

# MASE REFRACTARE SPECIALE PENTRU SECTORUL DE ELABORARE A FONTEI ȘI OȚELULUI SPECIAL REFRACTORY MASSES FOR APPLICATION IN THE IRON AND STEEL MAKING AREA

MARIANA IVAN<sup>1\*</sup>, MARCELA MUNTEAN<sup>2</sup> FLORENTINA POTECAȘU<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ArcelorMittal Galați, str. Smârdan, nr.1 Galați, România

<sup>2</sup> Universitatea POLITEHNICA București, str. G. Polizu nr.1, Sector 1, 011061, București, România

<sup>3</sup> Universitatea "Dunărea de Jos" Galați, str. Domnească nr. 47, 800008, România

*Principalul utilizator al produselor refractare este segmentul siderurgic aferent transportului, prelucrării și turnării metalului topit (fontă și oțel).*

*La ora actuală se importă mase cu caracteristici termice, mecanice și chimice performante și de preferință ecologice. În urma analizei factorilor de uzură la care sunt supuse materialele refractare care vin în contact cu fonta/oțelul și zgura (solicitări mecanice-eroziune, abraziune, presiune ferostatică, solicitări termice - temperaturi >1500°C, solicitări chimice - coroziune provocată de atacul zgurii), s-au realizat și testat în laborator noi mase refractare plastice pentru etanșarea orificiului de evacuare a fontei și zgurii de la furnale.*

*S-a urmărit îmbunătățirea proprietăților masei plastice actuale prin adaosuri de materiale care să confere noilor mase caracteristici termice, mecanice și chimice performante și obținerea de mase refractare plastice anhidre, ecologice, prin înlocuirea gudronului cu un liant anorganic.*

*Au fost obținute în laborator mase refractare plastice, de diferite compoziții, care, după încălzire și tratament termic au fost caracterizate din punct de vedere fizico-chimic și mecanic*

*The main user of the refractories is the iron and steel industry segment related to transporting, processing and casting of the molten metal (iron and steel).*

*At present, masses with good thermal, mechanical and chemical properties are imported. As a result of the analysis of the wear influences which the refractories in contact to the hot metal and slag are subjected to (mechanical and erosion stress, abrasion, ferro-static pressure, radiation rate – temperature >1500°C, chemical stress – corrosion caused by the slag attack), new refractory plastic mud gun masses for covering the hot metal taphole and the slag notch have been obtained and tested in the laboratory.*

*Improvement of the properties of the present plastic masses was aimed by adding materials that could offer the new masses the best thermal, mechanical and chemical characteristics, thus being obtained environment-friendly anhydrous plastic refractory masses by replacing the tar with an inorganic binding matter.*

*Plastic refractory masses of different compositions have been obtained in the laboratory. Their physical, chemical and mechanical characteristics have been defined after heating and thermal treatment.*

**Keywords:** refractory plastic masses, organic binders, taphole clay

## 1. Introducere

Masele refractare plastice utilizate la etanșarea orificiului de evacuare de la furnal cuprind în mod obișnuit: nisip, șamotă, cocs, grafit, iar ca lianți un amestec de gudron cu smoală sau rășini fenolice. [1].

Au fost obținute mase îmbunătățite care constau din: cuarț, andaluzit, bauxită, corindon, argilă, cărbune, carbură de siliciu, nitrură de siliciu și liant de gudron sau rășini fenolice [2].

S-a încercat și sinteza unei mase anhidre [3,4] prin utilizarea corindonului și a silimanitului, și înlocuirea cianitului cu silimanit și nitrură de siliciu și o rășină fenolică modificată chimic (prin reacția cu lignină, ca liant).

Realizarea experimentală, în laborator, a unor mase refractare plastice are drept scop îmbunătățirea principalelor caracteristici și eliminarea din compoziție a unor componente nocive, ca de exemplu, a gudronului. Acesta conține substanțe cancerigene și degajă foarte mult fum la punerea în operă. Gudronul are rol de agent plastifiant al masei

## 1. Introduction

Refractory plastic masses used for covering the taphole of the blast furnace typically include sand, chamotte, coke, graphite, and as a binder mixed with tar pitch or phenolic resins. [1]

Improved masses were obtained consisting of quartz, andalusite, bauxite, corundum, clay, carbon, silicon carbide, silicon nitride and phenolic resin or tar as binder [2].

It also was tested the synthesis of some refractory masses [3,4] using corundum and sillimanite and the replacement of kyanite with sillimanite and silicon nitride, and a phenolic resin chemically modified (by reaction with lignin as a binder).

The preparation, at the laboratory level of such plastic refractory masses aims to improve the main characteristics and the elimination **from** the composition of harmful components, such as tar. The tar acts as a plasticizer agent of refractory mass, but it contains carcinogenic substances and emits much smoke after laying. Its replacing, for

\* Autor corespondent/Corresponding author,  
Tel. +400724287259, e-mail: imariana@gmail.com

refractare. Înlocuirea lui, din motive ecologice, cu un nou liant impune ca acesta să confere cel puțin aceleași caracteristici amestecului refractar ca și gudronul.

