



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50<sup>th</sup> anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



**TOGETHER**  
*for a sustainable future*

## DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

## FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

## CONTACT

Please contact [publications@unido.org](mailto:publications@unido.org) for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at [www.unido.org](http://www.unido.org)



ORGANISATION DES  
NATIONS UNIES POUR LE  
DEVELOPPEMENT  
INDUSTRIEL



113162 Russia, Moscow, Mitnaya street, 48-38  
Tel. (007-095) 236-64-15; 237-77-77; 237-78-16  
Fax (007-095) 236-53-83; Telex (64) 612892

20719

# ASSISTANCE AU DEVELOPPEMENT DE LA PRODUCTION DE REFRACTAIRES EN ALGERIE

Rapport final  
Contract No 93/021 entre l'ONUDI et ALIAS

Projet de l'ONUDI No US/ALG/91/008  
Groupe d'activite J13200

ORGANISATION DES NATIONS UNIES  
POUR LE DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL

SOCIETE ALIAS

**ASSISTANCE AU DEVELOPPEMENT  
DE LA PRODUCTION DE REFRACTAIRES  
EN ALGERIE**

Rapport final  
Contract No 93/021 entre l'ONUDI et ALIAS

Projet de l'ONUDI No US/ALG/91/008  
Groupe d'activite J13200

## RESUME

Comprend: 97 pages, 16 figures, 26 tableaux, 7 annexes, 77 bibliographies.

Kaolins, chamottes, bétons, coulis, chamottage, technologie, fours à coke.

On a étudié la composition chimique et minéralogique, la réfractarité, la plasticité de 6 échantillons des kaolins et d'un échantillon de l'argile expansée, la cuisson des 3 échantillons des kaolins DD-3-b, DD-4-b et T-F-3. On a déterminé des intervalles du chamottage et on a choisi l'équipement nécessaire pour le traitement du kaolin.

On a analysé des conditions de service, des constructions et des matériaux réfractaires, employés pour les portes des fours à coke. On a déterminé la composition optimale des matériaux, utilisés pour le gunitage des murs et des portes des fours à coke.

On a effectué des études et on a indiqué des méthodes de la production du béton isolant sur la base de l'argile expansée SM. La densité du béton - 1,3 g/cm<sup>3</sup>, la conductivité de la chaleur - 0,5 W/m.K. environ.

On a analysé des matières premières, utilisées par "REFRACTAL", des bétons et des coulis fabriqués. On a constaté des effets négatifs, exercés sur la qualité des bétons et des coulis produits, on a indiqué des voies de l'amélioration des caractéristiques des bétons et des coulis.

On propose des recommandations concernant le développement de la production des réfractaires à "REFRACTAL".

## SYMBOLES

DD-3-b	- kaolin brut DD-3
DD-3	- kaolin DD-3 traité
DD-4-b	- kaolin DD-4 brut
T-F-3	- kaolin Tamazert, type F-3 traité
T-F-3-b	- kaolin Tamazert, type F-3, brut
AB-b	- kaolin Ain Barbar, brut
SM	- argile expansée Sidi Moussa
$\rho$	- densité apparente
$\sigma_{pr}$	- résistance mécanique sous pression
$N_q$	- indice de réfraction maximum
$N_p$	- indice de réfraction minimum

## TABLE DES MATIERES

Préface	4
1. Analyse des kaolins bruts et traités	4
2. Etude de la cuisson des kaolins T-F-3 et DD-3-b	21
3. Recommandations sur la production de la chamotte à partir des kaolins T-F-3 et DD-3-b	29
4. Analyse des conditions de service, des constructions et des matériaux réfractaires, utilisés pour les portes des fours à coke	31
5. Analyse des compositions des matériaux, utilisés pour le gunitage des murs des fours à coke. Recommandations sur la réduction des pertes	45
6. Recherches sur la mise au point du béton calorifuge	52
7. Etude des matières premières des produits fabriqués par "REFRACTAL"	57
8. Conclusions et recommandations	73
9. Recommandations sur le développement de la production des matériaux réfractaires à "REFRACTAL"	77
10. Annexes	78
11. Bibliographie	94

## PREFACE

L'entreprise nationale de la sidérurgie algérienne "Sider" achète à l'étranger tous les matériaux réfractaires nécessaires. En tenant compte des prix élevés des matériaux réfractaires, l'Algérie fait tout son effort pour l'organisation de la production propre des matériaux réfractaires. Sur la base des déchets réfractaires à haute teneur en alumine des cowpers et des poches de coulée, "REFRACTAL" a organisé la production des bétons, en utilisant le ciment importé et des coulis en utilisant des caolins du pays.

"REFRACTAL" a pour but l'augmentation du volume de la production, l'amélioration de la qualité et l'élargissement de l'assortiment de la production, en utilisant des matières premières du pays. Dans le but de la réalisation de ces objectifs, en conformité du "Procès-verbal de la conférence REFRACTAL-ALIAS de 30.06 à 20.06.93", "REFRACTAL" a donné pour l'examen 6 échantillons des kaolins et de l'argile expansée, 10 échantillons des déchets de la chamotte des fractions différentes, obtenues à l'aide du concassage et provenant des poches de coulée et des cowpers, des bétons de 4 types et 2 types de coulis. On a pour but d'effectuer des recherches, donner des recommandations concernant l'amélioration de la qualité des produits, préciser la technologie de la production de la chamotte et tracer le plan du développement de la production des matériaux réfractaires fabriqués par "Refractal".

## 1. ANALYSE DES KAOLINS BRUTS ET TRAITES

Il a été remis pour analyse 6 échantillons du kaolin; types: DD-3-b (brut en morceaux), DD-3 -sec et broyé (en grains inférieurs à 200 $\mu$ m), DD-4-b (brut en morceaux), T-F-3 traité (en forme de cylindres), T-F-3-b (brut en forme de poudre), AB-b (brut en morceaux). La caractéristique des matières premières est citée dans le tableau 1.1. Dans l'échantillon DD-3 il y a des restes foncés charbonnés et végétaux. La composition chimique et la réfractarité des kaolins sont citées dans le tableau 1.2. Suivant la teneur en  $Al_2O_3$  des kaolins des types DD-3-b, DD-4-b et T-F-3 sont basiques (la teneur en  $Al_2O_3$  de 38 à 45%), des kaolins bruts des types T-F-3-b et AB-b sont semi-acides (la teneur en  $Al_2O_3$  de 14 à 28%)

Sauf AB-b, les kaolins sont réfractaires (la réfractarité est 1580°C et plus).

On a déterminé la teneur en fractions fines des kaolins. On a utilisé la méthode de sédimentation (le standard de l'URSS 21216.2-81) basée sur la distribution des dimensions des particules suivant le temps de leur chute dans le milieu liquide et le pesage suivant. Les résultats de l'analyse sont cités dans le tableau 1.3. La teneur en fractions fines est la plus élevée dans le kaolin DD-4-b, suivi par le kaolin traité T-F-3 et ensuite par le kaolin DD-3-b.

La détermination de la teneur en fractions grosses a été effectuée suivant le standart de l'URSS 21216.4-81.

La méthode est basée sur la distribution quantitative des grains selon leur grandeur, a l'aide du tamisage. D'abord on a mis le kaolin dans l'eau, effectué le lavage par le jet de l'eau, séché le résidu sur le tamis et effectué le tamisage. Les résultats sont cités dans le tableau 1.4.

On a déterminé la plasticité selon le Standard de l'URSS 21216.1-81 (Annexe 1). La méthode est basée sur la détermination de la différence des humidités de la masse d'argile, qui correspondent à la limite inférieure de la fluidité et à la limite du roulement. Les résultats de la détermination de la plasticité sont cités dans le tableau 1.5.

Caractéristique de matières premières.

Type du kaolin	Description de l'aspect extérieur	Humidité des matières premières (%)	Caractéristiques des morceaux secs	
			Porosité ouverte (%)	Densité apparente g/cm <sup>3</sup>
DD-3-b	Des morceaux sont colorés inégalement et ont des secteurs du blanc pur jusqu'au noir avec la transition graduelle du gris clair jusqu'au gris foncé, la distribution mutuelle des secteurs noirs et blancs de la dissémination fine jusqu'au épaisse. Il y a des secteurs, colorés en bleu et rose. L'échantillon a une cassure inégale et souvent étagée, un éclat de mat à ciré, l'échantillon est gras à en toucher.	5,2	39,0	1,48
DD-3	La poudre grise foncée qui commence à bouillir sous l'action de 3% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5,0	-	-
DD-4	Les morceaux de couleur blanche neigeée avec une cassure inégale, gras à en toucher, savonneux, désintègrent dans l'eau sur des plaques fines, plastiques et avec un éclat mat et ciré.	7,0	48,3	1,26
T-F-3	Les échantillons courts et cylindrés (8-20mm de longueur et jusqu'au 7-8 mm de diamètre), de couleur jaune et crème claire, gras et savonneux au toucher.	3,3	40,3	1,48
T-F-3-b	La poudre fine de couleur grise-jaune-brune, où il y a des éléments de 0,1 au 5mm	1,8	-	-
AB-b	Les morceaux de couleur jaune-verte-grise avec des taches séparées jaunes-brunes, de la forme anguleuse avec une cassure inégale, terreux, boulés, non detrempants dans l'eau.	1,8	28,0	1,75

Tableau 1.2

**Composition chimique des matières premières.**

Type de kaolin	Teneur en composants (%)												Perte au feu (%)	Réfractarité (c)
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	MnO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	C	S		
DD-3-b	44,86	50,46			0,13	1,8*	0,60	1,71	0,08	0,20	0,14	0,01	16,40	1770
DD-3	44,26	47,57			0,38	2,23	1,29	2,31	0,73	0,04	0,36	0,81	17,80	1740
DD-4-b	45,4*	52,75		0,05		0,99	0,39		0,18	0,07	0,12	0,04	16,10	1830
T-F-3	38,68	55,66	0,34	0,32	0,55	1,44	0,38		2,45	0,22	0,18		12,10	1720
T-F-3-b	19,99	74,83	0,43	0,30	0,33	1,34	0,30		2,54	0,22	0,12		5,56	1580
AB-b	25,28	64,47	1,25	1,66	0,71	3,30	0,88		1,23	1,07	0,15		11,40	1470

Tableau 1.3

**Composition granulométrique des kaolins d'après l'analyse par sédimentation.**

Type du kaolin	Limites des fractions d <sub>i</sub> -d <sub>i-1</sub> , μ, teneur, %				
	au dessus de 60	60-10	10-5	5-1	au dessous de 1
DD-3-b	28,3	34,1	4,0	4,0	29,5
DD-3	6,1	16,3	4,0	16,1	57,6
DD-4-b	0	6,4	0	4,0	89,6
T-F-3	0	18,4	20,0	36,0	25,6
T-F-3-b	52,0	10,4	12,0	8,0	17,6
AB-b	22,9	43,5	8,0	24,0	1,6

Tableau 1.4.

**Composition granulométrique des échantillons après quatre-vingts-seize heures de trempage dans l'eau.**

Type du kaolin	Teneur en fractions, mm, %								
	>5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,08	0,08-0,06	< 0,06
DD-3-b	0,6	4,8	7,4	11,8	6,7	11,5	4,0	0,2	53,0
DD-3	-	-	-	0,1	0,1	0,3	0,5	3,8	95,2
DD-4-b	-	-	-	-	-	-	-	-	100
T-F-3	-	-	-	-	-	-	-	-	100
T-F-3-b	0,4	2,0	3,3	7,2	4,7	14,3	21,3	1,5	45,3
AB-b	56,8	1,8	1,8	1,0	0,2	0,3	0,1	0,1	37,9

Tableau 1.5.

**Plasticité des kaolins.**

Types des échantillons	Humidité		Nombre de plasticité
	de limite inférieure de la fluidité	de limite de roulement	
DD-3-b	54,78	37,73	17
DD-3	50,09	33,29	16
DD-4-b	72,44	46,31	26
T-F-3	69,11	38,10	31
T-F-3-b	33,54	22,39	11
AB-b	39,35	28,94	10

Suivant le degré de la plasticité des échantillons des kaolins DD-4 et T-F-3 sont de haute plasticité (le nombre de plasticité plus de 25), des échantillons DD-3 sont de moyenne plasticité (15-25), des échantillons T-F-3 et AB-b sont de plasticité modérée (7-15).

La plasticité, en général, est déterminée par la composition minéralogique et granulométrique. Des kaolins de haute plasticité sont ceux à haute teneur en fractions fines (voir tableaux 1.3 et 1.4).

Tous les échantillons des kaolins donnés ont été analysés à l'aide de méthode petrographique, termogravimétrique, et de microscopie électronique.

Selons les résultats de l'analyse on peut diviser tous les kaolins en 3 groupes:

groupe 1 - DD-3-b et DD-4-b

groupe 2 - T-F-3 et T-F-3-b

groupe 3 - AB-b

Pour l'analyse des échantillons des kaolins à l'aide de la méthode ATD (analyse thermique différentielle) dans l'intervalle des températures 20-1000°C, on a utilisé le dérivatographe MOM -1500 du système F.Paulik, J.Paulik, L.Erdey (l'Hongrie), ou l'analyse thermique différentielle jure avec l'analyse termogravimétrique.

Des courbes thermique sont présentées sur les thermogrammes (Fig.1.4-1.6):

- ATD - courbe thermique différentielle qui enregistre la différence des températures entre l'échantillon et l'étalon thermique ( $\Delta t$ ) en fonction de la température de l'échantillon;

- TG - courbe termogravimétrique qui marque le changement de la masse en fonction de la température;

- TGD - courbe termogravimétrique différentielle qui montre la vitesse du changement de la masse de la matière en fonction du temps ou de la température du milieu et elle est la dérivée  $dp/dt$  de la courbe de la perte de la masse de la matière (TG), en exprimant la vitesse du changement de cette masse.

Les thermogrammes se ressemblent beaucoup, mais suivant l'intensité des pics, on peut les diviser en trois groupes cités ci-dessous.

Groupe 1: DD-3b et DD-4b

Grace à l'utilisation de la méthode de microscopie électronique on a établi, que le composant principal des kaolins n'est pas la kaolinite, mais la halloysite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot (2-4) \text{H}_2\text{O}$ ).

Sur les photos électro-microscopiques sont montrées des particules de halloysite bien cristallisées, qui ont la structure tubulaire, typique pour ce minéral. Il y a une grande différence dans la longueur et le diamètre des tubes du même échantillon: longueur de 0,05 à  $6 \mu$ , diamètre de 0,008 à  $0,02 \mu$ . Le caractère morphologique des cristaux de halloysite est aussi différent: les tubes ont tantôt des traits unis et précis, tantôt portent les traces de destruction. Il y a des petits tubes mi-déployés, ce que signifie le degré différent de la hydratation de halloysite dans les limites du même échantillon.

Sous faible grossissement (11500 fois) on peut remarquer des agrégations épaisses avec des traits inégaux (Fig. 1.1a). L'examen détaillé montre que ces agrégations comprennent de petites particules de halloysite. Dans le volume des agrégations elles sont régulièrement granuleuses, et au bord il y a une faible augmentation des dimensions des tubes. Certaines particules de halloysite ont des dimensions colloïdales et on peut supposer que ces secteurs représentent la stade initiale de la croissance des cristaux de halloysite (Fig. 1.1b, 1.2.a)

Petrographiquement la masse principale de l'échantillon est la matière argileuse transparente et incolore avec l'indice moyen de la réfraction de la lumière 1,510-1,537. Dans la masse de halloysite il y a environ 2-5% des agrégations en forme de copeaux et de quenouilles avec  $N_g = 1,528-1,535$  et  $N_p = 1,495-1,510$  de dimension inférieures à  $4-6 \mu$ , qui appartiennent aux minéraux du groupe montmorillonite - beidellite ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).

Aux secteurs où il y a plus de matière noire non transparente, le composant argilleux est coloré en vert-brun, et les indices de la réfraction de la lumière augmentent jusqu'à 1,545. La matière noire a en général un aspect demi-roulé et une forme isométrique, elle représente le reste végétal et charbonné et la combinaison oxido-hydroxide du manganèse.

Dans certains échantillons il y a une faible quantité de plaques de dikite - modification de kaolinite (Fig. 1.2.b). Des micas hydratés sont présentés par une petite quantité des particules en forme de plaques.

Il y a également un peu de particules fines sans limites précises (Fig. 1.3.b). Des recherches électrographiques montrent qu'elles ne sont pas entièrement amorphes et ont quelque structure cristallographique, ce qui est montré sur l'électrogramme, où on voit des lignes de diffraction dessinées d'une façon imprécise (Fig. 1.3.b).

Donc, on peut remarquer que dans ce groupe des échantillons la halloysite a les degrés différents de hydratation. Cela est montré d'ailleurs sur les thermogrammes des

échantillons de ce groupe (Fig. 1.4 et 1.5).

Sur les thermogrammes présentés, l'effet endothermique à 90-100°C correspond à l'élimination de l'eau adsorbée. L'effet endothermique important à 520-530°C correspond au dégagement de l'eau constituante et à la destruction de la grille cristalline du minéral avec l'amorphisation des produits de la destruction. Le pic exothermique à 930-970°C correspond à la formation des nouvelles matières cristallines des produits amorphisés de désagrégation - la mullite et  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

Selon les données publiées sur les courbes de déshydratation de quelques halloysites, on peut voir une grande perte de l'eau à la température inférieure à 100°C, des autres halloysites - à 100-170°C, certaines halloysites n'ont pas de ce phénomène. Cela dépend du fait si la halloysite considérée est la forme hydratée ( $4\text{H}_2\text{O}$ ) ou non. Ross et Kerr ont établi, que la halloysite perd de l'eau hydroxile à la température de 60-80°C inférieure par rapport à la kaolinite ( Ross C.S., Kerr P.F. Halloysite and allophane. U.S. Geol. Surv. Prof. Papers. 1934, 185, pp.134-148). Les courbes différentielles de chauffage aux températures supérieures à 200°C sont les mêmes pour la halloysite et la kaolinite. Mais, suivant les données publiées, le pic endothermique pour les halloysites est situé à 500-520°C, pour la kaolinite à faible cristallisation - à 550-567°C et pour la kaolinite bien cristallisée - à 590°C. Le pic endothermique des halloysites est asymétrique (ce qui les distingue des kaolinites): il est un peu plus raide du côté de la haute température, ce qu'on peut bien voir sur les Fig. 1.4 et 1.5.

#### Groupe 2: T-F-3, T-F-3-b

Dans les échantillons de ce groupe, il n'y a qu'une faible quantité de halloysite et, en même temps, il n'y a pas de halloysite de petites dimensions. A côté de halloysite bien cristallisée on peut voir aussi des tubes demi-détruits. Des effets endothermiques aux températures 80° et 515-530°C affirment la présence de la halloysite (Fig. 1.6.).

L'échantillon T-F-3 est de l'espèce mica-sableuse-argileuse. La matière argileuse domine, sa quantité est de 40-70%. Des particules minces en forme de plaques sont de la morphologie différente. Il y a des plaques avec des limites précises, qui ont une ou deux facettes cristallographiques. Il y a des minces bandes de sepiolite. Des particules argileuses, dans la plupart de cas, ont le caractère intermédiaire entre le hydro-mica et la kaolinite. Il y



a  
x11 500



b  
x32 000

Figure 1.1

Photographies électro-microscopiques. Kaolin DD-3-b.



