, according to **Table 2**);

α - coefficient of air excess ($\alpha = 1.05$);

t_{gmed} - average temperature of waste gas evacuated from the burner ($t_{gmed} = 570^\circ\text{C}$);

c_g - specific heat of waste gas evacuated from the burner ($c_g = 1.419 \text{ kJ/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$);

t'_{gmed} - average temperature of waste gas turned out through the untightness between lid and ladle ($t'_{gmed} = 900^\circ\text{C}$);

c'_g - specific heat of waste gas turned out through the untightness between lid and ladle

($c'_g = 1.469 \text{ kJ/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$).

So:

Or: 28010,5 MJ/process

The lost heat through the radiation of the lid carcass upper surface is in practice negligible.

The economy of thermal energy (E_e) obtained by application of recuperative technology results by the difference between the lost heat in the reference situation (Q_p) and the lost heat at application of recuperative technology (Q'_g).

So:

Knowing the calorific power of natural gas ($H_{gn} = 35572 \text{ kJ/Nm}^3$) it can calculate the economy of natural gas (E_c) obtained as a result of application of recuperative technology.

$$E_c = E_e / H_{gn}, \text{ Nm}^3/\text{proces} \quad (6)$$

$$E_c = 12801.7 / 35572 \cdot 10^{-3} = 359.9 \text{ Nm}^3/\text{proces}, \text{ sau } 20.8 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Procentual, reducerea consumului de combustibil al procesului de uscare-temperare este de circa 11,9%.

În ceea ce privește impactul asupra mediului al aplicării tehnologiei recuperative, conform rezultatelor măsurătorilor din **Tabelul 3**, rezultă că procesul de ardere al gazului natural cu aerul preîncălzit se desfășoară la parametri performanți, cu un randament al arderii foarte bun, confirmat de concentrațiile mici de CO, sub limita admisă de normele legale (100 mg/Nm³) [10]. De asemenea, arzătorul este proiectat pentru o funcționare cu emisii reduse de oxizi de azot (NO_x), intervalul concentrațiilor NO_x în gazele arse fiind 172-210 mg/Nm³, sub limita maximă admisă de 350 mg/Nm³ [10].

7. CONCLUZII

1. Cercetarea a avut ca obiectiv realizarea unei instalații recuperative pentru procese de uscare-temperare a zidăriei oalelor de turnare a oțelului de capacități mari (65-125 tone), utilizate în mod curent în industria oțelului.
2. Deoarece realizarea unor arzătoare recuperative performante cu puteri termice de peste 1000 kW, teoretic necesare pentru procesul de încălzire a oalelor de capacități mari, implică dimensiuni de gabarit ale acestora exagerat de mari, pe plan mondial fabricarea arzătoarelor recuperative este limitată la puteri termice de maximum 300 – 350 kW. De aceea, aplicarea unor tehnologii recuperative pentru încălzirea oalelor de capacități mari nu se practică nici în siderurgiile avansate din lume.
3. Soluția propusă de autori constituie o recuperare combinată a căldurii fizice a gazelor arse captate din incinta oalei și a căldurii radiate către mediul ambiant de suprafața superioară a carcasei metalice a capacului oalei. Căldura astfel recuperată este preluată de aerul de combustie utilizat în procesul de ardere, care este preîncălzit, până la finalul procesului, la 270°C.
4. Soluția tehnică aplicată la Mechel Târgoviște oferă avantajul reducerii consumului de gaz natural cu circa 11,9% față de instalația de referință nerecuperativă.
5. Impactul asupra mediului este favorabil, prin reducerea emisiilor de noxe (CO și NO_x) sub limitele maxime admise de normele legale, pe întregul domeniu de funcționare a instalației.

In percentage, the reduction of the fuel consumption of drying-tempering process is 11.9%.

*Referring to the impact on environment of the application of recuperative technology, according to the measurements results from **Table 3**, results that the combustion process of natural gas with preheated air takes place at performance parameters, with a very good combustion efficiency, confirmed by the low CO concentrations, under the limit allowed by the legal norms (100 mg/Nm³) [10]. Also, the burner is designed for an operation with low emissions of nitrogen oxides (NO_x), the range of NO_x concentrations in waste gas being 172-210 mg/Nm³, under the maximum limit allowed of 350 mg/Nm³ [10].*

7. CONCLUSIONS

1. *The research had as objective the achievement of a recuperative installation for drying-tempering processes of high capacities (65 – 125 tonnes) steel ladles masonry, usually used in the steel industry.*
2. *Because the achievement of advanced recuperative burners with thermal power of over 1000 kW, theoretically necessary for the heating process of the high capacities ladles, involves their exaggerated great sizes, worldwide the performing of recuperative burners is limited to thermal power of maximum 300-350 kW. Therefore, the application of recuperative technologies for the heating of high capacities ladles is not used even the world advanced iron and steel industries.*
3. *The solution proposed by authors constitutes a combined recovery of physical heat of waste captured from the ladle inside and radiated heat through environment by the upper surface of ladle lid metallic carcass. The heat, recovery thus, is taken over by the combustion air used in combustion process, which is preheated, up to the process final, at 270°C.*
4. *The technical solution applied in Mechel Targoviste offers the advantage of reduction of natural gas consumption with about 11.9% given the reference non-recuperative installation.*
5. *The impact on environment is favourable, through reduction of pollutants emissions (CO and NO_x) under the maximum limits allowed by the legal norms, on the whole domain of installation operation.*

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- [1] *** - *The energy savers*, Prospect Hotwork Development Ltd., 1978.
- [2] *** - *Hotwork recuperative burner (HRB)*, Talec Combustion Company
www.taleccombustion.co.za
- [3] **L. PĂUNESCU, I. CIOACĂ, V. DUMITRESCU, A. IOANA, P. POPESCU, N. CILIBAN** - *Arzător*, Brevet România nr. 98852, 1989.
- [4] **L. PĂUNESCU, I. CIOACĂ, V. DUMITRESCU, E.D. ENE, A. IOANA** - *Considerații cu privire la folosirea arzătoarelor recuperative la uscarea oalelor de turnare*, A XXX-a Sesiune de Comunicări Științifice UPB & ICEM, București, 20-22 ian. 1988.
- [5] **L. PĂUNESCU, M. TUDOSESCU, T. POPESCU, P. POPESCU** - *Instalație pentru uscarea și încălzirea pereților oalelor de turnare*, Brevet România nr. 101334, 1989.
- [6] **A. GABA** - *Instalație de ardere recuperativă pentru uscarea și preîncălzirea oalelor de turnare*, Al V-lea Simpozion Mecatronică, microtehnologii și material noi, Universitatea Valahia, Târgoviște, 2007.
- [7] *** - *Normativ privind întocmirea și analiza bilanșurilor energetice*, PE 902, București, 1986.
- [8] **A. STAMBULEANU** - *Flacăra industrială*, Editura Tehnică, București, 1979.
- [9] **M. MARINESCU** - *Instalații de ardere*, Editura Tehnică, București, 1985.
- [10] *** - *Ordinul nr. 462*, Ministerul Apelor, Pădurilor și Protecției Mediului, București, 1993.