Această lucrare este focalizată pe obținerea unor mase refractare compozite, alegând soluții originale de înlocuire a unor materiale utilizate curent cu materiale noi care să confere caracteristici mecanice, termice și chimice performante și de asemenea, mai multă siguranță privind mediul ambiant și securitatea/sănătatea muncii.

Criteriile principale care au stat la baza alegerii compoziției maselor refractare au fost:

- refractaritate ridicată;
- stabilitate la variația bruscă de temperatură;
- plasticitate optimă pentru a fi aplicate cu densitate maximă, manoperă redusă și minim de pierderi de material;
- stabilitate de volum la temperaturile de lucru (o ușoară dilatare prezintă avantaje);
- rezistență mecanică bună;
- rezistență la atacul chimic al fontei lichide și zgurii.

Pentru obținerea unor mase performante termomecanic și chimic, s-au ales mase din sistemul  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-C-CSi}$ , deoarece, prin caracteristicile pe care le aduce fiecare component, aceste mase refractare asigură rezistență mare la coroziune, porozitate mică, rezistențe mecanice mari la temperatura de utilizare ( $\sim 1550^\circ\text{C}$ ) și dilatare termică redusă [5-8].

## 2. Materiale și metode

### 2.1. Materii prime

S-a pornit de la o masă refractară plastică legată cu gudron (notată cu *M*) și s-au obținut mase noi, prin adaos de alumina și alumina reactivă, carbură de siliciu, acidul fosforic ca liant și agenți de plastifiere: meraklon, tehnocell și fibră ceramică. Dozajul este calculat pentru materiile prime calcinate (tabelul 1). Adaosurile și lianții s-au raportat la 100% masă de bază.

Pentru realizarea amestecului *M1* s-au utilizat: nisip, șamotă, argilă Medgidia, cocs, grafit, iar pentru liere: acid fosforic, novolac și hexametilentetramină. Elementul de noutate în această masă comparativ cu masele cercetate sau fabricate la ora actuală constă în înlocuirea amestecului liant de *gudron și smoală* cu *acid fosforic* și proporții mici de novolac - produse mai puțin toxice decât primele.

La masa *M2* s-a adăugat *carbura de siliciu*, care a înlocuit parțial *nisipul și șamota* pentru obținerea unor caracteristici superioare de refractaritate, rezistență mecanică și dilatare termică mai mică; liantul este într-o proporție

environmental reasons, with a new binder requires that the new one gives at least the same characteristics of refractory mixture as the tar.

This paper is focused on achieving composite refractory masses, choosing original solutions for replacing currently used materials with new materials to provide mechanical, thermal characteristics and chemical performance and also more safer in terms of environmental impact, safety and health.

The main criteria behind the choice of refractory composition masses were:

- high refractory;
- stability at sudden change in temperature;
- optimal plasticity to be applied with maximum density, reduced labor and minimum loss of material;
- volume stability at working temperatures (slight expansion has advantages);
- good mechanical resistance;
- resistance to chemical attack of liquid iron and slag.

To obtain some masses with chemical and thermo-mechanical performances were chosen mainly masses from the system  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-C-CSi}$ , because the characteristics that each component brings these masses provide high strength corrosion resistance, low porosity, high mechanical resistance at operating temperature ( $\sim 1550^\circ\text{C}$ ) and low thermal expansion [5-8].

## 2. Materials and methods

### 2.1. Raw materials

The samples started from a plastic refractory mass with tar as binder (denoted by *M*) and new masses were obtained by addition of alumina and reactive alumina, silicon carbide, phosphoric acid as binder and plasticizing agents: meraklon, tehnocell and ceramic fiber. Dosage is calculated for burnt materials (Table 1). Additions and binders have been reported based on 100% solid mass.

For *M1* mass sample were used: sand, chamotte, Medgidia clay, coke, graphite, and as binder: phosphoric acid, novolac and hexamethylenetetramine. The novelty in this mass compared with the masses investigated or currently manufactured is the replacement the *tar and pitch binder mixture with phosphoric acid* and low proportions of novolac - products less toxic than the first.

At mass *M2* was added *silicon carbide*, which partially replaced the *sand and chamotte* that to obtain superior properties of refractory, mechanical strength and less thermal expansion; the binder is in a refractory mass ratio close to *M1*.

*M3* mass composition obtained by adding to the weight of plasticizing additives *M2* respectively cellulose fibers and polyamide, with trade name and *Meraklon Tehnocell*, that represents the

apropiată de masa refractară M1.