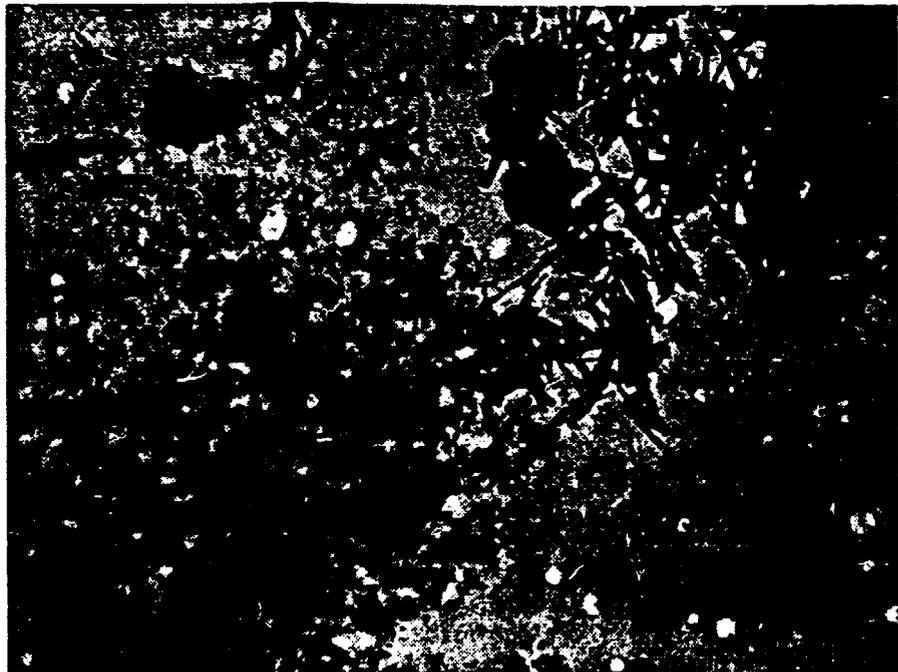
a  
x 32 000



b  
x 32 000

Figure 1.2.

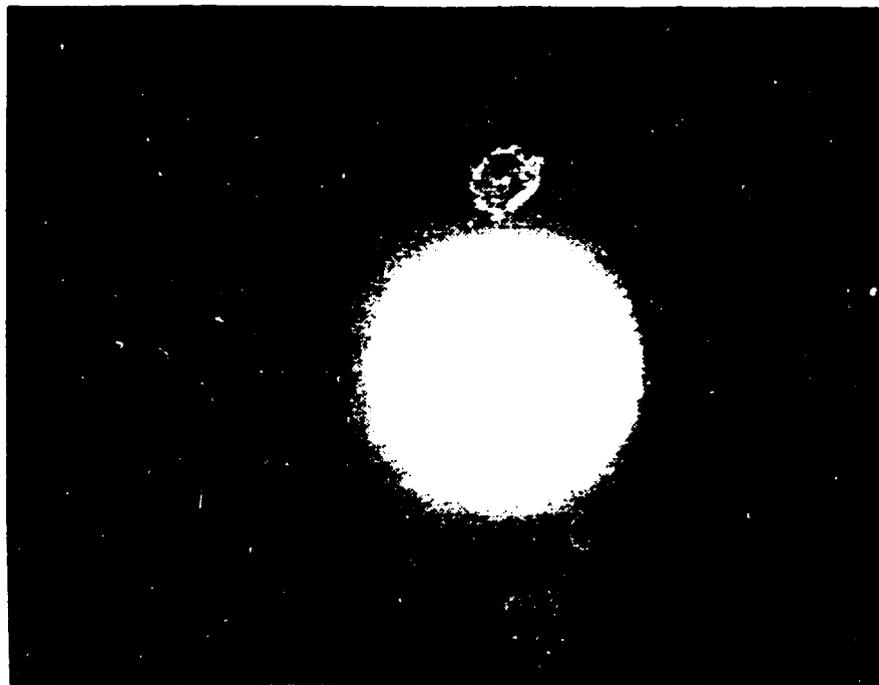
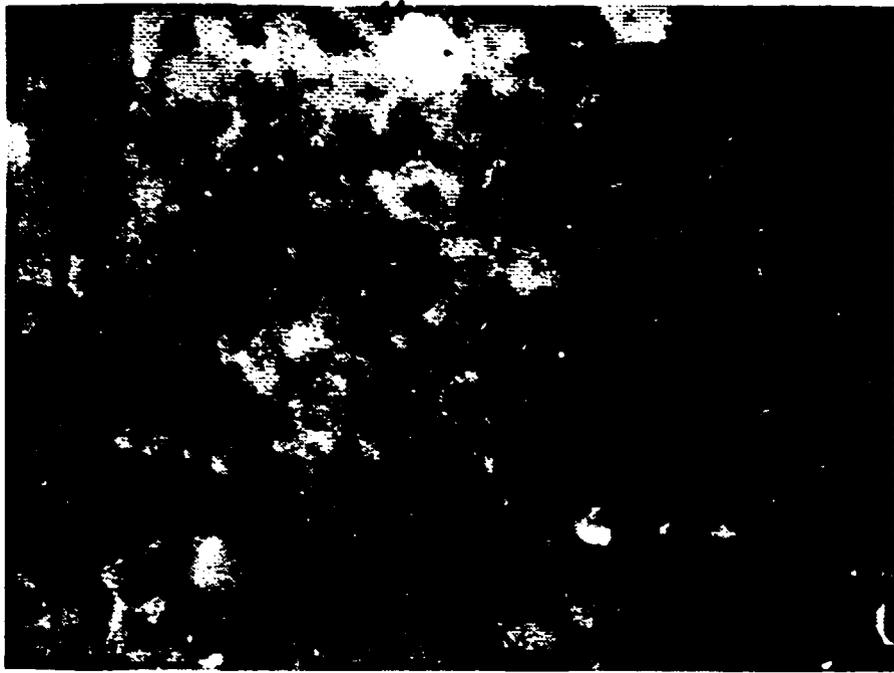
Photographies électro-microscopiques. Kaolin DD-3-b.



x 12 000

**Figure 1.3.a**

**Photographies électro-microscopiques.  
Kaolin DD-4-b.**



x 40 000

Figure 1.3.b

Photographies électrono-microscopiques et électronogramme.  
Kaolin DD-4-b.

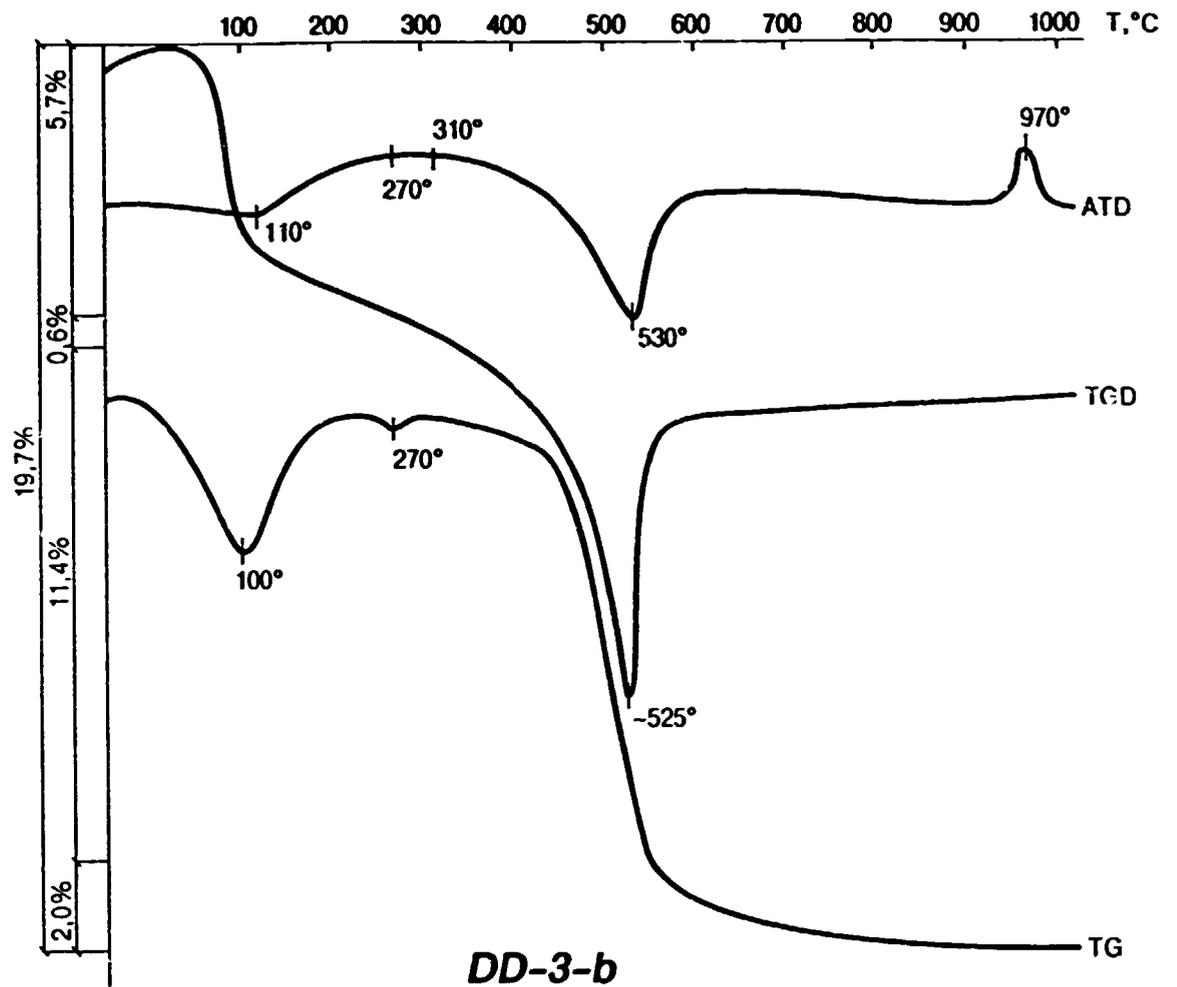


Figure 1.4.

Thermogrammes. Kaolin DD-3-b.

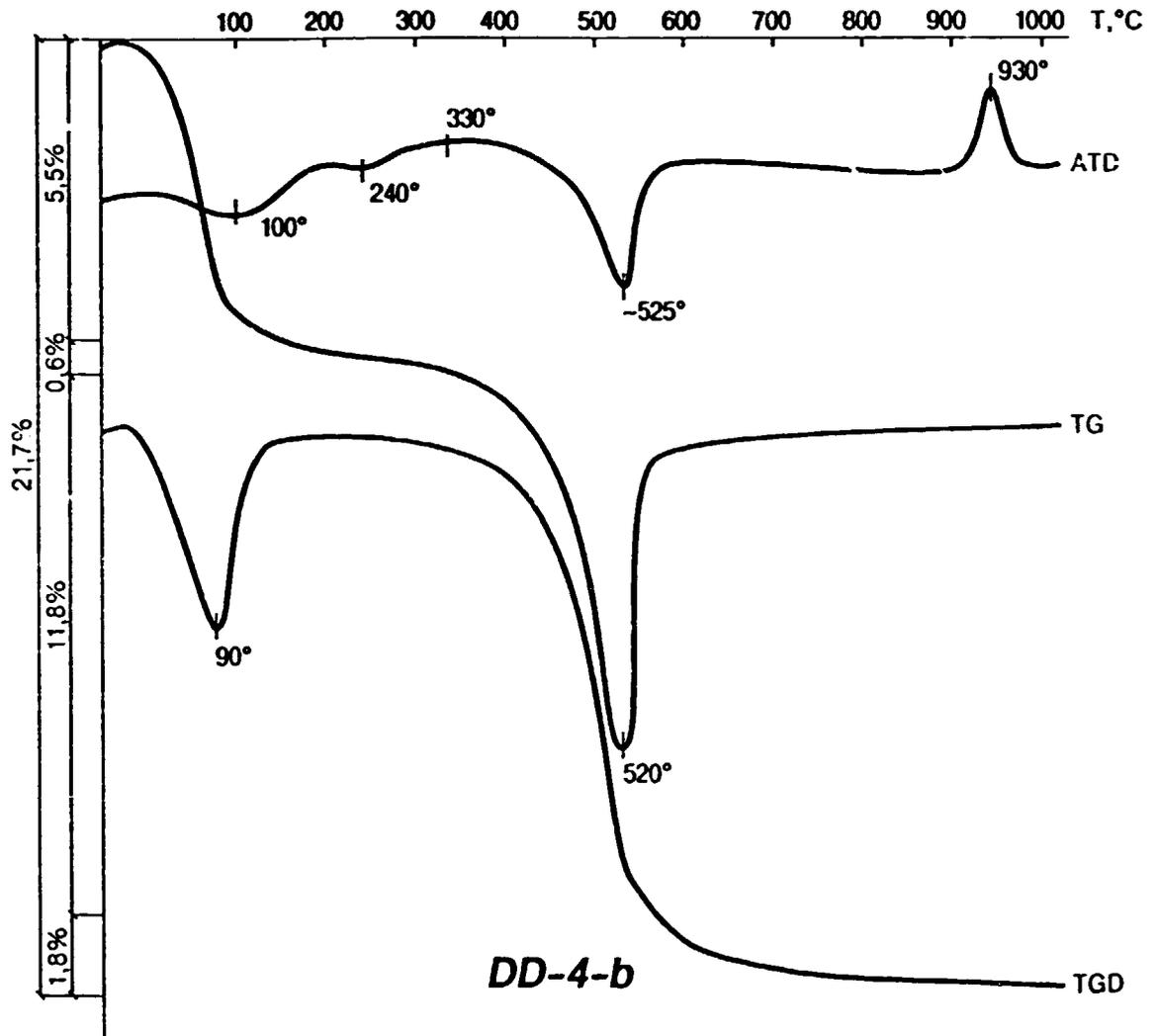


Figure 1.5.

Thermogrammes. Kaolin DD-4-b.

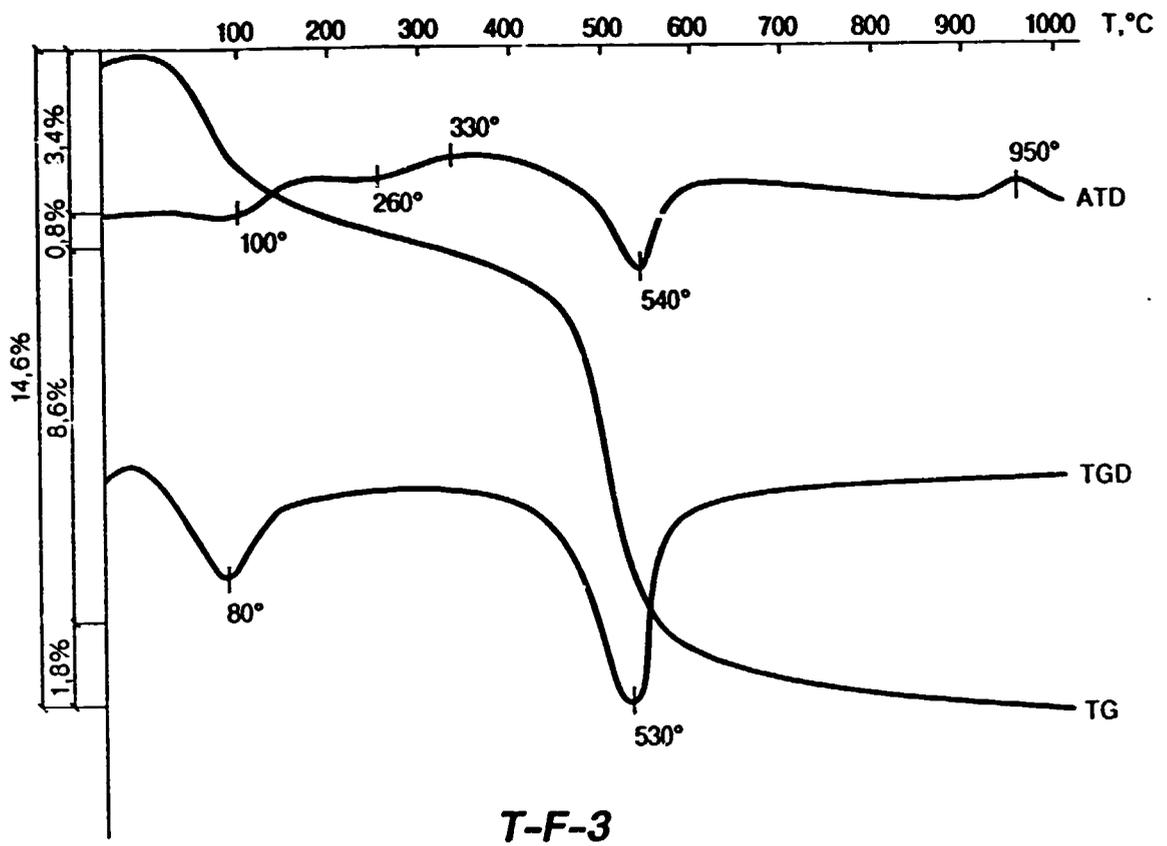


Figure 1.6.

Thermogrammes. Kaolin T-F-3.



a  
x11 500



b  
x32 000

Figure 1.7.

Photographies électro-microscopiques. Kaolin T-F-3.

a des agrégations en forme de l'étoile de hydro-oxides du fer (guétite -  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) (Fig. 1.7a) et des particules d'allophane  $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$  en forme de sphère. (Fig.1.7b)

On peut noter que les échantillons de ce groupe, sauf la halloysite, ont une structure de couches mélangées. En même temps, dans ces échantillons il y a des grains de quartz (30-35%), la muscovite (5-7%) -  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , des oxides, des hydroxides de fer (limonite,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , hématite,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , guetite jusqu'à 1%, des minéraux accessoires en quantité jusqu'à 3-5%: la topaze en forme de fragments des cristaux de dimensions jusqu'à 20  $\mu$ ., le tourmalin (les cristaux isolés) de dimension jusqu'à 60  $\mu$ , le rutile en forme de cristaux prismatiques allongés de dimension jusqu'à 6-8  $\mu$ .

### Groupe 3: AB-b

Cet échantillon diffère essentiellement des autres et appartient aux argiles faibles. Il n'y a presque pas de halloysite. Des agrégats se composent de particules denses et sous forme de plaques, grosses et fines de structure différente. La matière est du type hydromicacée-bé.éolito-kaolinite. Il y a également le quartz (10-15%) et des oxides du fer (2-3%) (limonite, hématite, hydroguetite). Vu l'effet exothermique à 940°C la kaolinite a une structure peu parfaite ou imparfaite (Fig. 1.8). Ce fait explique également l'étendue des effets endothermiques. Cet effet à 120°C correspond au dégagement de l'eau moléculaire intergranulaire. L'effet exothermique faible à 300°C peut être dû à la transition de  $\text{Fe}_2^+$  a  $\text{Fe}_3^+$  du composant hydromicacé. L'effet endothermique à 520°C correspond au dégagement de l'eau constitutionnelle et au changement partiel de structure. L'effet exothermique à 940°C signifie la restructuration: la cristallisation de mullite et de  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

## CONCLUSIONS

1. Tous les kaolins, sauf l'argile AB-b, correspondent aux matériaux réfractaires et peuvent être utilisés aussi bien pour la production de la chamotte qu'en qualité de liant pour les réfractaires.