Masa M3 s-a obținut prin adăugarea la compoziția masei M2 de aditivi de plastifiere, respectiv fibre celulozice și poliamidice, cu denumirea comercială *Tehnocell și Meraklon care constituie elementul de noutate în obținerea maselor plastice.*

Masa M4 conține alumină și alumină reactivă în locul șamotei, pentru creșterea performanței acestei mase prin mărirea conținutului de oxid de aluminiu, iar ca degresant rămâne carbura de siliciu. Pentru îmbunătățirea plasticității s-a adăugat în compoziție *fibră ceramică silico-aluminoasă*, care constituie elementul de noutate pentru acest tip de mase.

Tehnologia de preparare a maselor refractare plastice cuprinde următoarele etape:

- măcinarea și cernerea materialelor refractare;
- uscarea materialelor umede;
- dozarea și omogenizarea aproximativ 15 min;
- dozarea liantului lichid și amestecarea cu masa uscată timp de 15 min;
- evacuarea materialelor din malaxor și transportul lor spre locul de utilizare.

*novelty of the process of obtaining new masses.*

M4 mass, contains alumina and reactive alumina instead of chamotte, that to improve performance by increasing the mass content of aluminum oxide and silicon carbide as a degreaser. To improve the mass plasticity the silico-alumina ceramic fiber was added in composition, which is the novelty of this type of masses.

The technology for preparation of refractory masses includes the following stages:

- grinding and sieving the refractory materials;
- drying wet materials;
- dosing and mixing for approx. 15 minutes;
- addition of liquid binder to the dry mass and homogenization for 15 minutes;
- discharge from the mixer and the materials transport to the working place.

The grain size and the oxide composition of raw materials for obtaining the experimental masses are given in Tables 2 and 3. The chemical composition of main components is given in Table 4.

**Tabelul 1**

Dozajul materiilor prime pentru masa de referință și masele realizate experimental  
*Dosage raw materials for the reference mass and experimental masses..*

Materiale utilizate <i>Material used</i>	Proporția de material /Quantity of material, [%]				
	M	M1	M2	M3	M4
Nisip Aghireș / <i>Aghireș sand</i>	31.97	30.0	25.0	25.0	-
Șamotă Pleașa / <i>Pleașa fire clay</i>	11.48	20.0	15.0	15.0	-
Alumină Tulcea / <i>Tulcea alumina</i>	-	-	-	-	39.5
Alumină reactivă / <i>Reactive alumina</i>	-	-	-	-	0.5
Argilă Medgidia / <i>Medgidia clay</i>	36.89	30.0	30.0	-	-
Argilă Șuncuiuș / <i>Șuncuiuș clay</i>	-	-	-	30.0	30.0
Cocs mărunț AM Galați / <i>AM Galați coke breeze</i>	12.30	10.0	10.0	10.0	10.0
Grafit / <i>Graphite</i>	7.36	10.0	10.0	10.0	10.0
Carbură de siliciu Turda / <i>Turda silicon carbide</i>	-	-	10.0	10.0	10.0
Smoală / <i>Pitch</i>	2.46	-	-	-	-
Gudron AM Galați / <i>AM Galați tar</i>	20.49	-	-	-	-
Acid fosforic / <i>Phosphoric acid</i>	-	18.43	20.7	27.65	27.65
Novolac / <i>Novolac</i>	-	1.9	1.7	2.9	2.90
Hexameten tetramină / <i>Hexamethylen tetramine</i>	-	0.6	0.6	0.9	0.90
Tehnocell / <i>Tehnocell</i>	-	-	-	1.0	1.00
Meraklon / <i>Meraklon</i>	-	-	-	0.5	0.50
Fibră ceramică / <i>Ceramic fiber</i>	-	-	-	-	1.00
Total adaos (liant și aditivi plastifianți) / <i>Total addition (binder and plasticizer additives)</i>	22.95	20.93	23.00	32.95	33.95

**Tabelul 2**

Granulometria materiilor prime / *Raw materials size distribution*

Materia primă / <i>Raw material</i>	Dimensiunea ochiurilor sitei [mm] / Rest pe sită, [%] <i>Mesh size sieve/Rest of sieve, [%]</i>							
	5	3.15	1.6	1.0	0.5	0.1	0.08	< 0.08
Șamotă / <i>Fire clay</i>	10.2	32.7	43.6	8.3	2.5	1.0	0.1	1.6
Cocs / <i>Coke</i>	8.0	11.7	16.5	9.2	13.5	27.6	4.9	9.6
Carbură de siliciu / <i>Silicon carbide</i>	-	-	0.9	4.0	21.7	46.8	4.9	21.1

*Granulația și compoziția oxidică* pentru materiile prime utilizate în obținerea maselor experimentale sunt date în tabelele 2 și 3; compoziția chimică pentru componenții principali ai maselor plastice realizate este dată în tabelul 4.

## 2.2. Test methods

For the characterization of the obtained refractory masses were made the following test methods: plasticity, loss on ignition, linear expansion after heating, apparent density, compressive strength and refractoriness.

## 2.2. Metode de determinare

Pentru caracterizarea maselor refractare obținute s-au efectuat următoarele determinări: plasticitate, pierderi la calcinare, dilatare liniară după ardere, densitate aparentă, rezistență la compresiune la rece și refractaritate.

*Plasticitatea*, metodă de determinare specifică maselor plastice, constituie principala caracteristică pentru punerea în operă a acestora la o densitate maximă. O măsură a plasticității este dată de indicele de lucrabilitate [7,8], care

*Plasticity*, the specific determination method of plastics is the main feature for the application with the maximum density refractory masses. A measure of plasticity is given by the index of workability [7,8], that consists in measuring of plastic deformation (without cracking) of cylindrical samples blowed with a Fisher hammer.

The quantity of material about 170 grams for each sample is different from that given in standard, EN 1402-3:2004 and was determined by successive measurement.

Tabelul 3

Compoziția materiilor prime principale/ *Raw materials composition*

Materii prime <i>Raw materials</i>	Compoziție chimică [%] <i>Chemical composition</i>				
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiC	C	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Nisip Aghireș / <i>Aghireș sand</i>	92.00	0.00	0.00	0.00	0.50
Șamotă Pleașa / <i>Pleașa fire clay</i>	38.50	58.80	0.00	0.00	1.87
Alumină Tulcea / <i>Tulcea alumina</i>	0.00	98.86	0.00	0.00	0.02
Alumină reactivă / <i>Reactive alumina</i>	0.00	99.80	0.00	0.00	0.00
Argilă Medgidia / <i>Medgidia clay</i>	64.50	22.00	0.00	0.00	4.97
Argilă Șuncuiuș / <i>Șuncuiuș clay</i>	65.00	28.00	0.00	0.00	2.50
Cocs mărunț AM Galați / <i>AM Galați coke breeze</i>	0.00	0.00	0.00	74.40	0.00
Grafit / <i>Graphite</i>	0.00	0.00	0.00	99.70	0.00
Carbură de siliciu Turda / <i>Turda silicon carbide</i>	0.00	0.00	93.00	0.00	1.00

Tabelul 4

Compoziția chimică a maselor plastice / *Chemical composition of plastic masses*

Compoziția / <i>Composition</i> [%]	M	M1	M2	M3	M4
SiO <sub>2</sub>	58.92	59.25	48.13	48.28	19.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.31	18.36	15.42	17.22	47.95
SiC	0.00	0.00	9.30	9.30	9.30
C	16.51	17.41	17.41	17.41	17.41
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.31	2.04	2.00	1.26	0.86
PC	6.95	2.94	7.74	6.53	4.98

constă în măsurarea deformării plastice (fără fisurare) a unei epruvete cilindrice, supusă la un anumit număr de lovituri de impact cu un ciocan Fisher.

Cantitatea de material de aproximativ 170 g pentru fiecare epruvetă este diferită de cea indicată în standard, EN 1402-3:2004, și s-a determinat prin încercări succesive.

*Determinarea pierderilor la calcinare* s-au făcut într-un cuptor electric, cu atmosferă oxidantă, care permite programarea prealabilă a regimului termic care urmează a fi aplicat, la temperaturile de 800°C și 1250°C, conform STAS 12388 -86.

*Dilatarea liniară după ardere* este o caracteristică importantă pentru masele refractare plastice care sunt expuse la temperaturi ridicate. Epruvetele folosite au fost de formă paralelipipedică, cu dimensiunile 230x54x64 mm. Pregătirea epruvetelor și măsurătorile s-au efectuat conform STAS 12388-86.

*Determinarea densității aparente* s-a efectuat conform SR EN 993-1/17,18.

*Determinarea rezistenței la compresiune la rece* (la temperatura ambiantă) a respectat

*Determination of loss on ignition* were made in an electric furnace with oxidizing atmosphere, which allows programming the thermal regime to be applied (temperatures from 800°C to 1250°C, according to STAS 12388-86).

*Linear dilatation after burning* is an important feature for plastic refractory masses which are exposed to high temperatures. The samples have the dimensions 230x54x64mm. Preparation of samples and measurements were performed according to STAS 12388-86.

*Determination of bulk density* was performed according to EN 993-1/17, 18.

For the *determination of cold compressive strength* (at ambient temperature) the recommendations of EN993-5:2001 were observed.

*Refractoriness* influences the strength of products at high temperature and depends on chemical and mineralogical composition of the products.

The measurement of refractoriness was performed according to SR EN 993-12:1999 and STAS 124-76.

indicațiile SR EN 993-5:2001.

*Refractaritatea* influențează rezistența produselor la temperatură înaltă și depinde de compoziția chimică și mineralogică a produselor.

Determinările de refractaritate pentru masele refractare obținute experimental s-a efectuat conform standardului SR EN 993-12:1999 și STAS 124-76 .

### 3. Rezultate și discuții

#### 3.1. Plasticitatea

Așa cum s-a menționat, plasticitatea este principala caracteristică pentru punerea în operă a masei refractare. Aceasta trebuie adaptată la condițiile de utilizare, astfel încât, să se asigure o umplere bună, omogenă și compactă a canalului de evacuare. O măsură a plasticității masei este dată de lucrabilitate.