2. On a établi, que le composant argileux principal de tous les kaolins réfractaires était la halloysite et non pas la kaolinite.

3. Suivant la qualité et les caractéristiques physico-céramiques (teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , rapport  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ , réfractarité, plasticité, teneur en fractions fines), on peut ranger les kaolins étudiés de façon suivante: DD-4-b, DD-3-b, (DD-3), T-F-3, T-F-3-b.

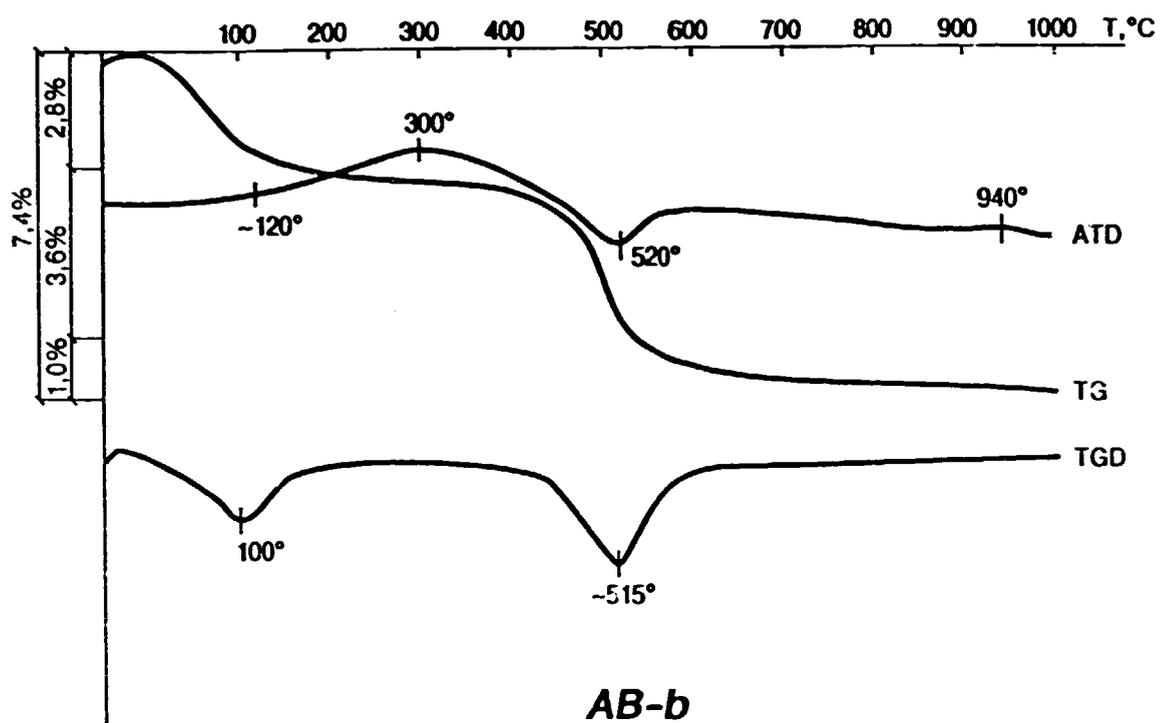


Figure 1.8.

Thermogrammes. Kaolin AB-b.

## 2. ETUDE DE LA CUISSON DES KAOLINS T-F-3 et DD-3-b

La capacité de cuire est celle des roches argileuses de fondre partiellement à la température inférieure à celle de réfractairité, et après le refroidissement donner une masse épaisse (le tesson). La température de cuisson est celle à laquelle la prise d'eau par le tesson diminue jusqu'à 5%.

L'intervalle de cuisson est situé entre la température du début de cuisson et celle du début d'expansion et de déformation quand la prise d'eau cesse à baisser.

On a déterminé la capacité de cuire des kaolins selon le Standard de l'URSS 21216, 9-81 "Méthode de la définition de la capacité de chamottage des argiles". A part les échantillons, proposés par le Standard (60x30x10mm), on a préparé de tous les kaolins des échantillons-cylindres, de diamètre 25, de hauteur 30 mm à l'aide des méthodes de la formation plastique et demi-sèche. Les caractéristiques des échantillons pour la définition des températures de cuisson sont citées dans le tableau 2.1.

On effectuait la cuisson des échantillons dans les fours à muffle et à cryptol selon le régime suivant: la montée de température à la vitesse de 3°/min, la pause à la température finale est de 30 min.

Les caractéristiques des morceaux bruts, des échantillons de la formation plastique et demi-sèche après la cuisson aux températures différentes pour le kaolin DD-3 sont citées dans le tableau 2.2, pour le kaolin DD-4 - dans le tableau 2.3, pour le kaolin traite T-F-3 - dans le tableau 2.4.

Tableau 2.1.

**Caractéristiques des matériaux préparés pour l'épreuve de la cuisson.**

Type du kaolin	Méthode de préparation des échantillons	Marquage de l'échantillon	Humidité %	Pression de pressage N/mm <sup>2</sup>	Densité après pressage g/cm <sup>3</sup>	Rétrécissement à séchage à 100°C	Caractéristiques des échantillons secs		
							porosité ouverte %	densité apparente g/cm <sup>3</sup>	
DD-3-b	morceaux bruts	A	5,2	-	-	-	39,0	1,48	
		plastique demi-sèche	B	37,6	-	-	5,2	41,6	1,36
			C	19,8	50	1,86	-	30,5	1,59
DD-3	plastique demi-sèche	B	28,0	-	-	5,3	24,4	1,56	
		C	14,4	25	1,99	-	22,3	1,81	
DD-4-b	morceaux bruts	A	7,0	-	-	-	48,3	1,26	
		plastique demi-sèche	B	30,0	-	-	4,6	37,7	1,48
			C	10,8	50	1,98	-	22,4	1,73
T-F-3	cylindres plastique demi-sèche	D	3,3	-	-	-	40,3	1,48	
		B	31,2	-	-	4,0	32,9	1,47	
		C	11,0	25	2,10	-	21,1	1,91	
T-F-3-b	plastique demi-sèche	B	21,2	-	-	9,8	34,6	1,68	
		C	6,8	50	2,27	-	17,9	2,10	
AB-b	morceaux bruts plastique demi-sèche	A	1,8	-	-	-	28,0	1,75	
		B	23,6	-	-	2,6	35,9	1,58	
		C	12,4	25	2,06	-	22,4	1,89	

Tableau 2.2.

**Indices de la cuisson du kaolin du type DD-3-b en forme des morceaux bruts (A), des échantillons de la formation plastique (B) et demi-sèche (C).**

t° de la cuisson °C	Rétrécissement linéaire, %			Absorption de l'eau %			Porosité ouverte %			Densité apparente g/cm <sup>3</sup>		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1250	19,7	18,6	19,7	6,3	7,6	6,2	14,3	16,8	14,3	2,33	2,22	2,31
1300	23,7	19,3	19,9	5,3	7,3	6,1	12,6	16,4	14,2	2,39	2,25	2,33
1350	24,4	18,6	20,3	4,8	6,9	5,7	11,4	15,6	13,4	2,42	2,28	2,34
1400	34,2	19,2	21,0	4,1	7,0	5,6	10,0	16,0	13,0	2,46	2,28	2,34
1450	19,1	19,5	20,5	2,4	7,0	5,9	6,3	15,8	13,7	2,57	2,26	2,34
1500	N.D.	19,3	19,5	N.D.	7,1	5,5	N.D.	16,1	13,0	N.D.	2,27	2,34
1550	13,8	18,1	19,5	2,8	6,4	4,9	7,1	15,6	12,1	2,58	2,24	2,35
1600	14,5	19,6	20,9	3,9	6,0	4,3	9,3	13,7	10,0	2,39	2,30	2,36
1650	15,1	19,6	20,6	4,2	5,3	2,2	10,1	12,3	5,4	2,39	2,34	2,45

Tableau 2.3.

**Indices de la cuisson du kaolin du type DD-4-b en forme des morceaux bruts (A), des échantillons de la formation plastique (B) et demi-sèche (C)**

t° de la cuisson °C	Rétrécissement linéaire %			Absorption de l'eau %			Porosité ouverte %			Densité apparente g/cm <sup>3</sup>		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1250	17,2	19,4	7,2	12,6	2,9	7,2	25,5	6,7	16,4	2,00	2,26	2,27
1300	23,6	20,2	6,8	11,8	2,5	6,8	23,6	5,8	15,5	2,01	2,32	2,29
1350	-	19,7	6,2	2,9	2,5	6,2	8,7	5,8	14,5	2,53	2,33	2,33
1400	25,9	19,6	5,5	1,3	2,3	5,5	3,4	5,3	13,0	2,66	2,33	2,36
1450	25,6	19,4	5,1	2,9	2,5	5,1	7,3	5,7	12,1	2,55	2,28	2,37
1500	6,3	17,4	4,2	1,5	2,6	4,2	3,9	5,5	10,1	2,61	2,15	2,42

Tableau 2.4.

**Indices de la cuisson du kaolin du type T-F-3 en forme des cylindres, des échantillons de la formation plastique (B) et demi-sèche (C)**

t° de la cuisson °C	Rétrécissement linéaire %		Absorption de l'eau %			Porosité ouverte %			Densité apparente g/cm <sup>3</sup>		
	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1250	10,1	11,6	16,6	12,5	2,3	24,3	24,6	8,8	1,96	1,98	2,31
1300	10,4	12,9	11,8	6,2	0,8	23,6	12,7	1,8	2,00	2,05	2,39
1350	10,4	12,1	4,5	1,4	0,4	9,7	3,0	0,8	2,17	2,22	2,39
1400	11,1	10,2	0,9	1,8	0,8	2,1	4,1	0,6	2,29	2,25	2,29
1450	12,1	9,0	1,0	1,3	0,6	2,2	2,9	1,4	2,28	2,23	2,21
1500	10,6	6,5	0,7	1,9	1,4	1,6	4,0	3,0	2,29	2,09	2,11
1550	8,0	7,0	0,9	2,2	1,2	1,9	4,5	2,6	2,15	2,04	2,15
1600	9,0	-	-	1,4	1,1	-	2,7	1,1	-	1,96	1,98
1650	7,7	0,5	2,0	1,8	0,8	4,1	3,5	1,5	2,03	1,92	1,92

L'intervalle de cuisson du kaolin en morceaux DD-3 est de 1350-1550°C, pour les échantillons de la formation plastique et demi-sèche le début de cuisson se met dans le domaine des températures plus élevées. En même temps malgré le fait que la densité apparente des échantillons de formation demi-sèche est plus élevée, que celle des morceaux, après la cuisson aux températures 1350-1550°C, la densité des morceaux cuits est beaucoup plus élevée (2.42-2.58 g/cm<sup>3</sup>) contre 2.34-2.35 g/cm<sup>3</sup>. Pendant la cuisson à 1600-1650°C le rétrécissement des morceaux diminue et la densité baisse à cause de l'expansion de la matière.

La température optimale pour la cuisson du kaolin DD-3 est égale à 1450°C, les écarts pendant la cuisson dans les domaines bas et haut des températures inférieures à 100°C ne meneront pas au recuit de la chamotte.

On n'avait pas comme l'objet des recherches la cuisson du kaolin DD-4, mais en tenant compte des caractéristiques uniques du kaolin - sa pureté, ses grandes qualités plastiques, la réfractarité élevée, on a défini la limite inférieure de la cuisson. Des morceaux cuissent à 1350°C et jusqu'à 1500°C, des échantillons de la formation plastique ont la limite de cuisson de 1300°C à 1450°C, des échantillons de la formation demi-sèche - 1400°C et jusqu'à 1500°C.

L'intervalle de cuisson des granules du kaolin T-F-3 est de 1350°C à 1500°C, des échantillons de la formation plastique - de 1350°C à 1500°C et de la formation demi-sèche - de 1300°C à 1450°C. Pendant l'augmentation suivante des températures se passent l'expansion, la formation des pores fermés et la diminution de la densité.

L'étude des échantillons DD-3 après la cuisson à 1400°C a montré, que l'échantillon se compose essentiellement de la masse isotrope, sans structure avec l'indice de double réfraction-1,560. Il y a des cristaux de mullite de dimensions jusqu'à 3 μ. Il y a aussi des pellicules fines du verre de silicates. La quantité calculée de mullite est de 62% environ, de cristobalite - 32% environ. Sur la diffractogramme (Fig. 2.1) on voit que les phases cristallines principales de l'échantillon sont la mullite et α-cristobalite. Dans l'échantillon il y a des traces des phases additionnelles (vollastonite, monticellite, forsterite, solution solide en forme de spinel à la base de galaxite, MnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, β-alumine alcaline, feldspaths et d'autres).

L'échantillon de la granule cuite à 1400°C se compose de cristaux fins de mullite, cimentés par des pellicules fines du verre. La quantité calculée de mullite est de 54% environ, de cristobalite - 40% environ. Sur le diffractogramme (Fig.2.2) on voit que la phase principale cristalline est la mullite. Il y a également des traces des composants additionnels (vollastonite, solution solide en forme de spinel, forsterite, monticellite, rutile, β-alumine et d'autres). Dans l'échantillon il y a une phase radioamorphe.

Les caractéristiques des meilleurs des kaolins étudiés en fonction de la température de cuisson sont présentées sur la Fig.2.3.

Donc, ces études ont permis de constater ce qui suis:

- des kaolins bruts en forme de morceaux DD-3-b, DD-4-b, des granules du kaolin traité T-F-3 sont les matières premières optimales pour la cuisson;
- on a établi des intervalles de cuisson, qui pour le kaolin DD-3-b est de 1350 à 1550°C, pour le kaolin DD-4-b - de 1350 à 1500°C, pour les kaolins T-F-3 - de 1350 à 1500°C. La température de cuisson doit être fixée: pour le kaolin DD-3-b - 1450°C, DD-4-b - 1400°C, T-F-3 - 1400°C. Les écarts vers le haut ou vers le bas du régime recommandé de cuisson de 50-70°C ne meneront pas au rebut de la chamotte;
- l'étude des chamottes cuites DD-3 et T-F-3 a montré, que la phase principale des chamottes est la mullite en quantité de 50-60%.

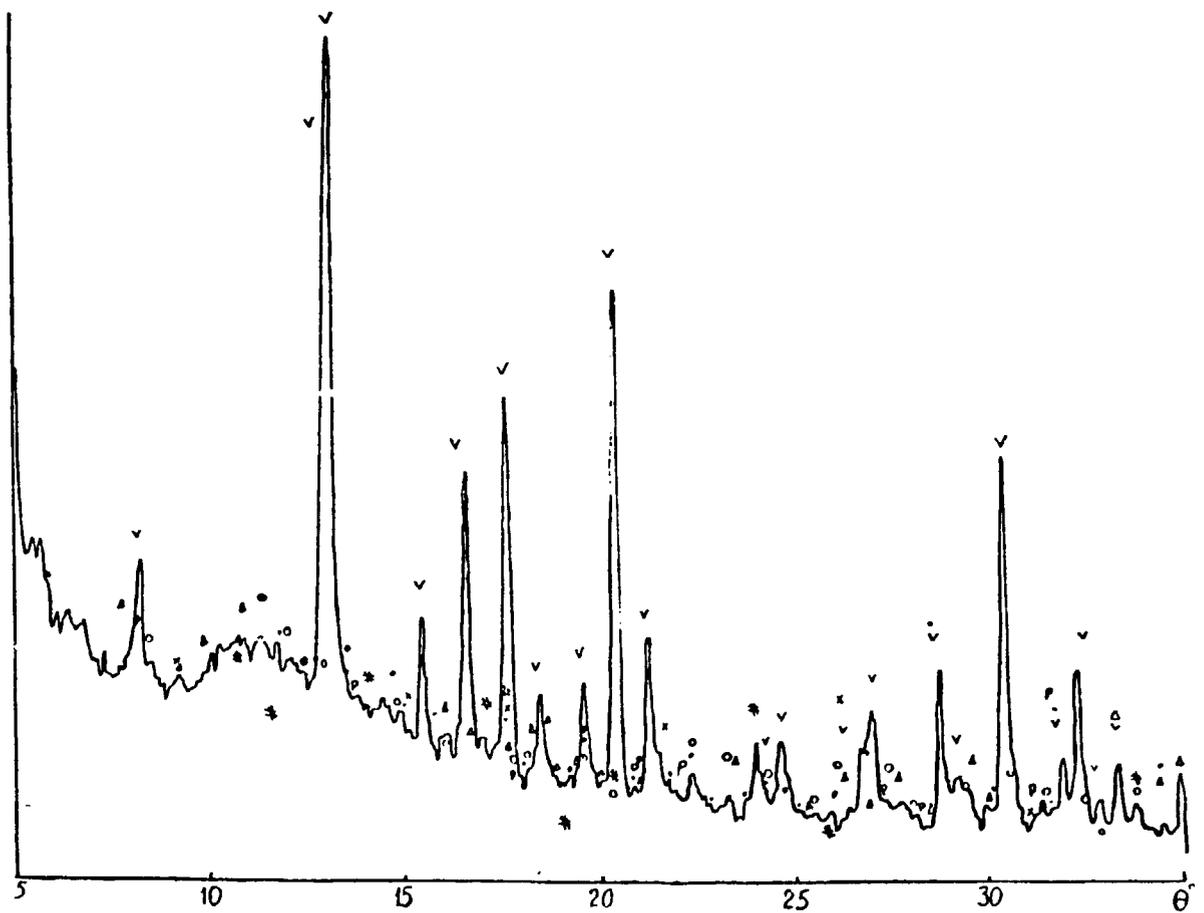


Figure 2.1.

Diffractogramme du kaolin T-F-3

cuit à 1400°C: v-mullite,  $\Lambda$ - $\beta$  - alumine, \* - wollastonite ( $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub>), o-  
forstérite (olivine), # - moriticellite, x-solution solide spinellide, P- rutile.