Pentru determinarea proporției optime de monofosfat de aluminiu necesară asigurării unei lucrabilități optime, s-au făcut încercări cu patru proporții de monofosfat de aluminiu: 18,43 %; 20,7%; 27,65% și 32,25%.

La 18,43% monofosfat de aluminiu, valoarea indicelui de lucrabilitate este mică, respectiv 11,95%.

S-a constatat că la un procent de 32,25% monofosfat de aluminiu, proba se deformează și în plus, apar fisuri în probă.

S-au considerat ca optime pentru obținerea unei lucrabilități adecvate utilizării ca masă refractară plastică de etanșare a zonei de evacuare a fontei, celelalte două proporții, respectiv 20,7% și 27,65% monofosfat de aluminiu.

Valorile medii ale indicelui de lucrabilitate pentru probele supuse determinărilor sunt prezentate grafic în figura 1 și acestea sunt cuprinse între 9,50% și 21,43%. Masele *M3* și *M4*

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Plasticity

As above mentioned, the plasticity is the main feature for the application of the refractory mass. This must be adapted to conditions of use so as to ensure good, homogeneous and compact filling of the exhaust channel. A measure of the mass plasticity is given by its workability.

To determine the ratio of aluminum monophosphate necessary to ensure an optimum workability, were tested four aluminum monophosphate proportions: 18.43%, 20.7%, 27.65% and 32.25%.

At 18.43% aluminum monophosphate, the workability index is low, e.g. 11.95%. For 32.25% aluminum monophosphate, the sample is deformed and in addition, the cracks appear in the sample.

There were considered as optimal to obtain a workability suitable for use as plastic refractory mass, sealing the tap hole, the other two proportions: 27.65% and respectively 20.7% aluminum monophosphate.

The average values of the workability index measurements are presented graphically in Figure 1. These are between 9.50% and 21.43%. *M3* and *M4* are the masses with highest values of workability; these values give good shaping aptitudes properties.

By increasing the content of phosphoric acid with 2.27% of mass *M2* in comparison with *M1* mass, workability index increased by 2.62%. For masses with 27.65% phosphoric acid, 2.9% novolac and cellulose fibers (1% tehnocell and 0.5% meraklon) the workability index increased by 6.86% for *M3* in comparison with *M2*.

Figure 1, shows a considerably higher value of *M3* sample workability, which was additivated with cellulose and polyethylene fibers; These additions contribute to increasing the workability of this sample.

Sample *M4* has a less value of workability, due to the chamotte and sand replacement with alumina, a material which has a higher hardness.

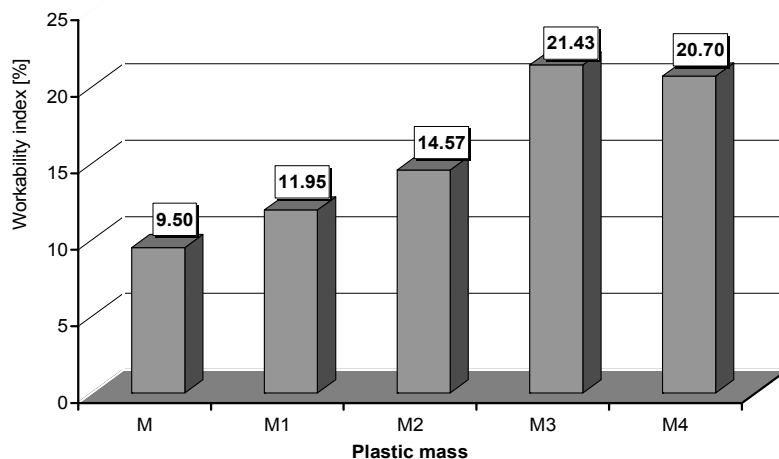


Fig.1- Indicele de lucrabilitate pentru masa de referință și masele experimentale / *Workability index for reference and experimental masses.*

au valorile de lucrabilitate cele mai mari, valori care conferă aptitudini de fasonare bune.

La creșterea conținutului de acid fosforic cu 2,27%, masa *M2* față de masa *M1*, indicele de lucrabilitate a crescut cu 2,62%. La un conținut de 27,65% acid fosforic, adaos de rășină (2,9% novolac) și fibre celulozice (1,0% tehocell și 0,5% meraklon) indicele de lucrabilitate al masei *M3* a crescut cu 6,86% față de *M2*.

Analizând figura 1, se constată o valoare considerabil mai mare a lucrabilității la proba *M3*, care a fost aditivată cu fibră celulozică și polietilenică, adaos care a contribuit la creșterea capacității de prelucrabilitate a acestei probe.

Proba *M4* are o valoare a lucrabilității mai mică datorită înlocuirii șamotei și nisipului cu alumină, material care posedă o duritate mai mare.