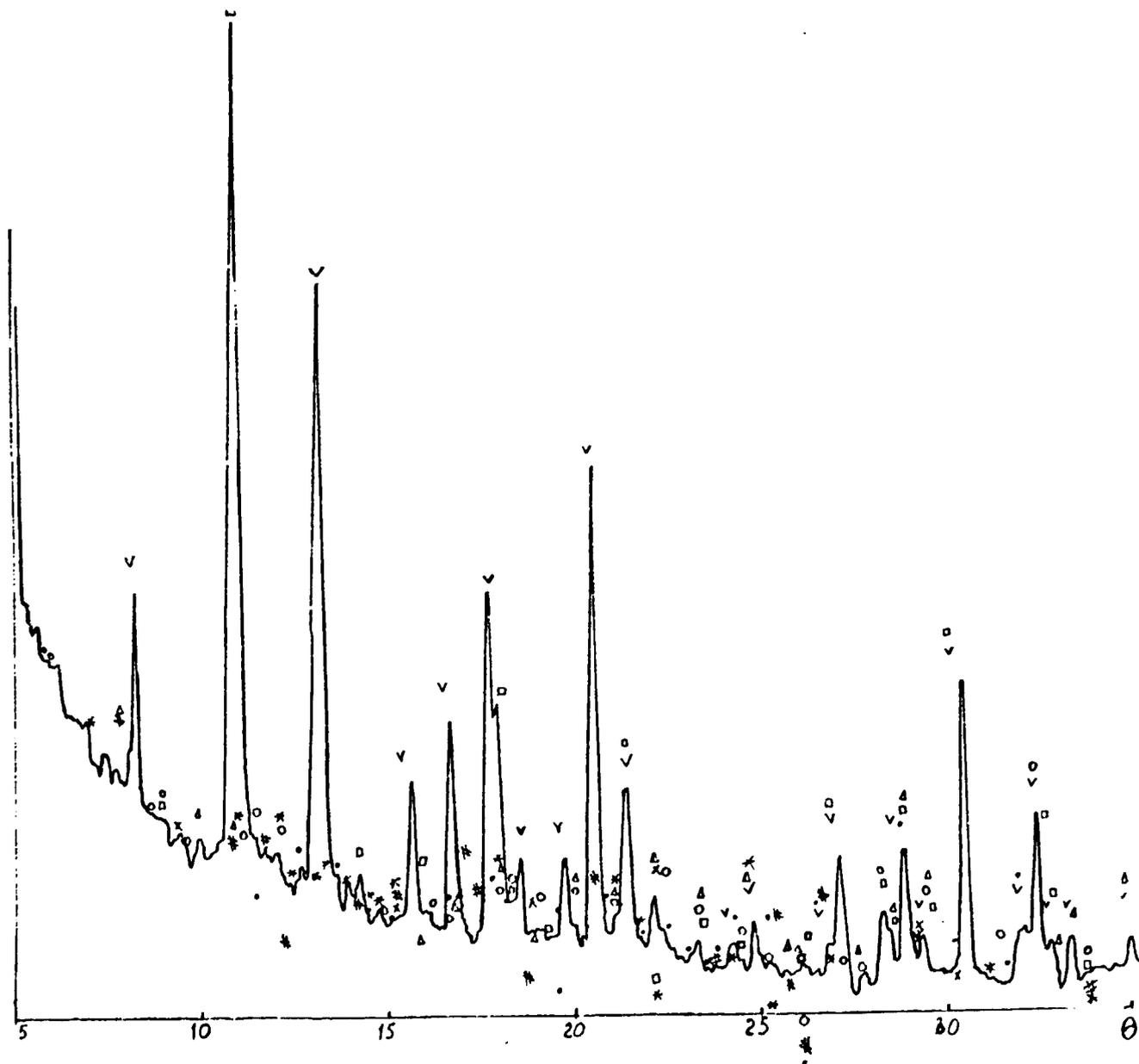


Figure 2.2.

Diffractionogramme du kaolin DD-3-b

cuit à 1400°C: v-mullite, A-β - alumine, \* - wollastonite ( $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub>), o-  
forstérite (olivine), # - monticellite, x-solution solide spinellide à la base de  
la galaxite (MnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), Δ- anorthite..

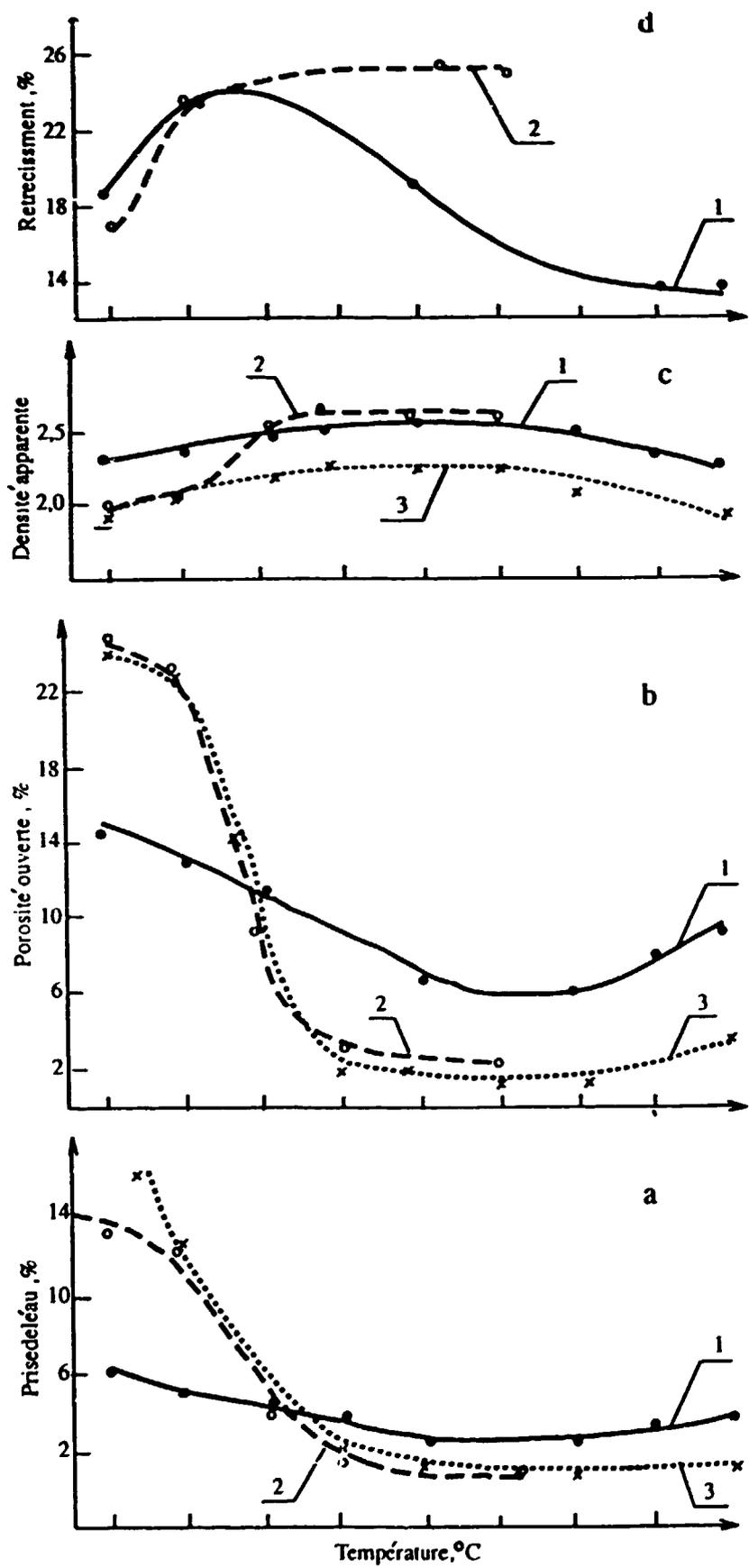


Figure 2.3.

Prise de l'eau (a), porosité ouverte (b), densité apparente (c) et retrecissement linéaire (d) en fonction de la température de cuisson.

### 3. RECOMMANDATIONS SUR LA FABRICATION DE LA CHAMOTTE A PARTIR DES KAOLINS

T-F-3, DD-3.

Kaolin du type T-F-3.

On utilise pour la cuisson le kaolin briqueté en forme des granules - le cylindre de 9 mm de diamètre et de 20-25 mm de longueur. La résistance mécanique de ces granules est faible. L'utilisation des fours rotatifs pour la cuisson peut aboutir à l'augmentation de la sortie de la poussière du four à cause de l'usure des granules en diapason de températures 600-900°C ou se passe la déshydratation du kaolin et l'abaissement de la résistance mécanique des granules.

L'utilisation du four rotatif pour la cuisson de ces granules n'est possible qu'après les mesures nécessaires pour l'affermissement des granules - la mise en masse préparée pour le briquetage des additions affermissant les granules après le séchage; le séchage des granules sur les grilles à la température de 1000°C environ.

Les fours rotatifs donnent la possibilité de produire de la chamotte dans des quantités importantes (plus de 100 milles tonnes par an).

Pour fabriquer la chamotte en quantité correspondant à la production de 3-5 milles tonnes de produits réfractaires par an, ce qui veut dire de 2-3,5 milles tonnes de chamotte par an (le rapport entre la chamotte et le liant étant 65%:35%), il est possible d'utiliser les fours à sole mobile et les fours à tunnel, où les granules sont immobiles au cours de la cuisson.

Les fours à tunnels sont les plus répandus.

La cuisson des granules du kaolin dans un four à tunnel peut s'effectuer dans les capsules spécialement fabriquées. Les capsules s'installent à 2-3 niveaux à la hauteur du four.

Le plus simple, par sa construction, est le four PG30 (fabriqué par l'Usine de construction des moteurs de Yaroslavl). Le four PG30 a la surface de la vagonette 1000x500 mm, la hauteur de la chambre du four au-dessus de vagonette est de 400 mm et le volume de la chambre - 0,2 m<sup>3</sup> ou compte tenant du coefficient de remplissage - 0,16 m<sup>3</sup>. La densité apparente des granules étant 1t/m<sup>3</sup>, la charge de la vagonette doit être de 160 kg.

Compte tenu la productivité nécessaire calculée (3 milles tonnes de chamotte par an) 18750 vagonettes doivent passer par le four au cours d'une année. Si l'on considère que le four fonctionne 320 jours par an, alors on doit faire passer par le four  $18750:320 = 59$  vagonettes par jour. Donc l'intervalle de poussée d'une vagonette est égal à 25 minutes environ.

Si la longueur du four est de 36 m le nombre des vagonettes qui se trouvent dans le four est égal à 36. Par conséquent, le temps complet de la cuisson des granules de

chamotte est de 900 min ou de 15 h y compris la durée d'exposition à la température maximale 1400°C, égale à 2,5 h.

La cuisson des granules est possible dans le four à sole mobile.

Le dimensions de la sole du four (fabriqué par exemple par l'Usine de construction des appareils d'izume) sont 2,5x3m, tandis que la hauteur de la chambre est égale à 1,2m. ce qui donne pour le volume de la chambre de cuisson 7,85m<sup>3</sup>. Compte tenu les valeurs du coefficient de chargement 0,8 et de la densité apparente des granules 1t/m<sup>3</sup> on obtien que la masse de granules à charger dans le four pour une cuisson est égale à 6,3 t environ.

Le temps total de la cuisson des granules se trouve dans les limites de 30-40 heurs, le temps de cuisson à la température finale de 1400°C esi de 5 heures. Alors compte tenu, du temps de chargement-déchargement de la sole et des travaux d'entretien, le temps du fonctionnement du four (cuisson) est de 300 x 24 h = 7200h ou 7200: 35 = 205 cuissons par an, par consequent dans un seul four on peut realiser la cuisson des 205 x 6,3 = 1306 t par an.

Compte tenu que les granules après la cuisson ont le diamètre de 8 mm et la longueur de 15-20 mm, pour le broyage des granules il faut utiliser le consasseur à arbre. Après le broyage il est nécessaire de réaliser la séparation magnétique du produit et le tamisage sur un tamis à vibration en fractions 5-3, 3-0,5 et inférieure à 0,5 mm.

#### Kaolin DD-3.

Comme nous l'avons deja montré, le plus perspectif est le kaolin en morceaux, par ce qu'il n'exige pas de préparation préalable. En comparaison avec les granules TF-3 le kaolin en morceaux possède de la résistance mécanique élevée.

Le chamottage de se kaolin est également possible dans le four à tunnel ou dans le four à sole mobile.

Tandis que la chamotte granulée n'a qu'une seule fraction, la chamotte en morceaux a la composition granulométrique très large (100mm - inférieure à 10m). Pour la homogénéité des propriétés (porosité, prise de l'eau) de béton obtenu il est nécessaire, à l'aide de tamisage, extraire de la chamotte la fraction inférieure à 10mm.

La cuisson des restes des morceaux est analogue à celle des granules.

La fraction du kaolin inférieure à 10 mm après le concassage au concasseur à arbre jusqu'à diamètre inférieure à 2 mm peut être utilisée comme liant des produits chamotte et pour la fabrication des coulis.

Pour le concassage de la chamotte cuite, il est recommandé d'installer un concasseur à machoires. On peut utiliser le concasser à marteau de "REFRACTAL". Le traitement suivant de chamotte se passe de la même façon que celui des granules TF-3.

#### 4. L'ANALYSE DES CONDITIONS DE SERVICE, DES CONSTRUCTIONS ET DES MATÉRIELUX REFRACTAIRES UTILISES POUR LES PORTES DES FOURS A COKE.

La construction des fours à coke exige une grande quantité de matérielux réfractaires. Les fours à coke sont les agrégats thermiques très compliqués dont la durée de service constitue plus de 25 ans.

Le processus de la cokéfaction se passe dans les chambres des fours à coke. Ces chambres sont limitées par les murs chauffants dont la destination essentielle est la combustion du gaz de chauffage et la transmission de la chaleur dans chambre, à la charge de charbon. Les chambres de cokéfaction sont fermées par les portes pour diminuer les pertes de la chaleur.

Pendant le chargement les portes s'ouvrent à l'aide de mécanisme qui pousse la coke et se trouvent à ciel ouvert, après quoi il reprennent leur place.

Les portes des fours à coke se composent du corps métallique en forme d'une boîte formée par les soutiens des briques et le mur du corps.

Les produits réfractaires façonnés remplissent la boîte métallique et servent, d'une côté, pour la diminution des pertes de la chaleur, de l'autre - pour isolation thermique du corps de la porte.[1]

Le revêtement réfractaire des portes des fours à coke se trouve dans les conditions thermiques défavorables. La surface de service du revêtement pendant la cokéfaction touche la coke et rechauffe jusqu'à 800-1000°C; quand les portes s'ouvrent pour le déchargement elles se refroidissent brusquement à l'air. Pendant le chargement du four cette surface touche la charge humide. Outre cela, le revêtement supporte des influences mécaniques pendant le démontage, nettoyage et montage des portes, subit la graphitisation et le goudronisation au cours de cokéfaction.

Les indices essentiels de la destruction du revêtement sont l'émiettement, les spallations et même le détachement des grands morceaux des réfractaires qui commencent par les joints. Le revêtement devient perméable pour le gaz, ce qui contribue à sa destruction.

La stabilité du revêtement des portes des fours à coke depend [1-2] de la qualité des matérielux réfractaires, de la culture de l'exploitation du four et constitue, dans la plupart des cas, le délais jusqu'à 1 an.

La durée de service dépend du volume des chambres de cokéfaction, à savoir de la largeur et la hauteur des portes dont l'augmentation diminue la stabilité des réfractaires [4].

D'après [5-10] un des facteurs les plus importants, qui influencent la stabilité des portes, est la configuration et les dimensions des réfractaires et la construction du

rèvettement.

Les réfractaires traditionnels pour les fours à coke sont les briques, dont la teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  est de 30-38%, la réfractarité - 1730-1740°C, la porosité - 12-22%, la résistance mécanique sous pression - supérieure à 20 N/mm<sup>2</sup>, le rétrécissement supplémentaire à 1350°C - inférieur à 0,4%.

Vu que l'usure du revêtement commence par les joints entre les briques, la méthode la plus perspective consiste à l'utilisation du revêtement en béton sans joints.

A partir de 1937 en URSS et en d'autres pays on a commencé les essais du revêtement en béton pour les portes des fours à coke [12-16].

Selon [13-14] on préparait le béton à la base de 80% de la casse des briques chamotte ou semi-acides de fraction de 0...10 mm et de 20% du ciment alumineux.

On réalisait le revêtement en béton armé et non armé; la configuration du revêtement en béton était analogue à celle du revêtement en briques. Le béton était préparé à l'usine même et mis immédiatement dans les cadres.

La durée de service du béton armé était supérieure à celle du béton non armé (plus de 2 ans), mais la plupart des portes ont été mises hors de service avant ce délai grâce à leur fissuration.

Selon [17] l'utilisation des bétons pour le revêtement des portes était limitée, car la construction du revêtement n'était pas bonne, la fabrication du béton sur place diminuait sa qualité, les difficultés de la fabrication du béton se compliquaient de la mise d'armature dans le béton. Outre cela, selon [18] la fabrication du béton chez le client mène à l'instabilité de qualité.

Dans les années suivantes, au même titre que le briquetage, on utilisait le revêtement en blocs, fabriqués des bétons de compositions différentes. Selon [9-12] les bétons du type BOS-15 se composaient de 80% de chamotte, contenant 35% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , et de 20% du ciment Gourkale-60.

Le béton avait la réfractarité de 1540°C, la résistance mécanique sous pression après 4 jours à froid - supérieure à 25 H/mm<sup>2</sup>, la thermostabilité (850°C - l'eau) jusqu'à la perte de 20% de la masse - est de 10 le cycles thermiques.

Les blocs en béton BOS 135 étaient montés sur les portes à l'aide des pièces de support comme dans le cas de briquetage. Les blocs sont fabriqués suivant la configuration des briques, mais de la hauteur de 300 mm; chaque rang comprend deux parties dont le joint était incliné et la masse de chaque élément ne surpassait pas de 40 kg. Le montage de la porte a été effectué à la main. L'espace libre entre le revêtement et la chambre à coke était de 20 mm.

Après 3-4 ans d'exploitation le revêtement se trouvaient dans un bon état, mais il y avait les dépôts de graphite sur la surface des blocs dans la zone de contact du revêtement et des pièces de support

Selon [22] l'essai du revêtement en béton armé a montré, que les compositions optimales des bétons se composaient de 30% du ciment TZ 70 Istrabrand ou Gourkale et de 70% du ciment des schistes argileux.

La durée de service du revêtement en béton est de 2 fois supérieure par rapport au revêtement en chamotte.

Les revêtements qui avaient été fabriqués en béton monolithe et de 3-4 blocs, ont été mis hors de service dans 3-4 ans, mais il y avait des blocs qui servaient 12 ans. Il est à noter que les blocs qui ont été séchés préalablement servaient de 2 ans de plus.

Pour le revêtement des fours à coke on a proposé le béton dense fondu à la base du ciment alumineux (la teneur en  $Al_2O_3$  - 54%, en  $SiO_2$  - 36%, la résistance mécanique sous pression après le séchage est de 54,4 - 60 N/mm<sup>2</sup>). Le béton se caractérise par une grande résistance à l'usure mécanique, y compris dans l'intervalle des températures de 800 à 1200°C.

Dans les années 70-80 en URSS on a recommencé les travaux pour l'utilisation du revêtement en blocs à la base d'agrégat de chamotte et de ciment alumineux ou à haute teneur en alumine [24]; leur résistance après le séchage était de 16,8 à 17,7 N/mm<sup>2</sup>, après la cuisson à 800°C la résistance était faible - de 6,8-7,2 N/mm<sup>2</sup>. Les blocs ont été fabriqués sous forme de revêtement armé.

La carcasse d'armature remplissait à la fois fonction d'un élément d'armature et de support. Les dimensions des blocs ont été choisies tenant compte de leur montage au cadre de la porte. L'espace libre de côté était de 20 mm. La porte se composait de 3 blocs. Le bloc de dessus incliné, servait à prévenir les écroulements de coke. La durée moyenne de service des revêtement en blocs armés avec l'espace libre de côté de 20 mm constituait 2-3 ans [25].

On a essayé les bétons des types ШББЦ -40 selon les Conditions Techniques (CT) Russes 14-8-130-74 et МКрББЦ - 65 selon les CT 14-194-74-76 [26].

À titre d'agrégat on utilisait pour le béton ШББЦ-40 la chamotte contenant 38-40% d' $Al_2O_3$  et pour le béton МКрББЦ -65 - la chamotte de boxite qui contenait 58-60% d' $Al_2O_3$  de fraction 0...10 mm. Comme liant on utilisait dans les deux bétons le ciment à haute teneur en alumine, en quantité de 18% de la masse du mélange. La résistance mécanique sous pression des bétons constituait de 23,9 et de 28,9 N/mm<sup>2</sup> respectivement.

Le revêtement a été réalisé de 4 blocs qui avaient la configuration extérieure du type de brique des portes et qu'on fixait à l'aide des pièces de support, comme dans le cas des briques.

On a installé les portes de ce type à l'usine sidérurgique à Tchérépovets des côtés de machines et de coke. Les auteurs notent, que le revêtement en blocs, par rapport au revêtement en briques, est plus pratique et contribue à la diminution des écroulements de la coke, améliore les conditions de travail et d'exploitation des fours. Il n'y avait pas de

différence visible entre l'état du revêtement en béton ШББЛ-40 et en béton МКрББЛ-65.

Selon [27-28] on a proposé la construction de la porte du four avec l'utilisation des blocs non-armés dont la fixation à la porte métallique s'effectuait à l'aide des éléments détachables: un tige - deux boulons et une plaque - deux boulons. La construction du bloc creux selon [27] est la plus économique, mais elle n'est pas encore mise au point. Les constructions citées améliorent le démontage des blocs et donnent la possibilité de les détacher indépendamment l'un de l'autre.

On a préparait le béton à la base de 80% d'agrégat (chamotte et casse de chamotte en proportion 1:1) et de 20% du ciment (alumineux et à haute teneur en alumine). Les blocs avaient une résistance mécanique très importante - 36,7 - 37,9 N/mm<sup>2</sup>.

Les essais des blocs armés et non-armés a l'usine de Kharkov avec l'espace libre latéral entre le revêtement et le briquetage de la chambre de four de 50 mm ont montré leur stabilité suffisante. Il n'y a pas de différence entre le revêtement en blocs à la base de ciment alumineux et de ciment à haute teneur en alumine. Les portes servaient plus de 3 ans et ont été mis hors de service à cause de la destruction des blocs au cours de changement de cadre d'étanchéité. A l'usine on remplace le briquetage des portes par le revêtement en blocs non-armés [27].

A l'usine de coke Enakievskiy on a installé le revêtement non-armé, qui a été réalisé en blocs du type ШББЛ-38 fabriqués à l'usine Khrisstoforovskiy avec l'espace libre latéral dans la zone de hautes températures de 35 mm de côté de machines et de 50 mm de côté de coke. Cela aide à éviter la graphitisation des faces latérales des blocs dans la zone de hautes températures. S'il n'y a pas de nettoyage mécanique, les dépôts carboniques se forment dans la zone de basses températures ou se trouve le contact de la cuirasse et du briquetage des chambres à coke. Il est à noter qu'on peut facilement enlever les dépôts à l'aide de nettoyage [25].

Pour augmenter la stabilité thermique du béton il est recommandé de remplacer partiellement l'agrégat de chamotte par celui traité par le gaz de coke [29].

En USA et au Japon on utilise dans les fours à coke les réfractaires du verre de quartz [30-34]. Après l'étude des propriétés physiques des matériaux différents utilisés dans les portes des fours à coke, on a choisi le quartz fondu grâce à ses indices physico-mécaniques [35]: le coefficient de dilatation thermique assez faible -  $0,5 \times 10^{-6}$  -  $0,6 \times 10^{-6}$  K<sup>-1</sup> dans l'intervalle 200-1000°C, la résistance mécanique sous pression élevée (plus de 50 N/mm<sup>2</sup>), la thermostabilité élevée et la conductivité thermique faible. Ces propriétés assurent la stabilité élevée du revêtement en quartz dans les portes des fours à coke et permettent d'élaborer la construction du revêtement, en diminuant son épaisseur et en augmentant le volume utile de la chambre de coke. On note que la durée de service de telles portes, sans soins particuliers du revêtement, est plus grande par rapport au revêtement en briques [31].

Les blocs des briques de cordierite sont utilisés à la place des briques de chamottes pour le revêtement des portes des fours à coke à l'usine sidérurgique de société "SIN NIPPON SEITETSU" au Japon. La résistance mécanique sous pression de la brique de cordierite est de  $120 \text{ N/mm}^2$ , la dilatation thermique à  $1000^\circ\text{C}$  - 0,36%; au cours de l'étude de la thermostabilité, après 10 cycles thermiques, on n'a observé qu'une faible fissuration, tandis que la chamotte s'est détruite entièrement dans ces conditions.

En utilisant les briques de cordierite pour le revêtement des portes des fours à coke, on a assemblé les briques séparées en blocs montés au corps de la portes à l'aide de boulons. Grâce à cette méthode de fixation on peut éviter l'utilisation des pièces de support. La durée de service du revêtement de cordierite est plus élevée et il n'exige pas des grandes dépenses d'exploitation [36].

Au Japon, pour éviter la graphitisation du revêtement on a fait les essais avec la brique de cordierite à glaçure. Les dépôts des éléments carboniques sur la surface du revêtement des portes dépendent de la porosité ouverte et de la rugosité de surface des matériaux réfractaires. La glaçure appliquée contient des oxydes d'aluminium, de lithium, de sodium et par son coefficient de dilatation thermique s'harmonise bien avec la cordierite. On a déposé la glaçure sur les réfractaires cuits, après quoi on a répété la cuisson. On n'observé pas de dépôts carboniques après 3 ans d'exploitation. [37].

Pour prolonger la durée de service des réfractaires façonnés et non-façonnés on propose d'utiliser l'armature en fil d'acier ( Brevet d'Invention de la Grande-Bretagne N1391687, 1975.) . La société "Fibre technology" fabrique de différentes types des fibres d'acier - l'épaisseur est de 0,5 et la longueur est de 25 mm (Brevet d'Invention de la Grande-Bretagne N 1396788, 1975; Brevet d'invention de la Grande-Bretagne N 1448494, 1976.) pour les bétons armés et les matériaux réfractaires. Pour le revêtement des portes des fours à coke il est recommandé d'utiliser des fibres du type Fibtech ME 430 (acier inoxydable chromé) en quantité de 3-3,5%. Il est à noter que les fibres en question, sont stables à l'influence du gaz de coke.

L'addition des fibres augmente la résistance mécanique des réfractaires et leur résistance à la fatigue thermique, augmente les gradients thermiques admissibles et la stabilité par rapport aux chocs mécaniques et thermiques. Mais il faut noter que selon les données littéraires, l'utilisation du béton armé pour les fours à coke n'est pas répandue et il n'y a pas des données sur le service de produits pareils.

Les matériaux réfractaires traditionnels pour les portes des fours à coke sont les briques façonnées de chamotte. Les dimensions des réfractaires et la configuration du revêtement sont les facteurs les plus importants qui peuvent influencer la stabilité des portes et c'est pourquoi on accorde beaucoup d'attention [5-10] à ces questions dans la littérature. Le dessin de la porte avec le revêtement en briques est présenté à la Fig. 4.1.

La construction du revêtement exige l'examen le plus détaillé. La question du

revêtement en blocs exige une examination plus détaillée car son utilisation a non seulement les avantages évidents - simplicité de fabrication, diminution du nombre des joints, possibilités plus larges de varier la configuration, durée de service élevée, possibilité de réutilisation des blocs après service, amélioration des propriétés calorifuges, diminution du temps de montage et quelques autres, - mais également un défaut - la nécessité d'avoir une zone de travaux mécanisé de montage et de démontage des blocs. A part cela, la solution du problème de construction des blocs se complique par la nécessité d'accorder leurs supports avec les corps des portes existantes. Par conséquent, la question de fixation des blocs est très importante du point de vue de leur construction.

En URSS pour la première fois on a réalisé le revêtement en blocs (Fig. 4.2.) en utilisant les bétons armé et non-armé. La section transversale du revêtement étant la même que dans le cas des briques, elle avait le même défaut - diminution de la section dans les places du contact avec les pièces de support. Pour remédier à ce défaut on mettait l'armature dans les blocs. On utilisait les constructions pareilles pour les blocs de petites dimensions en Pologne [19-20], la même voie est dans [25].

Le trait positif de cette construction est que les blocs sont mis sur les pièces de support existantes, et leur fixation ne dépend pas de la construction du cadre de la porte. Mais pendant l'exploitation les réfractaires s'impregnent des dépôts carboniques et goudroniques, d'où viennent les difficultés pour enlever les blocs usés des pièces de support et ce qui ne permet pas de remplacer les blocs indépendamment l'un de l'autre.

Dans [23] on a proposé la construction du revêtement en blocs dont la fixation à l'armature s'effectue l'aide des boulons. Mais le défaut important de cette construction consiste à l'utilisation d'une grande quantité de métal et l'impossibilité de réutiliser le béton car l'élimination du métal des blocs est impossible (Fig. 4.3.)

Dans les constructions élaborées aux Etats-Unis (Brevet d'Invention des Etats-Unis N 3015614, 1959) on propose d'équiper la porte du revêtement à trois sections monté sur la plaque métallique avec l'armature et les boulons de fixation. Selon [36] la porte du four à coke a le système des blocs qui se compose des sections monolithes, dont chacune est fixée à la plaque à l'aide du teneur à la forme d'un boulon allongé placé dans une fente..

Dans [38] pour armer le revêtement on utilise une tige en forme d'un U, qui est fixée sur le cadre de la porte.

Le défaut de ces constructions consiste à la difficulté de la fabrication et l'utilisation de l'armature dans la zone de hautes températures.

Compte tenant de ces défauts on a élaboré [26] la construction de la porte du four à coke avec l'utilisation des blocs non-armés, dont la fixation au cadre métallique de la porte s'effectue avec les éléments detachables: tige et deux boulons (Fig. 4.5.) ou plaque et deux boulons [27] (Fig. 4.5.). La construction du bloc creux selon le Fig. 4.5. est plus économique mais exige la mise au point à cause de l'épaisseur et la résistance insuffisantes de la partie

de travail (Fig. 4.4.). Les constructions d'après les Fig. 4.4. et Fig. 4.5 facilitent le démontage des blocs et donnent la possibilité de les détacher indépendamment l'un de l'autre.

La fixation des blocs peut être effectuée par deux voies: par les orifices spécialement percés à travers le corps de la porte ou par les orifices existants destinés à placer les supports des briques, vu que ces supports ne sont pas utilisés dans cette construction. La dernière méthode de fixation est plus efficace car elle n'exige pas de percer les orifices supplémentaires dans le corps de la porte et diminue, dans une grande mesure, sa goudronisation.

Sur la commande de l'Institut des réfractaires de l'Ukraine on a réalisé les desseins techniques du revêtement en blocs des portes et on a élaboré également les desseins techniques du revêtement unifié pour les portes des fours à coke dont les hauteurs des

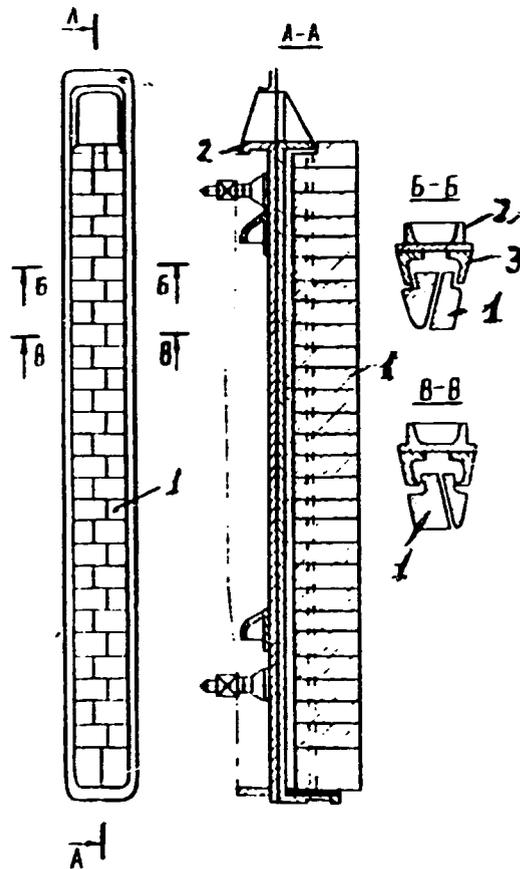


Figure 4.1.

Revêtement en briques de la porte d'un four à coke: 1 - revêtement, 2 - corps de la porte, 3 - soutien de brique.

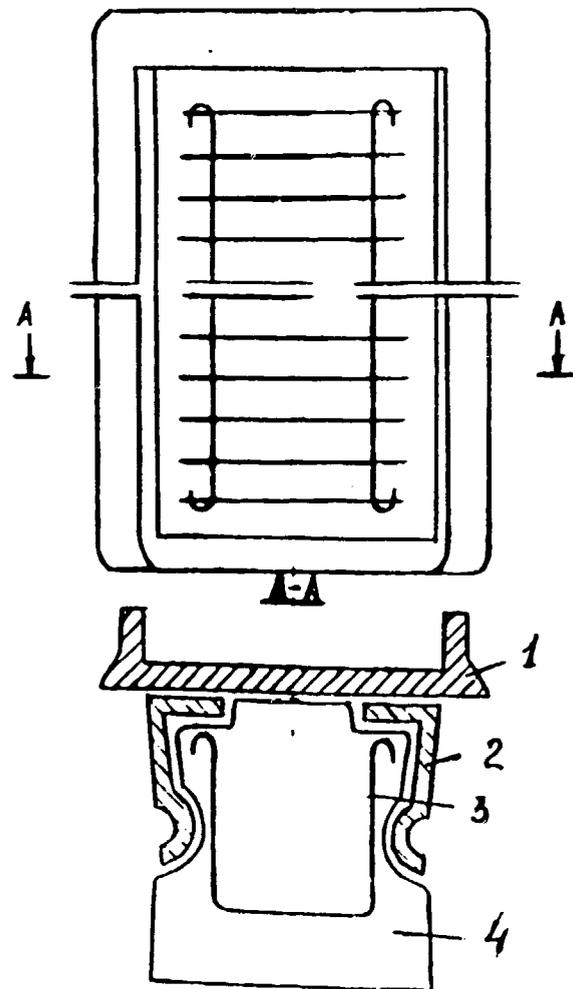


Figure 4.2.

Revêtement monolithe armé: 1- corps de la porte, soutien de brique, 3 - armature, 4 - blocs.

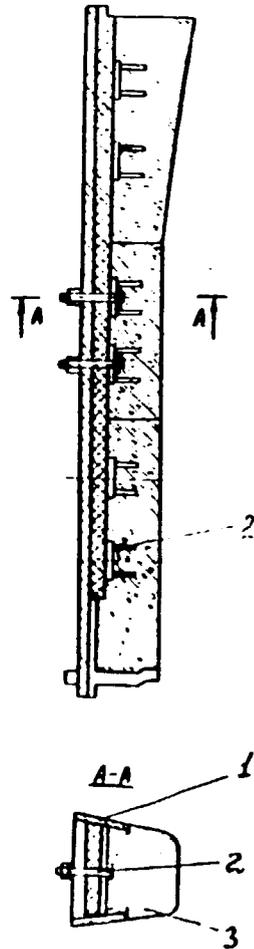


Figure 4.3.

Revêtement armé en blocs: 1- armature, 2 - soutien de bloc, 3 - blocs.

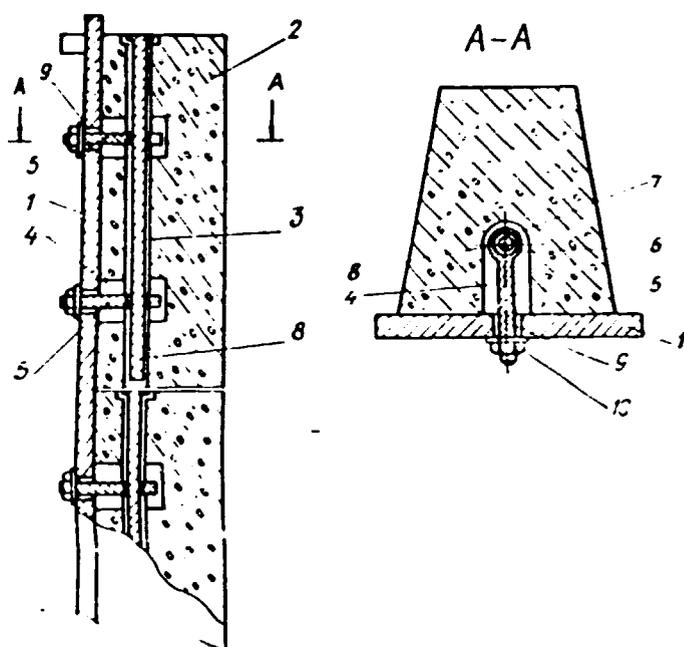


Figure 4.4.

Revêtement en blocs sans armature: 1 - corps de la porte, 2 - blocs en béton, 3 - canal longitudinal, 4 - canal transversal, 5 - boulon, 6 - la tête du boulon, 7 - orifice dans la tête du boulon, 8 - tige, 9 - orifice dans le corps de la porte, 10 - écrou.

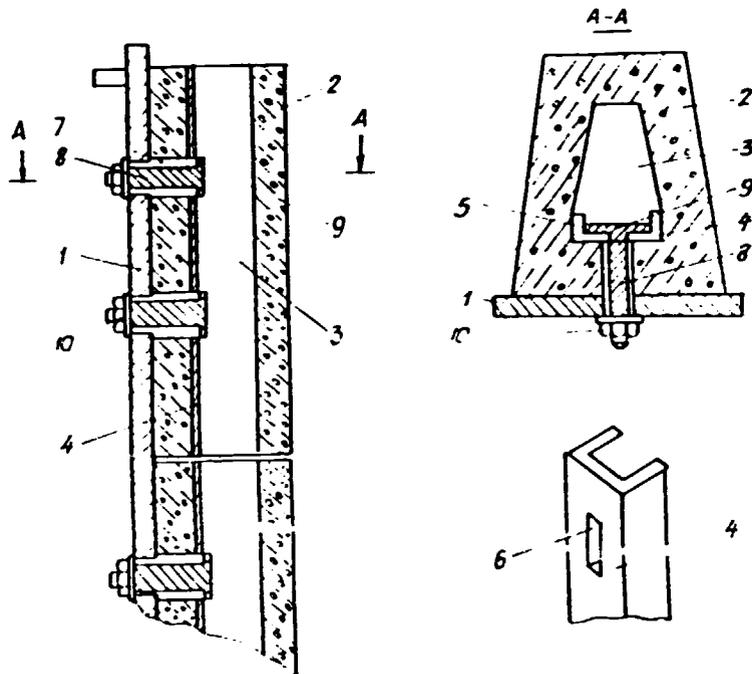


Figure 4.5.

Revêtement en blocs creux: 1 - corps de la porte, 2 - blocs en béton, 3 - canal longitudinal, 4 - plaque de soutien, 5 - bords de la plaque de soutien, 6 - orifice de la plaque, 7 - canal transversal, 8 - tige, 9 - tête de la tige, 10 - écrou.

chambres sont 4,3; 5,0; 5,5; 6,0 et 7,0m ainsi que les desseins techniques des moules qui assurent une bonne qualité de la surface et la stabilité des dimensions des blocs, ce qui est important pour garantir la grandeur optimale de l'espace libre entre le revêtement de la porte et des murs.

On a prévu deux variantes de l'installation des boulons de fixation: dans les blocs et sur leurs cotés. La dernière variante facilite la technologie de fabrication des blocs.

On a élaboré 11 dimensions typiques des blocs pour le coté de coke et 11 dimensions typiques pour le coté de machines ainsi que le revêtement unifié destiné pour les deux cotés. La longueur des blocs inférieurs change en fonction de la hauteur de la chambre à coke de 950 jusqu'à 1400 mm, supérieurs - de 1200 jusqu'à 1570 mm, intermédiaires - 1090mm.