### 3.2. Pierderea de masă și dilatarea liniară

Epruvetele obținute din materialele descrise mai sus, au fost supuse unui tratament termic pentru a urmări comportarea acestora la temperatură înaltă. În acest scop au fost supuse unei încălziri cu o viteză de 20°C/min până la 1200 °C și apoi menținute la această temperatură timp de o oră [7]. Pe baza valorilor obținute din măsurători s-au trasat graficele pentru pierderea în greutate și dilatarea liniară (figura 2).

Analizând graficul din figura 2, se observă că masele experimentale au valori ale pierderilor la calcinare cuprinse între limitele 18,30% și

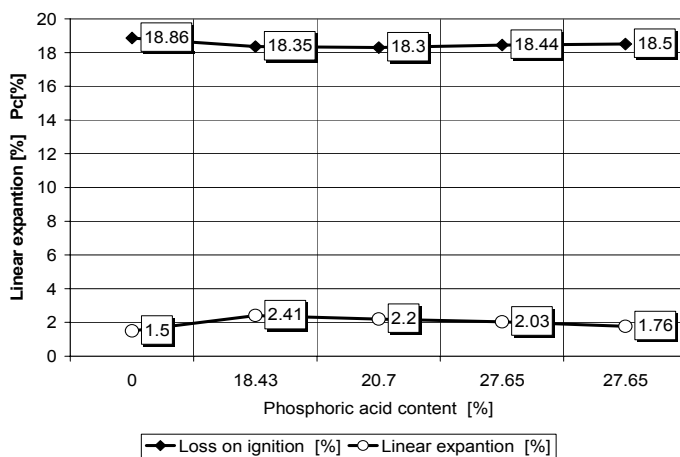


Fig.2- Pierderea în greutate și dilatarea liniară după ardere, pentru probele cu conținut variabil de acid fosforic / Loss of ignition and linear expansion after heating, for samples with different content of phosphoric acid.

18,86%, valori care se încadrează în limitele acceptate pentru caracteristicile de utilizare ale acestora și se apropie de valorile din literatură (16...20%).

Pentru a asigura etanșeitarea canalului de evacuare a fontei, masa refractară plastică utilizată trebuie să prezinte o ușoară dilatare.

Valorile dilatării liniare obținute (+1,76%.....+2,41%), relevă faptul că, masele experimentale corespund cerințelor de utilizare (0%.....+6%).

S-a obținut, o valoare mai mare a dilatării liniare la masa experimentală *M1* (+2,41%), prin

### 3.2. The loss of ignition and linear expansion

Samples obtained from the above material were heat treated to track their behavior at high temperature. To this end the samples have been subjected to heating at a rate of 20°C/min up to 1200°C and then maintained at this temperature for one hour [7]. The results for weight loss and linear expansion are given in Figure 2.

Figure 2, shows that the experimental masses have loss of ignition values between 18.30% - 18.86%. These values fall within accepted limits of use and approach the values given in literature (16...20%).

To ensure the closure of the tap hole, the refractory plastic mass used must have a slight expansion.

Linear expansion values of the experimental masses (1.76% ...2.41%) reveals that these values meet the requirements for putting in work of such refractory masses (0%...+6%).

It was obtained a higher linear expansion of mass *M1* (2.41%), in comparison with the values obtained for other refractory masses. This can be explained by a higher silicon dioxide content which influences thermal expansion of refractory mass and the absence of the silicon carbide in the composition. The silicon carbide is very stable material.

The lowest average linear expansion was obtained for the *M4* mass (1.76%), having the silica content about 3 time smaller than that corresponding to *M1* mass.

### 3.3. Cold crushing strength (Rc)

Rc is a fundamental feature of refractory plastic masses, because the values obtained are a measure of their behavior at high temperatures, thermal shock, erosion, abrasion and corrosion resistance. The area between 7N/mm<sup>2</sup> and 11N/mm<sup>2</sup>, marked on the graph, represents the area in which the compressive strength values for the reference mass *M* are situated.

Figure 3, shows that the compressive strength reaches a maximum for the density values between 1.95 and 2.10 g/cm<sup>3</sup>; these values are very close with the values given in the literature

comparație cu celelalte mase refractare, explicată prin conținutul crescut de dioxid de siliciu care influențează dilatarea materialului și absența carburii de siliciu din compoziție, material care este foarte stabil dimensional.

Valoarea cea mai mică a dilatării medii liniare s-a obținut pentru masa M4, (+1,76%), la care, conținutul de dioxid de siliciu este de aproximativ 3 ori mai mic decât în masa M1.

(1.9.....2.44 g/cm<sup>3</sup>). For this range of density, cold crushing strength have values between 12.5 N/mm<sup>2</sup> and 16.5 N/mm<sup>2</sup>, higher than those of the reference mass M.

Using statistical methods have obtained regression equations of the type,  $R_c(A)=F\{\rho(A)\}$  and values of determination and correlation coefficients (Table 5).