Le choix des dimensions typiques dépend de la construction des portes des batteries existantes et de la possibilité de la fixation des blocs au corps de la porte. La construction des blocs prévoit la fente technologique de 50 mm entre le revêtement et le briquetage du mur.

## CONCLUSIONS

Les réfractaires pour les portes des fours à coke doivent répondre aux exigences principales: la résistance mécanique et la stabilité thermique élevées, thermoconductivité basse. A cause du grand nombre de joints l'utilisation des produits chamotte aboutie à la spallation, à l'émiettement, à l'augmentation de perméabilité du revêtement pour le gaz, à sa goudronisation et à l'usure intense.

La durée de service du revêtement en blocs baisse avec l'augmentation du volume des chambres à coke et constitue 1-2 ans.

L'utilisation du revêtement en blocs de béton permet de diminuer la quantité des joints, contribue à la mécanisation de montage et de démontage et diminue le temps pour les travaux de mise en place du revêtement.

Le plus perspectif est le revêtement sans armature métallique, muni des éléments detachables ce qui donne la possibilité de ramplacer les blocs et de les réutiliser.

Aussi bien qu'on utilise les bétons alumineux et à haute teneur en alumine, on élabore des nouveaux types des matériaux pour le revêtement des fours à coke: verre de quartz et cordierite, on propose des matériaux réfractaires armés par la fibre métallique et le couverts des glaçures spéciales.

## 5. ANALYSE DES COMPOSITIONS DES MATERIAUX UTILISES POUR LE GUNITAGE DES MURS DES FOURS A COKE. RECOMMANDATIONS SUR LA REDUCTION DES PERTES.

Dans les pays différents on utilise généralement pour la construction des fours à coke les produits réfractaires dinas et chamotte. On peut supposer que pour les décennies prochaines ces produits resteront principaux pour la construction et reconstruction des fours à coke [40].

L'état de revêtement réfractaire des chambres de fours à coke dépend de la durée de service, de la qualité des matériaux réfractaires utilisés, des conditions et du niveau de l'exploitation et aussi de la construction des fours à coke [41].

Les défauts les plus répandus du revêtement des chambres de fours sont:

- des fêlures verticales dans les zones du premier, deuxième et troisième canaux principaux de chauffage;
- des fêlures dans la zone centrale des chambres de fours, surtout sous les trappes de chargement;
- des cavités dans la zone de températures maximales (1200°C);
- la déformation des murs en face des canaux de chauffage;
- la destruction du revêtement des portes des chambres de fours etc.

Dans les pays différents il y a une grande expérience de la réalisation des réparations préventives et de reconstruction chaudes et froides des chambres de fours à l'aide de gunitage sec et humide par les bétons réfractaires [42,43].

A l'aide de cette méthode on répare les fêlures dans les chambres de fours, les cavités, les coupes, les fentes entre les cadres d'armature et les têtes des trumeaux, les briques extrêmes de voute et de sole endommagées et d'autres défauts.

On peut guniter le revêtement au cours du processus technologique et pendant l'arrêt des fours pour la réparation. A l'heure actuelle on gunit à l'aide des méthodes humide et demi-sèche.

Pour le gunitage par méthode humide on utilise les matériaux réfractaires en forme de pulpe. La tuyère, à l'aide de laquelle on pulvérise la pulpe, est introduite dans le four et mis à la distance de 1,0-1,5 m de la surface du revêtement. La méthode humide permet de doser les composants et l'humidité du béton. Quand on utilise le gunitage par méthode demi-sèche la poudre des matériaux réfractaires est humectée dans la tuyère (humidité - 5-15%); la distance du bout de la tuyère jusqu'à la surface à couvrir est de 6-8 m.

Les éléments, qui exigent des réparations préventives, se trouvent le plus souvent dans le revêtement des trumeaux de chauffage généralement revêtus de dinas, mais dans des secteurs extrêmes de sole et de voute - des briques kaoliniques de chamotte et de chamotte à haute teneur en alumine. Vu que le dinas, lors de refroidissement jusqu'à 500-

300°C a une stabilité thermique faible, il est à éviter, au cours du gunitage par les bétons humides, de trop refroidir les secteurs de revêtement à réparer. Le refroidissement brusque de dinas mène à la destruction de sa structure, à la diminution de résistance mécanique et à l'augmentation de la porosité ouverte [44-46].

La réparation chaude du revêtement prévoit la liquidation des défauts sans un long arrêt des fours.

Dans la pratique des usines, pendant la réparation chaude des trumeaux de chauffage on utilise les méthodes humides et demi-sèches du gunitage. Au premier cas on utilise la poudre de chamotte et l'acide phosphorique comme liant, au deuxième cas - la poudre de dinas ou de quartzite et la solution du verre liquide dans l'eau. La plus grande résistance et la capacité d'adhésion avec le dinas ont les bétons de chamotte et surtout des bétons de chamotte et de kaolin dans lesquels il n'y a pas d'argile.

Les caractéristiques des bétons à guniter dépendent également de la composition granulométrique de chamotte. Les meilleurs sont les bétons à guniter à la base de chamotte avec 20-35% de fraction 2-0,5 mm ou 25-40% de fraction 1-0,5 mm et 25-40% de fraction inférieure à 0,09 mm (le reste - 0,5-0,09mm) avec 14,8% de  $H_3 PO_4$ .

La diminution de teneur en acide phosphorique (inférieure à 14,8%) et l'utilisation de déchets de chamotte au lieu de chamotte mènent à la baisse brusque de stabilité thermique et de l'adhésion entre le béton à guniter et le dinas.

On a élaboré les technologies de fabrication des bétons à guniter et des enduits chamotte-alumineux (2-5% d'hydrate d'alumine) pour les réparations chaudes des revêtement de chamotte et de dinas des zones de températures basses des fours à coke [40,46].

Pour réparer les défauts du revêtement des chambres de fours dans la zone de trappe à charger intermédiaire, on a également utilisé le béton à guniter à la base de l'acide phosphorique [47]. On mettait ce béton sur un revêtement chauffé (jusqu'à 1350°C). Avec cela le béton à guniter se transforme à l'état demi-fondu et remplit tous les aspérités du secteur à réparer. On prépare le béton à guniter de la poudre (la poudre de chamotte de la fraction inférieure à 1 mm) et de l'acide phosphorique, de densité de 1,32 g/cm<sup>3</sup>. La densité de ce béton mesurée par l'aréomètre doit être de 1,38-1,40 g/cm<sup>3</sup>. Ces bétons améliorent l'efficacité des réparations chaudes, cependant des gunitages fréquents et longs mènent à l'humidification des secteurs adjacents "sains" du revêtement, accélérant leur usure. La formation des phosphates du silicium mène à la cohésion des poudres de chamotte, et la formation des phosphates d'aluminium augmente la résistance mécanique [46].

La méthode du gunitage des revêtements par les bétons de chamotte à l'eau à quelques défauts, dont les principaux sont: le refroidissement brusque de la couche de travail du revêtement à réparer et la porosité ouverte relativement élevée après la déshydratation.

On utilise [48] des bétons et des enduits à la base de liant alumo-chrome-phosphate pour les réparations des portes des chambres de fours endommagées pendant le service à cause des influences physico-mécaniques différentes, ce qui se manifeste par l'émiettement et la spallation des bords, la formation des cavités, des fêlures, des joints vides etc. La résistance sous cassure et sous déplacement qui doit être supérieure à celle des joints standardisés, était le critère de qualité de la composition. On a déterminé la composition optimale de béton, qui contient 35% de liant alumo-chrome-phosphate de densité de 1,5 g/cm<sup>3</sup> et 65% de la poudre à guniter de chamotte.

Pour les réparations chaudes des revêtement réfractaires une large diffusion ont reçu des enduits de protection en forme de pâtes liquides à la base des huiles. On met des enduits sur le revêtement par les couches de 1,5-3 mm. Au cours de la mise des enduits sur la surface chaude de revêtement des huiles brûlent à 200°C et la poudre ne refroidit pas le revêtement ce que est très important au cas du gunitage des trumeaux des fours à coke. En fondant les enduits ferment les pores et bloquent la pénétration des gaz, du carbon etc.

Des couvertures-glaçures ne s'absorbent pas par les matériaux réfractaires et ne les rongent pas. On choisit les compositions des couvertures de protection en fonction des températures de service. Au cours des changements brusques de température les glaçures ont un penchant pour le rétrécissement ou dilatation; leur composant principal est la poudre fine avec 3-5% de résidu sur le tamis de 0,1 mm.

En fonction du type de réparation on peut utiliser des méthodes différentes de réparation.

Pour éliminer de petites fentes dans le revêtement on utilise la méthode d'insufflation de la poudre sèche réfractaire dans la chambre de fours fermée et débranchée du conduit de gaz. Pour assurer l'étanchéité la température de fusion de la poudre insufflée doit correspondre aux températures moyennes de la chauffe du revêtement et garantir de cette façon la cuisson du matériau dans les fêlures et les joints. La poudre réfractaire à insufler est généralement le quartz fin, pulvérisé par l'air comprimé et introduit à travers la trappe à chargement.

Pour boucher les brèches dans les murs des chambres de fours, au cours des réparations chaudes, on remplit le creux par la gunite à l'aide du canon à guniter, la sèche un peu et met ensuite de la gunite sur la surface séchée partiellement.

Pour la réparation des murs de têtes endommagés on a essayé le mélange à guniter de dinas lié chimiquement à l'alumine et du liant à haute teneur en alumine. On met ce mélange sur le mur chaud et il se durcit à l'état humide.

La méthode de soudure céramique est utilisée [49-50] pour boucher les orifices et les brèches dans les murs, les fêlures et les joints entre les briques. Le mélange sec de poudre métallique et de matière réfractaire est mis, à l'aide d'une lance, sur le secteur à réparer dans le courant d'oxygène. Si la température du revêtement est supérieur à 760°C, la réaction exothermique se produit, dont la chaleur est suffisante pour la fusion de la poudre

réfractaire et, en même temps, pour le ramolissement du revêtement. On obtient, comme résultat, une bonne cohésion entre la couverture et le revêtement.

La couverture exothermique est élaboré par l'Institut Ukrainien des réfractaires à la base de casse de dinas, dont les particules sont scoriées par l'aluminium. Les caractéristiques: la résistance mécanique sous pression - 20-25 N/mm<sup>2</sup>, la porosité ouverte - 20-30%, la densité apparente - 2,18-2,26 g/cm<sup>3</sup>, La réfractarité - 1800-2000°C.

Une des variantes des méthodes de gunitage sec est celle de soudure des fentes dans le briquetage par la poudre dans la flamme d'acétylène-oxygène.

Au Japon on utilise pour des réparations restaurative et préventives la méthode du gunitage à torche analogue à la précédente. Le méthode est basée sur la pulvérisation de la poudre réfractaire dans la torche de haute température et la fusion de cette poudre sur le secteur endommagé du briquetage. On utilise les poudres réfractaires à la base de silice de la fraction inférieure à 0,2 mm, de la porosité de 12-15% [53].

La comparaison des deux technologies de gunitage - de la méthode humide traditionnelle et de celle de torche dit en faveur de la dernière. Vu que le gunitage s'effectue à haute température, il n'y a pas de refroidissement brusque des secteurs adjacents. La résistance mécanique du revêtement du secteur réparé est égale ou supérieure à celle de la brique à cause de haute adhésion de la poudre réfractaire avec le briquetage. Pour le gunitage à torche il ne faut pas utiliser de liant spécial, et la possibilité de choix et de combinaison des matériaux réfractaires est assez larges.

Les entreprises différentes fabriquent les matières nécessaires pour les réparations à hautes températures (soudure à thermité, soudure céramique, gunitage à torche).

On produit les mélanges à thermité à l'Usine de coke et de gaz de Moscou; les mélanges pour le gunitage à torche - au Complexe métallurgique de Novolipetsk; les mélanges pour la soudure céramique - au Complexe métallurgique de Magnitogorsk [54]. Le mélange pour le gunitage à torche est fabriqué à la base de quartz et d'argile avec l'addition de silico-calcium. Le mélange pour la réparation par la méthode de soudure céramique est constitué d'aluminium métallique, de silicium métallique, de coulis de dinas, de diabase.

Les paramètres principaux de gunitage sont la pression de l'air, la distance du gunitage, le débit de mélange, l'humidité du béton et la température de la surface du revêtement [44].

On assortit la pression de l'air et la distance du gunitage selon les indices de la perte de béton et de la densité apparente de la couche gunitée. Les pertes du béton dépendent de la distance du gunitage et avec l'augmentation de la pression de l'air, le minimum des pertes se déplace dans le domaine de plus grandes distances du gunitage.

Selon [43] les pertes minimales du béton correspondent à la pression excédante de 0,35 MPa et à la distance du gunitage de 1,5-1,4 m. Avec l'augmentation de la pression de l'air la densité apparente de la couche gunitée augmente, elle aussi.

L'humidité optimale des bétons de chamotte et d'argile au liant de phosphate garantissant les pertes minimales est de 7-7,5%. La diminution et l'augmentation de l'humidité par rapport à optimale mènent à l'augmentation des pertes de béton au cours du gunitage. Si la température de la surface du revêtement augmente, les pertes minimales du béton correspondent à son humidité plus haute.

La phase liquide du mélange utilisé pour le gunitage demi-sec est une suspension composée des solutions aqueuses, des additions, des particules de liants technologiques et d'agrégat. La condition d'efficacité du gunitage est l'adhésion du béton avec la surface réparée, ce qui est déterminé, dans une grande mesure, par la phase liquide du béton [44].

On attache une grande importance à la plasticité et à la thixotropie du béton à guniter, vu que ces capacités favorisent la diminution des rebonds au cours de gunitage [45]. La composition granulométrique rationnelle des plastifiants différents diminuent les rebonds du béton à guniter [42]. Une grande importance a la régularité de débit du béton à guniter à travers la tuyère.

### Conclusions et recommandations.

Les bétons utilisés pour les réparations des éléments différents des batteries de coke doivent avoir la granulométrie moyenne et la dimension maximale du grain inférieure à 2 mm.

A la base de larges études et des épreuves industrielles on a élaboré et utilisé pour les réparations chaudes des trumeaux chauffants le béton à guniter composé de 20-35% de la fraction de 2-0,5 mm ou de 25-40% de la fraction de 0,5-0,09 mm et 25-40% de la fraction inférieure à 0,09mm (le reste est la fraction de 0,5-0,09mm) et de l'acide phosphorique (14,8%) (Acide phosphorique selon le standard de l'URSS 10678-76 CT).

Pour la réparation des portes on utilise les bétons composés de 65% de la poudre à guniter de chamotte de la fraction inférieure à 1 mm et de 35% du liant alumo-chrome-phosphate (Liant alumo-chrome-phosphate selon Conditions Techniques 6-18-166-83, URSS).

Les paramètres principaux diminuant les pertes de béton au cours du gunitage sont composition granulométrique optimale, humidité du béton favorisant l'adhésion, pression de l'aire, distance du gunitage et températures de la surface du revêtement à réparer.

## 6. RECHERCHES SUR LA MISE AU POINT DU BETON CALORIFUGE

A titre d'agrégat, on a utilisé, lors de la mise au point, l'argile expansée SM présentée pour les recherches.

### 6.1. Etudes de l'agrégat.

Visuellement la matière est identique à la kéramsite, largement utilisée dans la construction par les pays de la CEI et qui représente un agrégat poreux artificiel obtenu à la suite de l'expansion des roches argileuses dans les conditions de la cuisson accélérée.

L'échantillon de la matière à étudier est représenté par le mélange des granules de forme arrondie-angulaire à couleur beige avec la dimension prépondérante de 2 à 7 mm. On remarque dans l'échantillon une quantité notable de plaques et de "paquets" de type micacé ayant les dimensions de 2-5 à 10-20 mm. En étudiant le clivage frais des granules isolées on a établi leur hétérogénéité quant à la couleur (du gris foncé au noir) et quant à la structure (poreuse, poreuse-fissurée, très dense, feuilletée, à cassure conchoïdale). La coloration égale des granules de l'échantillon total est conditionnée par une pellicule solide et mince (ayant l'épaisseur de 0,25 mm approximativement) sur leur surface dont la présence permet de supposer que les granules sont soumises, au cours de la fabrication, au poudrage ou bien sont cuites dans le milieu oxidant. Les études sous microscope ont établi ce qui suit.

La masse principale de l'échantillon est représentée par une matière cryptocristallique incolore, brune tirant au noir, transparente et opaque, à une faible réfraction double, isotrope et qui ne réagit pas à la lumière polarisée, avec les indices de la réfraction de la lumière de 1,588-1,600. Dans la cryptomasse on observe des grains isolés régulièrement disséminés ayant les dimensions de 4 à 10  $\mu$  ainsi que les agrégats de ces grains, de forme irrégulière, dont les dimensions sont de 30 à 50  $\mu$ . Ils sont noirs, opaques, magnétiques et tirant au rouge foncé, se rapportent soit à la magnétite soit à la gélénite. A part les oxydes ferriques, on observe dans la cryptomasse les grains de quartz semi-laminés ayant les dimensions de 20-25  $\mu$ . En outre on observe dans l'échantillon les petites aiguilles isolées de rutile ainsi que les rares agrégats de matière argileuse de type kaolinite et de calcite (avec les dimensions jusqu'à 10  $\mu$ ). La quantité de ces derniers est quelque peu augmentée dans la pellicule sur la surface des granules.

Les données des études de la composition chimique et granulométrique de l'agrégat donné par rapport à la kéramsite fabriquée par l'usine de Bogdanovitchi (Russie) sont citées dans le tableau 6.1. Ces données témoignent que l'agrégat SM est caractérisé par la présence de grains plus grands et par l'absence totale des petites fractions de la matière (moins de 1 mm). Ayant la teneur en  $Al_2O_3$  plus élevée l'agrégat SM possède la réfractairité plus faible.

## 6.2. Partie expérimentale.

Dans le volume total de la production mondiale des matériaux réfractaires la part des bétons réfractaires augmente toujours [60-62]. Ceci est conditionné par plusieurs avantages techniques et économiques considérables assurés par les bétons en général et par les bétons légers en particulier [67, 68]. La production et l'utilisation des bétons calorifuges acquiert une importance particulière en vue de l'acuité du problème énergétique.

Compte tenu de ce fait ainsi que des données des caractéristiques physiques et chimiques de la matière SM, on a choisi en qualité de l'objet d'étude le béton calorifuge réfractaire incorporant le ciment à la base de l'aluminate de calcium à haute teneur en alumine. Ceci est conditionné par le fait que l'utilisation de ces ciments représente la variante connue de l'augmentation des températures de service des bétons, le kéramsito-béton y compris [67-69].

On sait que les composants des bétons calorifuges comprennent les ciments à la base de l'aluminate de calcium en quantité de 20 à 50% [68-72, 77, 76].

On a utilisé le ciment fabriqué par l'Institut Ukrainien des Réfractaires (UGNIIO) qui est caractérisé par les qualités au niveau des meilleurs analogues mondiaux [tableau 6.2].

Il est connu que les caractéristiques des bétons dépendent, en grande partie, de la composition granulométrique à la bonne sélection de laquelle on attache une importance considérable [67, 73-77].

La particularité de la composition granulométrique de l'agrégat étudié, notée ci-dessus, a prédéterminé la nécessité de la corriger ce qui assurait la possibilité de diminuer la consommation du liant.

A ces fins on a broyé une partie d'agrégat et on a obtenu les fractions inférieures à 0,5 mm; dans une autre partie on a abaissé la limite supérieure de la dimension des grains d'agrégat ce qui assure, dans une certaine mesure, la nouvelle repartition de la proportion des fractions plus fines. Les compositions granulométriques des agrégats criblés et broyés sont citées dans le tableau 6.3.

On a étudié les caractéristiques des échantillons de contrôle préparés du béton qui comprend l'agrégat de composition granulométrique naturelle et le ciment à la base de l'aluminate du calcium pris dans la proportion 1:1. Les échantillons ont été fabriqués en utilisant le procédé du moulage à vibration. Les caractéristiques des bétons des compositions d'essai sont citées dans le tableau 6.4.

L'analyse des résultats des recherches sur la dépendance entre les caractéristiques des bétons d'essai et les divers facteurs technologiques a montré que:

1. La correction de la composition granulométrique assure la diminution de consommation du liant et, en même temps, les caractéristiques de résistance mécanique

suffisantes pour les bétons calorifuges (pas moins de  $2,5 \text{ N/mm}^2$ ).

2. L'introduction dans les mélanges de béton de l'agrégat de fraction inférieure à 0,5 mm assure l'augmentation considérable de résistance mécanique retenue après le traitement thermique.

3. L'agrégat en argile expansée SM combiné avec le ciment à la base d'aluminate de calcium permet d'obtenir les bétons calorifuges avec la température d'exploitation de  $1150^\circ$  (N2,3,6) et  $1250^\circ\text{C}$  (N1,4,5).

4. Les bétons mis au point, par rapport aux bétons calorifuges silico-alumineux ChTB-1,1 d'après les normes techniques russes 14-8-505-86 ont une densité apparente un peu plus élevée mais, en même temps, possèdent une densité plus grande à thermoconductivité égale.

Tableau 6.1.

**Caractéristiques de l'agrégat SM par rapport à la kéramsite fabriquée à l'usine de Bogdanovitchi (58).**

Désignations	Agrégat SM	Kéramsite
Teneur en oxydes, %		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,5	15,0
SiO <sub>2</sub>	59,4	68,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,4	6,06
CaO	5,1	2,47
MgO	3,6	4,24
TiO <sub>2</sub>	0,88	0,96
Na <sub>2</sub> O	0,8	1,42
K <sub>2</sub> O	3,24	0,74
Composition granulométrique fr., mm, %		
>7	11,6	--
7-5	31,8	--
5-3	26,5	28,4
3-2	22,7	18,8
2-1	6,4	13,1
1-0,5	1	6,7
0,5	--	33,0
Densité apparente g/cm <sup>3</sup>	0,76	0,60
Réfractarité, C	1170	1240

Tableau 6.2.

**Caractéristiques du ciment à la base d'aluminate de calcium**

Teneur en oxydes, %				Teneur en phases principales, % volum		Temps de prise, heure-min		$\sigma_{pr}$ N/mm <sup>2</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca <sub>2</sub>	Ca	début	fin	
71,3	28,0	0,46	0,24	80-85	20-25	0-55	2-10	62,1

Tableau 6.3.

**Composition granulométrique desagrégats criblé et broyé**

Matière	Composition granulométrique, %, selon fr., mm					
	5-3	3-2	2-1	<1	0,5-0,2	<0,2
Criblé	45,9	39,0	12,3	2,8	--	--
Broyé au concasseur à mâchoires	-	-	-	-	73	27

Tableau 6.4.

**Caractéristiques des bétons de compositions d'essai**

Désignation Teneur en composants en parties massiques: Agrégat, fr., mm	Composition, NN					
	1	2	3	4	5	6
<7	1	2	3	-	-	-
<5	-	-	-	1,5	2,5	4
<0,5	-	2	1	-	-	-
liant	1	1	1	1	1	1
Caractéristiques* après le durcissement à l'air pendant:						
24 heures: $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	1,61	1,33	1,24	1,54	1,32	1,08
$\sigma_{press}$ N/mm <sup>2</sup>	28,8	8,4	8,2	24,0	16,4	3,7
72 heures: $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	1,61	1,33	1,24	1,54	1,33	1,08
$\sigma_{pr}$ [ N/mm <sup>2</sup>	25,5	8,2	10,1	19,5	14,4	3,2
7 jours: P, g/cm <sup>3</sup>	1,63	1,35	1,24	1,54	1,34	1,08
Caractéristiques des échantillons après la cuisson à 1000 C pendant: 2 heures						
$\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	1,55	1,44	1,30	1,54	1,30	,08
$\sigma_{pr}$ N/mm <sup>2</sup>	8,6	7,4	8,2	12,4	3,3	2,3
$\Delta L/L$ , %	2,27	2,78	3,54	2,86	3,61	4,36
Résistance mécanique retenue, %	30	88	100	52	20	74
Réfractairité, C	1360	1260	1250	1350	1320	1250
Teneur massique en oxydes, %						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47,9	31,65		42,57	37,15	
SiO <sub>2</sub>	31,1	51,16		37,65	44,37	
CaO	16,8	10,21		14,64	12,43	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,2	6,98		5,13	6,05	
Thermoconductivité W/(mK) à la température moyenne 350°C	0,56	0,52	0,45	--	0,51	0,55
* Déterminées sur les échantillons après leur séchage jusqu' à la masse constante à la température de 110°C.						

## 7. ETUDES DES MATIERES PREMIERES ET DES PRODUITS FABRIQUES PAR "REFRACTAL"

La société "REFRACTAL" a organisé la fabrication de 4 types de mélanges pour les bétons réfractaires (designés ci-dessous bétons tout court) et de 3 types de coulis réfractaires à la base de la charlotte d'andalousite et de kaolins divers: Tamazert, DD-3 et Grise Bouteldja.

On a présenté pour l'étude 4 types de bétons et 2 types de coulis réfractaires.

Le béton B 4035 est utilisé dans les poches à fonte en qualité de couche de protection entre la couche de service et la couche de chamotte ainsi qu'en qualité de couche de protection située près de l'ouverture de remplissage de la poche. La fabrication du béton de cette marque atteint 400 tonnes par an environ, on projette d'augmenter sa production jusqu'à 1000 tonnes par an.

Le béton B 4055 est utilisé pour le revêtement des soles de vagonettes destinées à cuir les briques de construction.

L'utilisation de ce béton a abouti à la réduction du temps de service de vagonettes jusqu'à 20 rotations tandis que les vagonettes revêtues de béton importé servent jusqu'à 200 rotations.

Le béton B 4535 est utilisé pour le gunitage des parois des fours à coke. Initialement on a utilisé dans ce béton le ciment "Fondu" ayant la teneur élevée en oxydes du fer ( $Fe_2O_3$  - 12%, FeO - 4%). Vu des résultats insatisfaisants d'exploitation, il a été remplacé par le ciment "Secar-51" ayant la teneur diminuée en oxydes ferriques. Le béton a montré la bonne résistance, pourtant lors du gunitage a lieu un rebond considérable et, donc, les pertes de matériau jusqu'à 50%.

Le béton B 5035 est utilisé pour le moulage et la réparation des portes des fours à coke ainsi que pour la couche de sécurité du tundish. Le moulage des portes des fours à coke est effectuée sur la place en 3 zones selon la hauteur de la portière. Après 4 mois d'exploitation la porte se trouve en bon état.

Le coulis réfractaire C-45 est utilisé pour le maçonage des briques de source et pour remplir les joints entre les siphons et les canaux de la plaque pour la coulée en source. L'utilisation de ce coulis provoque sa fissuration et sa répartition.

A titre d'agrégat des bétons et des coulis on utilise les déchets réfractaires à haute teneur en alumine des cowpers ou des poches de coulée et qu'on nettoie à la main du métal et du laitier. On effectue ensuite le concassage, le broyage et le criblage en obtenant les poudres des fractions de 5-3, 3-1 et de moins de 1 mm. Les poudres obtenues à partir des déchets réfractaires des cowpers sont appelées "chamottes de cowper" et celles des poches de coulée - "chamotte d'andalousite". La chamotte de cowper est utilisée pour fabriquer le béton B 4035, B 4055 et B 4535 et la chamotte d'andalousite - pour fabriquer le béton B

5035 et le coulis C-45.

Un des composants de tous les bétons est le kaolin AB qui est utilisé en quantité de 5%. Comme on l'a montré dans la section 1, ce kaolin n'est pas réfractaire, il est modérément plastique et son expansion a déjà lieu à la température de 1300°C.

A titre de liant hydraulique on utilise, dans les bétons B 4035 et B 4055, le ciment "Fondu" ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  -39%, CaO -38,5%;  $\text{SiO}_2$  -4,5%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  -12%; FeO -4,0%), dans les bétons B 4535 et B 5035 - le ciment "Secar-51" ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  - 50,4%; CaO - 36,6%;  $\text{SiO}_2$  - 67,7%). Comme il est indiqué dans le prospectus de la société, le ciment "Fondu" contient les minéraux C12A7, C2S, C4AF, le ciment "Secar-51" - A1C2AS et C2S. Les minéraux principaux composant les ciments et leurs caractéristiques sont cités dans le tableau 7.1.

La prise et le durcissement du ciment c'est le processus exothermique. En pratique 1 kg de ciment portland de la marque M 300 dégage dans le béton au moins 40 Kcal en 7 jours (170 kJ) et de la marque M 400 - pas moins de 50 Kcal (210 kJ). Le dégagement maximum de la chaleur est caractéristique pour C3A, ensuite pour C3S, quant aux autres minéraux il est beaucoup moins important.

Une grande quantité de chaleur se dégage également lors du durcissement du ciment alumineux. La résistance mécanique du liant à la base de ciment alumineux qui se durcit à la température élevée diminue considérablement. Ceci est dû au changement de la structure des produits d'hydratation: les composés  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$  et  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$  sont métastables et à la température élevée peuvent vite se transformer en  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  de forme cubique.

L'agrégat principal des bétons fabriqués par la société "REFRACTAL" c'est la poudre (chamotte) qui est obtenue à la suite du concassage des matières réfractaires qui ont été exploitées dans les cowpers, les poches de coulée etc.

La fabrication de la chamotte est effectuée 1-2 fois par an et la chamotte est stockée en vrac en fraction 5-3, 3-1 et 1-0 mm dans l'atelier. Après l'épuisement du stock (6 mois environ) on fabrique de la chamotte de nouveau.

Les compositions granulométriques et chimiques des chamottes sont citées dans les tableaux 7.2 et 7.3.

Au cours du stockage on observe la dilution de certaines fractions par les autres ce qui aboutit à l'instabilité de la composition granulométrique du béton. Ainsi dans la fraction 5-3 mm la teneur en fraction principale est de 37,7 à 91%, dans la fraction 3-1 mm elle est de 64 à 77,4%, dans la fraction 1-0 mm la teneur en grains dépassant 1 mm est de 4 à 22,5%.

Quant à la composition chimique on observe dans les chamottes la teneur élevée en oxydes ferriques, en oxydes de calcium et de magnésium ce qui est dû à la migration, lors de l'exploitation, de ces oxydes dans la matière réfractaire à partir de la poussière de fusion et du laitier. Dans les poudres sont également présentes 0,06-0,10% de particules magnétiques métalliques.

L'analyse de la production a montré que pour fabriquer les produits stables quant à leur composition granulométrique il faut effectuer, avant l'utilisation, le criblage des poudres à l'aide du tamis vibrant et la séparation magnétique pour séparer les inclusions magnétiques métalliques dont la présence aboutira à la diminution de la stabilité des blocs.

Les résultats des études des bétons fabriqués sont cités dans le tableau 7.4.

L'analyse de composition du béton effectuée par la méthode chimique et celle des calculs se distinguent peu.

] La réfractarité des bétons fabriqués avec l'utilisation du ciment "Fondu" est considérablement plus basse que lors de l'utilisation du béton "Secar" (1420-1460°C par rapport à 1635-1720°C). La composition granulométrique est également très instable. Dans l'échantillon B 5035 on observe la baisse de la teneur en CaO ce qui est dû probablement au dosage insuffisamment précis des composants de base du béton.

Le mélange de béton de la marque 4035 est composé de grains de dimensions irrégulières. On observe les grains d'agrégat ayant des dimensions de 0,85-3,4 mm (dimension maxima - 7 mm) et la masse à grains fins.

Les sections de l'agrégat représentent, en règle générale, la chamotte (pas plus de 40%  $Al_2O_3$ ) et sont composées de mullite en aiguille ayant les dimensions inférieures à 4  $\mu$ , max 6  $\mu$  et de phase vitreuse (1:1). On rencontre les grains isolés de chamotte de mullite composés essentiellement de cristaux de mullite ayant les dimensions de 4 à 12  $\mu$  max. 20  $\mu$  et de phase vitreuse (10-12%). Dans les sections de chamotte on observe les grains de quartz ayant les dimensions jusqu'à 0,3 mm. Sont également présents les grains isolés de carbonates (calcite, dolomie). Dans la fraction fine (inférieure à 0,06 mm) on observe, en petite quantité, les fragments de chamottes. On observe en outre les agrégats de matières argileuse en forme arrondie, ovale ayant les dimensions de 40 à 80  $\mu$ . Sont également présents le quartz, les carbonates. Mais la masse principale de la fraction fine comprend les agrégats des phases de ciment ayant les dimensions de 4-80  $\mu$ , max 150  $\mu$ .

Parmi les phases de ciment c'est CaO.  $Al_2O_3$  qui domine. Ce dernier forme les cristaux isométriques prismatiques ayant les dimensions 4-12  $\mu$ , max. 20  $\mu$  avec les indices de réfraction de la lumière quelque peu élevés (Ng jusqu'à 1,67) ce qui est dû probablement à la pénétration dans la grille de  $CaO.Fe_2O_3$  en forme de solution solide en petite quantité. On observe  $\alpha$ - $5CaO.2Al_2O_3$  ( $C_{12}A_7$ ) en petite quantité qui forme les cristaux bleus ayant les dimensions jusqu'à 10  $\mu$ . Sont également présents les méliilites ( $2CaO.Al_2O_3.SiO_2 - 2CaO.FeO.2SiO_2$ ) qui forment les cristaux plastiques, allongés, subparallèles ayant les dimensions jusqu'à 4-30  $\mu$ . Dans les espaces intergranulaires situés entre les cristaux de CA et les méliilites on observe la magnétite ( $Fe_2O_3.Fe_2O$ ), la brown-millérite ( $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ ), les ferrites de calcium ( $CaO.Fe_2O_3$  et  $2CaO.Fe_2O_3$ ), les pyroxènes (dont N est proche de hédenbergite) etc. La proportion quantitative des composants est citée dans le tableau 7.5.

Le mélange du type B 4055 est analogue à B 4035 quant à sa composition granulométrique et minéralogique.

L'échantillon du mélange du type B 4535 se distingue de celui de 4035 par sa composition minéralogique.

a) parmi les grains de l'agrégat prédominent les grains composés de cristaux d'andalousite ayant les dimensions jusqu'à 0,7 mm. En quantité subordonnée sont présents les grains composés de millite (jusqu'à 6  $\mu$  de dimension) et de phase vitreuse, probablement l'andalousite dégénérée;

b) parmi les phases de ciment on observe la quantité un peu plus élevée de  $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . Le dernier à les indices normaux de la réfraction de lumière ( $N_g - 1,663$ ),  $\alpha - \text{C5A3}$  et la magnétite sont absents, la quantité des phases ferrugineuses est un peu plus faible.

Echantillon 5035. Par sa composition granulométrique et minérale il ressemble à celui de 4535, il se distingue par la quantité d'andalousite un peu plus élevée.

La proportion quantitative approximative des composants dans les mélanges des bétons est citée dans le tableau 7.6.

Les recherches mentionnées ci-dessus témoignent de la présence dans tous les échantillons du quartz ainsi que des grains de carbonates (calcite, dolomie). Il est nécessaire d'éclaircir la question d'où ces matériaux ont pénétré dans les bétons. C'est la présence des carbonates dans les bétons qui est la plus indésirable car à la température de l'exploitation auront lieu leur décomposition suivie de l'hydratation de CaO avec l'augmentation du volume, ce qui aboutira à la destruction du béton.

Les recherches sur la fabrication du béton sans argile ont été effectuées.

Les échantillons ont été moulés sur le plateau vibrant en forme de cubes ayant les dimensions de 50x50x50 mm. Les échantillons fabriqués ont été maintenus dans les conditions humides pendant 72 heures. Ensuite les échantillons ont été séchés à la température de 100-110°C jusqu'au poids constant et cuits à la température de 800°C, 1000°C et 1400°C avec le maintien à température finale pendant 4 heures. Les caractéristiques des échantillons et leurs propriétés sont citées dans le tableau 7.7.

Les échantillons avec le supplément de l'argile ont une porosité plus élevée et une densité plus faible que ceux sans argile.

La résistance mécanique des échantillons de béton ou l'argile est présente est un peu plus faible. Ceci est dû au fait que les impuretés pulvérulentes et surtout argileuses créent sur la surface des grains d'agrégat une pellicule qui empêche leur liaison avec la pierre de ciment. A la suite de cela la résistance mécanique diminue (parfois de 30-40%). Il est inadmissible de corriger cette diminution en augmentant le débit du ciment [56].

L'analyse de la littérature et des instructions technologiques a prouvé qu'aux températures de chauffage de 1100-1300°C il faut utiliser le béton réfractaire à la base du

ciment alumineux pour les constructions des appareils thermiques. A des températures plus basse il est inutile d'utiliser ce type de béton à cause de sa résistance mécanique minimale dans un grand intervalle de température allant de 500 à 1000°C. Pour la température inférieure à 1000°C les bétons à ciment portland ou bien à verre liquide sont plus efficaces [55].

Les compositions et les caractéristiques d'échantillons à verre liquide sont citées dans le tableau 7.8. Les données mentionnées montrent que ces bétons ont les caractéristiques de résistance (25-35 N/mm<sup>2</sup>) et la thermostabilité élevées à des températures de chauffage jusqu'à 1000°C.

Les ciments font diminuer les caractéristiques réfractaires des bétons silico-alumineux à cause de la formation des composés facilement fusibles dans le système Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> - CaO, c'est pourquoi leur contenu dans les bétons doit être minimum.

Les compositions recommandées pour les températures d'exploitation de 1300-1500°C sont citées dans le tableau 7.9, pour l'exploitation aux températures de 900-1200°C - dans le tableau 7.10. Ces compositions sont largement utilisées dans les pays de la CEI.

L'analyse a montré que:

1. Il est nécessaire de stocker les chamottes dans les silos ou bien de les cribler, avant l'utilisation sur le tamis à vibration, ce qui permettra de conserver la composition granulométrique désirée.

2. Il faut faire passer les poudres à travers le séparateur magnétique pour évacuer les particules magnétiques.

3. Changer les fractions de base des matériaux et utiliser les fractions de 6-3, 3-0,5 et inférieure à 0,5 mm.

4. Exclure l'utilisation du kaolin Ain Barbar car elle aboutit à la diminution des caractéristiques de résistance et, en outre, à l'expansion à des températures dépassant 1300°C.

5. Eclaircir les voies de pénétration des calcites et des dolomies dans les masses de béton et les éliminer.

6. Se renoncer au gunitage des parois des batteries à coke par le béton B 4535, car le chauffage brusque du béton ne permet pas aux caractéristiques du ciment de se manifester. Utiliser pour le gunitage les compositions indiquées dans le chapitre 5.