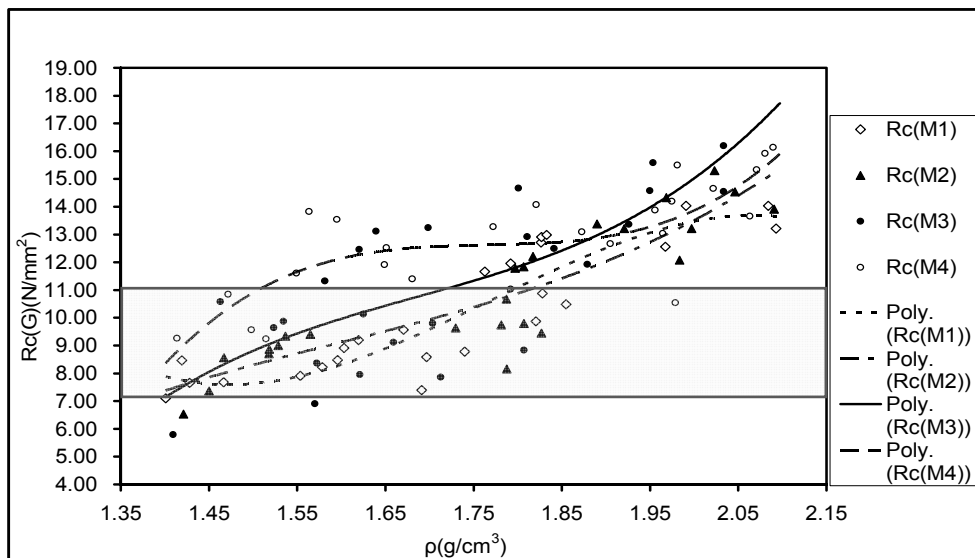


Fig.3-Variația rezistenței la compresiune în funcție de densitate/  
Variation of cold crushing strength versus density.

### 3.3. Rezistența la compresiune (Rc)

Rc este o caracteristică de bază a maselor refractare plastice, valorile obținute dau măsura comportării acestora la temperaturi ridicate, la șocuri termice, a rezistenței la eroziune și abraziune și a rezistenței la coroziune. Zona cuprinsă între 7 N/mm<sup>2</sup> și 11N/mm<sup>2</sup>, marcată pe grafic, reprezintă domeniul în care se încadrează valorile rezistenței la compresiune pentru masa de referință M.

Din figura 3, se constată că rezistența la compresiune atinge valori maxime pentru o densitate cu valori cuprinse între 1,95 și 2,10 g/cm<sup>3</sup>, valori ce se încadrează în limitele din literatură (1,9....2,44 g/cm<sup>3</sup>), valori care se înca-

### 3.4. Refractoriness

The refractoriness is important to assess the behavior of refractory plastic masses at high temperature. It was determined as an average of three values of pyroscopic indicators for each plastic mass type described above. These are mainly influenced by the alumina content of the samples (Figure 4).

The refractoriness values in the range 1600°C and 1680°C, recommended the synthesized samples for use in sealing the taphole for blast furnace (minimum temperature required for this use must be about 1580°C). Highest refractoriness was obtained on samples of composition corresponding to mass **M4**.

Tabelul 5

Corelațiile determinate pentru masele experimentate/Correlation due to experimental masses

Masa plastică Plastic mass	Ecuția de regresie Regression equation	Coefficient de determinare, R <sup>2</sup> R-square	Coefficient de corelație, r Correlation coefficient, r
M1	$Y(M1) = -57.788x^3 + 306.97x^2 - 528.2x + 304.28$	0.8167	0.7641
M2	$Y(M2) = 17.934x^3 - 85.913x^2 + 145.22x - 76.76$	0.8041	0.8015
M3	$Y(M3) = 83.273x^3 - 440.93x^2 + 778.91x - 446.43$	0.6424	0.8967
M4	$Y(M4) = 47.589x^3 - 240.53x^2 + 414.09x - 231.75$	0.5839	0.9037

drează în limitele din literatură (1,9...2,44g/cm<sup>3</sup>). Pentru aceste densități, rezistențele la compresiune au valori cuprinse între 12,5 N/mm<sup>2</sup> și 16,5 N/mm<sup>2</sup>, valori superioare masei de referință M.

Utilizând metode de prelucrare statistice s-au obținut ecuațiile de regresie de tipul:

### 4. Conclusions

The M3 and M4 are the masses with highest workability values (21.43% and 20.70%), wich give good plastic aptitude.

The loss of ignition for the mentioned masses have values between 18.3% and 18.85%, wich correspond to the requirements of plastic

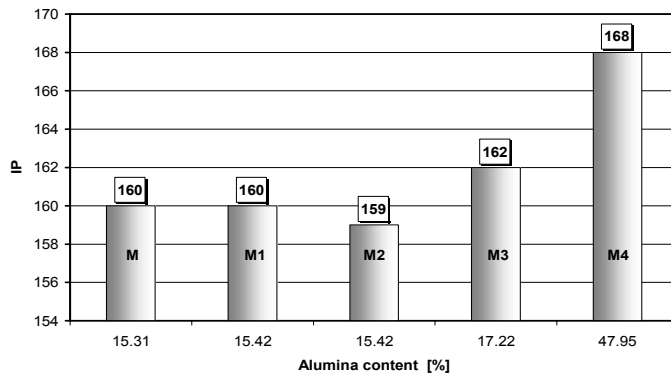


Fig.4 - Refractoritatea maselor plastice (IP-indicele piroscopic) în funcție de conținutul de alumina  
*Refractoriness of plastics masses versus alumina content.*

$Rc(A)=F\{\rho(A)\}$ , și valorile coeficienților de determinare și de corelație (tabelul 5).

### 3.4. Refractoritatea

Refractoritatea este importantă pentru aprecierea comportării maselor refractare plastice la temperaturile ridicate. S-a determinat ca medie a trei încercări pentru fiecare tip de masă plastică descris mai sus și s-au pus în evidență valorile refractorității, exprimată prin indicatori piroscopici, în funcție de conținutul de alumina (figura 4).

Din datele rezultate în urma experimentărilor au rezultat valori ale refractorității cuprinse în intervalul 1600°C și 1680°C, valori care le recomandă pentru utilizare la etanșarea canalului de evacuare fontă (temperatura minimă necesară pentru această utilizare trebuie să fie de aproximativ 1580°C). Refractoritatea cea mai mare a fost obținută pe probele de compoziție corespunzătoare masei **M4**.

### 4. Concluzii

Masele M3 și M4 au valorile de lucrabilitate cele mai mari (21,43% și respectiv 20,70%), valori care conferă aptitudini de fasonare bune.

Pierderile la calcinare pentru aceste mase au valori cuprinse între 18,3% și 18,85%, valori care corespund cerințelor impuse acestor mase refractare.

Valorile obținute pentru dilatarea liniară sunt cuprinse între +1,5% și +2,41%, în concordanță cu valorile cerute pentru această caracteristică, respectiv 0...+6.

Pentru densități cuprinse între 1,95g/cm<sup>3</sup> și 2,10g/cm<sup>3</sup> masele experimentate **M1-M4** au valori ale rezistențelor la compresiune cuprinse între 13 și 16,5N/mm<sup>2</sup>. Valorile cele mai mari ale rezistențelor la compresiune s-au obținut pentru masa **M3**.

Prin înlocuirea șamotei din compoziția maselor M, M1, M2, M3, cu alumina și alumina reactivă, refractoritatea maselor obținute cu această compoziție (M4) a crescut cu 60°C.

Dacă se iau în considerare plasticitate corespunzătoare unei bune lucrabilități, compactitatea, rezistența la compresiune, refractoritatea, datele obținute sugerează că cele mai bune performanțe le prezintă masele **M3** și **M4**.

refractory masses.

The values obtained for the linear expansion are between 1.5% and 2.41%, consistent with the values required for this specific characteristic respectively, between 0 and 6.

For density range 1.95 g/cm<sup>3</sup> - 2.10 g/cm<sup>3</sup>, the experimental masses **M1-M4** have crushing strengths between 13N/mm<sup>2</sup> and 16.5 N/mm<sup>2</sup>. The highest values of crushing strength were obtained for **M3** mass.

By replacing chamotte, contained in the masses M, M1, M2, M3, with reactive alumina and alumina, the refractoriness increases. For example with 60°C for M4 mass.

Taking into consideration adequate plasticity of good workability, toughness, cold crushing strength, refractoriness, the experimental data show better performance for **M3** and **M4** masses.

### REFERENCES

- O. Buzea, Furnaces Guide, 1997, Part III, Furnaces, 460
- N. A. Russell, Advantages for permanent Monolithic lining in tundish - Steel Times International, England 1988, (2), 33.
- S. R. Dash, MTech Thesis Development of Improved Blast Furnace Tap Hole Tap Hole for Clay, Department of Ceramic and Engineering, National Institute of Technology, Rourkela, May, 2009.
- S. R. Dash, Blast furnace tap hole plugs, United States Patent No. 3607809, 2009.
- M. Ivan, Improving the quality of tap hole mass for blast furnace, Research contract no. 2121, 2001, Beneficiary ArcelorMittal Galatzi, Romania.
- M. Ivan, Refractory masses and fire resistant to action the iron and slag, Characterization, properties, production-supported report Polytechnic University of Bucharest, Faculty of Chemical Technology, 2002.
- M. Ivan, Contributions to the mass production of high wear thermochemical resistant of refractory products— lecture held in the Polytechnic University of Bucharest, 2003, Faculty of Chemical Technology.
- M. Ivan, Utilization of refractory products in siderurgy, Publishing House "Standardization" Bucharest, 2009, 70.

\*\*\*\*\*