7. Pour le revêtement des vagonnettes des fours à tunnel utiliser les compositions recommandées dans le tableau 7.10.

Tableau 7.1.

**Minéraux principaux des ciments utilisés pour la fabrication des bétons réfractaires.**

Minéraux principaux	Symboles	Température de fusion C.	Présence des minéraux dans les ciments		
			ciment portland	ciment aluminé	ciment à haute teneur en alumine
3 CaO SiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S	2070	+	-	-
2 CaO SiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S	2130	+	-	-
4 CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> AF	1415	+	-	-
3 CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A	1535	+	-	-
5 CaO 3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (C1 2A7)	C <sub>5</sub> A <sub>3</sub>	1455	-	+	-
CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CA	1600	-	+	+
3 CaO 5Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A <sub>5</sub>		-	+	-
CaO 2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CA <sub>2</sub>	1900	-	-	+

**Composition granulométrique des fractions étroites de chamotte.**

Désignation de la matière, fractions, mm	Teneur en fractions, mm, %					
	>5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	<0,5
Chamotte de cowper avec la teneur en $Al_2O_3$ 38-48% fraction:						
5-3 mm	0,2	91,0	7,4	1,1	0,1	0,2
3-1 mm	-	8,0	25,2	52,2	9,2	5,4
1-0 mm	-	1,5	6,0	15,0	26,5	51,0
Chamotte d'andalousite fraction:						
5-3 mm	-	55,3	38,5	6,2	-	-
3-1 mm	-	-	5,5	58,5	29,5	6,5
1-0 mm	-	-	1,4	10,2	30,7	57,7
Chamotte avec la teneur en $Al_2O_3$ 70-90% fraction:						
5-3 mm	-	37,7	36,0	9,0	4,7	12,6
3-1 mm	-	0,1	11,2	61,0	26,8	0,9
1-0 mm	-	0,2	0,3	3,5	28,0	68,0

Tableau 7.3.

Composition chimique des chamotte obtenues à partir des déchets réfractaires.

Désignation de la matière, fractions, mm	Teneur en composants, %									Pert es au feu	Refrac tante C
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe O	Ca O	Mg O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O		
<b>Chamotte de cowper avec la teneur en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 38-48% fraction:</b>											
5-3 mm	42,83	48,66	1,62	1,58	0,30	2,05	1,93	0,74	0,12	2,0	1670
3-1 mm	45,54	47,56	1,49	1,70	0,66	1,41	1,19	0,31	0,14	0,8	1690
1-0 mm	45,28	46,91	1,42	1,80	0,58	2,15	1,40	0,32	0,14	1,6	1700
<b>Chamotte d'andalousite fraction:</b>											
5-3 mm	55,21	40,11	0,62	1,30	0,29	0,44	1,60	0,30	0,13	0,2	1820
3-1 mm	61,66	33,9	0,54	1,34	0,29	0,44	1,47	0,24	0,12	0,4	1830
1-0 mm	54,15	40,07	0,58	1,47	0,29	1,69	1,48	0,17	0,10	1,4	1770
0,2 mm	55,87	39,56	0,51	1,47	0,22	0,40	1,59	0,26	0,12	1,4	1770
	56,72	38,41	0,56	1,39	0,27	0,75	1,54	0,24	0,12		
<b>Chamotte avec la teneur en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 70-90% fraction:</b>											
5-3 mm	76,22	16,52	3,02	1,60	0,43	0,50	1,19	0,42	0,10	0,2	1800
3-1 mm	76,70	15,70	3,09	1,40	0,66	0,33	1,53	0,49	0,10	0,2	1830
1-0 mm	73,84	18,18	3,01	1,70	0,58	0,68	1,43	0,49	0,10	0,2	1790
	75,59	16,8	3,04	1,57	0,55	0,50	1,38	0,47	0,10		

**Caractéristiques des bétons fabriqués**

Désignations	Type de béton			
	4035	4055	4535	5035
Composition de béton, %				
Chamotte de cowper	80	70	75	-
Chamotte d'andalousite	-	-	-	80
Kaolin Ain Barbar	5	5	5	5
Ciment Fondu	15	25	-	-
Ciment Secar-51	-	-	20	15
Composition chimique, %:				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	41,68*	40,29	47,07	55,15
	42,74**	42,18	44,74	54,20
	43,35	41,83	44,37	50,47
SiO <sub>2</sub>	43,73	41,81	39,33	36,23
	42,11	37,79	40,39	34,95
	40,43	36,26	38,79	34,24
TiO <sub>2</sub>	2,03	2,06	1,86	1,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,35	4,13	1,89	1,94
	3,95	5,11	2,24	1,58
	4,53	5,63	2,79	2,06
FeO	0,70	0,79	0,36	0,61
CaO	7,50	9,77	8,88	4,52
	7,31	11,07	8,76	6,13
	6,31	10,10	7,83	7,67
MgO	0,47	0,59	0,36	0,36
K <sub>2</sub> O	0,47	0,48	0,17	0,13
Na <sub>2</sub> O	0,07	0,08	0,08	0,06
Pertes au feu	1,0	0,8	2,8	1,3
Composition granulométrique fr., mm, %:				
plus de 5	0	0,1	15,5	0
5-3	29,5	22,9	7,2	11,0
3-2	11,6	12,6	13,8	21,2
2-1	3,9	4,2	10,1	10,7
1-0,5	13,9	10,6	12,6	14,8
0,2-0,09	7,2	4,8	5,5	7,0
<0,09	22,5	34,5	18,5	16,3
Réfractairite, C	1460	1420	1635	1720
Résistance mécanique à compression après le maintien dans le milieu humide pendant 72 heures, N/mm <sup>2</sup>	24,1	19,3	17,5	10,7
* Composition calculée de l'Institut des Réfractaires				
** Composition calculée de "REFRACTAL"				

Tableau 7.5.

**Proportion quantitative approximative des composants dans les échantillons de ciment**

Teneur, %	Phases de ciment	
	échantillons 4035 et 4055	échantillons 5035 et 4535
CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50-60	70-75*
CaO 2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	1-3
Méililites	7-10	7-10
Magnétite	6-9	faible
Brown-millérite (4CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	7-10	6-8
Ferrites de calcium (CaO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), (2CaO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		
Pérowskite (CaO TiO <sub>2</sub> )	3-5	2-3
Thialite (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub> )		
Carbonates (principalement CaCO <sub>3</sub> , Ca,Mg) CO <sub>3</sub>	3-4	1-3
a-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ou CaO <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	jusqu'à 1	1-2
Pyroxène du type de hédénbergite (CaO FeO 2SiO <sub>2</sub> )	3-5	5-7
Herzénite	jusqu' à 1	1
Phase vitreuse	1-2	1-2

\* La présence de 5% environ de 2 CaO SiO<sub>2</sub> est possible

Tableau 7.6.

**Proportion quantitative approximative des composants, %, dans les échantillons de béton**

Echantillon	Teneur, %					
	Chamotte (mullite + phase vitreuse)	Andalousite	Quartz	Minéraux argileux	Carbonates	Phases de ciment
4035	70-75	-	2-4	4-6	2-3	15-20
4055	65-70	-	2-4	4-6	2-3	20-25
5035	20-30	30-50	2-4	4-6	2-3	20-25
45-35	50	20-30	2-4	4-6	1-3	15-20

**Composition et caractéristiques des échantillons**

Type de chamotte	Composition NN			
	1	2	3	4
	cowper	cowper	andalousete	mullite et corindon
Teneur en fractions, mm, %	15	10	15	15
5-3				
3-1	30	20	30	30
1-0	25	40	25	25
<0,06	15	-	15	15
Ciment	15	25	15	15
Kaolin	-	5	-	-
Caractéristiques des échantillons:				
Porosité ouverte, %:				
- après la cuisson à 1100° C	28,3	31,8	26,9	30,0
à 1400°C	29,6	34,0	28,9	23,5
Densité de apparente, g/cm <sup>3</sup> :				
-après la cuisson à 1100 C	2,00	1,93	2,15	2,22
-1400 C	1,99	1,89	2,11	2,49
Résistance mécanique sous pression, N/mm <sup>2</sup> :				
- après le séchage à 100 C	35,9	31,2	44,0	21,1
- après la cuisson à 800 C	23,5	21,4	19,5	12,9
- 1100 C	9,45	11,6	9,95	12,5
- 1400 C	22,4	22,4	34,6	41,7
Thermostabilité (800 C-l'eau), cycles				
-- après la cuisson à 800 C	5	6	>17	>17
- 1100 C	4	9	>19C	>19
- 1400 C	>15	>15	>15	>15

Tableau 7.8.

**Composition et caractéristiques des échantillons de bétons à verre liquide (57)**

Composition, %	Caractéristiques
Déchets de briques de chamotte, fractions 5-0,5 mm	65
Déchets de briques de chamotte, fractions 0,5 mm	35
Verre liquide de densité de 1,37-1,38 g/cm <sup>3</sup>	15,3
Sodium silicofluore	1,5
Résistance mécanique en fonction de la température de chauffage, N/mm <sup>2</sup>	
20 C	10,1
100 C	25,8
200 C	34,6
400 C	35,7
600 C	34,3
800 C	31,3
1000 C	32,0
Cycles à l'air à partir de 800 C, après 25 cycles la résistance mécanique diminue de, %	0,5
Thermostabilité (800 C-l'eau), cycles	11
Température du début de ramollissement sous charge de 0,2 N/mm <sup>2</sup> , C	1210

Tableau 7.9.

**Compositions des bétons recommandées pour les conditions diverses d'exploitation.**

Composition, NN	Teneur en composants, %	Température max d'utilisation, C.	Réfractarité		Thermostabilité (800 l'eau), cycles	Température de déformation sous charge de 0,2 N/mm <sup>2</sup> , de 4%	Masse volumique, kg/cm <sup>3</sup>
			liant	béton			
27 Chamotte à 30%							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> grosse	40%						
fine	40%						
ciment alumineux	20%	1300	1450	1500	15	1250	1900
29 Chamotte à 60%							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> grosse	40%						
fine	42%						
ciment alumineux	18%	1400	14500	1600	10	1350	2300
31 Chamotte à 62%							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> grosse	37%						
fine	45%						
ciment à haute teneur en alumine	18%	1500	1690	1770	20	1400	2200

**Composition des bétons recommandées pour l'exploitation dans les vaquettes des fours à tunnel.**

Composition NN	Matériau utilisé dans le béton				Température max d'utilisation de béton	Réfractarité C.		Thermosabilité (800 C-eau). cycles	Température de déformation sous charge de 0,2 N/mm <sup>2</sup> de 4%
	liant	agent de durcissement	agrégat	addition finement broyée		liant	béton		
9	ciment-portland	-	En brique de construction	En brique de construction	900	1050	1200	10	950
11	ciment-portland	-	Déchets des briques de chamotte Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -30%	Déchets des briques de chamotte Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -30%	1100 - 1200	1300	1550	15	1150
15	Verre liquide	Sodium silicofluore	Déchets des briques de chamotte Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -30%	Déchets des briques de chamotte Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -30%	1000	1400	1550	12	1000

## COULIS

On a étudié deux types de coulis: C 45-1 et C 45-2. Les résultats obtenus sont indiqués dans le tableau 7.11.

Ces coulis possèdent une refractairité élevée, de hautes pertes au feu et sont très fins.

On dispose d'une grande expérience dans le domaine de l'utilisation des coulis pour le maçonnerage de différentes réfractaires dans les fours. On constate qu'au cas où la teneur en fraction fines et l'épaisseur des joints sont élevées, le coulis au cours de séchage, commence à se fissurer, lie mal les briques et le briquetage se caractérise par une perméabilité au gaz excessive. (voir tableau 7.12).

Les dimensions maxima des grains du coulis sont déterminées par les normes de l'épaisseur des joints du briquetage auquel ce coulis est destiné. Il faut observer la proportion suivante:

Dimension maxima des grains du coulis, mm	Epaisseur admissible des joints de briquetage
0,5	0,5
0,75	1,0
1,00	1,5-2
1,50	2,0-3,0

Les données citées montrent que la diminution de la teneur en kaolin, le grossissement des grains du coulis jusqu'aux dimensions limites 0,5 et 1,0 mm permettent de diminuer considérablement le rétrécissement du coulis par séchage et par cuisson. On peut diminuer le rétrécissement en baissant la teneur en argile, en fraction fine et en eau.

On peut obtenir une baisse considérable de la teneur en eau du coulis ainsi que la baisse de son rétrécissement par séchage en y mettant les plastifiants. Les résultats des expériences effectuées sont présentés dans le tableau 7.13. La mise des plastifiants, comme on le voit dans le tableau, permet de diminuer la teneur en eau de la solution du coulis presque de deux fois.

Ainsi, en tenant compte des résultats des recherches effectuées aussi bien que de l'expérience de la fabrication des coulis aux usines de réfractaires de l'ex-USSR, il faut, pour assurer l'utilisation efficace des coulis au cours de la pose des siphons à chamottes, prendre les mesures suivantes:

- utiliser les grains de la chamotte plus grands (le résidu sur le tamis de 0,5 mm doit être inférieure à 5% , sur le tamis de 0,09 mm - de 10 à 40%.

- utiliser, au cours de la fabrication du coulis, les plastifiants le tripolyphosphate de sodium ou bien la solution aqueuse de lignosulphonate de sodium et de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (voir annexe N2);

- diminuer la quantité du kaolin mise dans le coulis jusqu'à 15 - 20%;

- n'utiliser au cours de la fabrication que les kaolins TF-3 ou DD-4 à haute plasticité.

Tableau 7.11.

La composition et les caractéristiques des colis.

Indices	Type de colis	
	C 45-1	C 45-2
Composition du colis:		
Andalousite, %	Z0	Z0
Caolin, type, %	TF-3:30	DD-3:30
Composition, %		
$\text{Al}_2\text{O}_3$	47,68	54,46
$\text{SiO}_2$	47,20	41,29
$\text{TiO}_2$	0,92	1,13
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,68	1,40
FeO	0,63	0,29
CaO	0,63	0,44
MgO	0,56	0,67
$\text{K}_2\text{O}$	0,59	0,24
$\text{Na}_2\text{O}$	0,08	0,08
Pertes au feu, %	4,1	3,9
Refractairité, C	1710	1710
Composition granulométrique du colis, fractions, %:		
supérieure à 0,5 mm	0,2	0,6
supérieure à 0,2 mm	4,3	6,2
de 0,2 à 0,09 mm	23,8	27,2
inférieure à 0,09 mm	71,7	66,0

Tableau 7.12

**Influence de la composition des colis sur le rétrécissement par séchage et par cuisson.**

Matière première NN	Composition des matières premières, %						Rétrécissement		
	Coulis		Andalousite, mm			Kaolin DD-3	100C	800C	1400 C
	C 45-1	C45-2	<1	<0,5	<0,2				
1	100						4,9	0,2	1,8
2		100					4,1	0,2	1,3
3					70	30	4,1	0,2	2,0
4					77,5	22,5	2,2	0,2	1,5
5					85	15	2,7	0,2	0,9
6					92,5	7,5	2,1	0,2	0,9
7				25	60	15	1,5	0,2	1,0
8			20		65	15	1,3	0,2	0,9

Tableau 7.13

**Influence de la mise des plastifiants sur la baisse de la teneur en eau du colis.**

NN	Composition du coulis			NN du plastifiant, % en plus de 100% du coulis		Quant ité de l'eau, ml	Dimensions de la tache d'eau repandue, mm	Humidité %
	Coulis C-45-1	Andalous ite de moins de <200 µ	Kaolin DD-3	1	2			
1	100	-	-	-	-	172	110	35,6
2	100	-	-	0,2	-	105	110	25,6
3	100	-	-	-	1,0	114	110	28,1
4	-	85	15	-	-	156	104	33,4
5	-	85	15	0,2	-	72	139	20,0
6	-	85	15	-	1,0	110	104	27,0

\* Tripoliphosphate du sodium, standard de l'URSS 13493-77

\*\*Plastifiant à la base de lignosulfonate du sodium et de hydrocarbonate de sodium (voir annexe 2).

## 8. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.

1. On a examiné les kaolins algériens. Les kaolins bruts des types DD-4, DD-3 et le kaolin traité du type TF-3 sont réfractaires, de haute pureté, de haute plasticité, ils peuvent être utilisés pour la production de la chamotte aussi bien qu'en qualité de liants pour fabrication des réfractaires ou bien en qualité de composant pour la fabrication des coulis.

Le kaolin brut du type AB est non-réfractaire, de plasticité moyenne, il contient une quantité considérable d'impuretés. Ce type de kaolin n'est pas recommandé pour la fabrication des réfractaires.

2. On a constaté que c'est la halloysite à différents degrés de l'hydratation, à différentes dimensions de cristaux (depuis les plus petits jusqu'à la longueur de  $0,05 \text{ à } 6 \mu$  et ayant le diamètre de  $0,008 \text{ à } 0,2 \mu$ ) qui est le composant argileux principal des kaolins DD-4, DD-3, TF-3.

On a déterminé les limites de cuisson des kaolins:  $1350 \text{ à } 1500^\circ\text{C}$  pour le kaolin DD-4,  $1350 \text{ à } 1550^\circ\text{C}$  pour le kaolin DD-3,  $1350\text{-}1500^\circ\text{C}$  pour le kaolin TF-3. Ces types de kaolins ont l'intervalle optimum de cuisson de  $150 \text{ à } 200^\circ\text{C}$ .

4. Au cours des expériences dans le domaine de cuisson des kaolins dans l'état brut sous forme de morceaux (DD-3, DD-4) ou bien sous formes de cylindres (TF-3) aussi bien que d'échantillons fabriqués en kaolins à l'aide du façonnage plastique et demi-sec, on a constaté qu'il est préférable et rationnel, du point de vue économique, de fabriquer la chamotte en cuisant les morceaux bruts des kaolins DD-3 et DD-4 aussi bien que le kaolin TF-3 sous forme de cylindres.

Pour fabriquer la chamotte à partir des morceaux brut du kaolin, il faut séparer les grains inférieurs à  $5 \text{ mm}$  en tamisant, puis les moule et utiliser comme composant pour la fabrication des coulis et, après cela, comme composant pour produire le composant fin de la matière première des réfractaires qui est le mélange de la chamotte et du kaolin moulus ensemble.

Cette façon d'utiliser les grains inférieurs à  $5 \text{ mm}$  rendra le schéma technologique de la fabrication de la chamotte plus simple, c'est-à-dire cela permettra de renoncer à installer l'équipement supplémentaire de mélange et de pressage.

5. On recommande d'effectuer le chamotage dans un four à tunnel ou dans un four à sole mobile. L'utilisation de ce type d'équipement pour le chamotage permettra d'observer le volume nécessaire de la consommation de la chamotte. A notre avis, l'installation d'un four rotatif à chamotage, n'est pas rationnel parce que cela menerait à la nécessité d'investissements importants, hausserait les pertes du kaolin à cause de la poussière qui serait emportée au cours de chamotage ce qui menerait à la pollution de la nature.

6. On a fait une revue analytique des conditions de l'exploitation, des constructions et des matériaux réfractaires utilisés pour la fabrication des portes des fours à coke. On a

indiqué les constructions optima des portes des fours à coke et les compositions optima des bétons pour leur fabrication.

A notre avis, la meilleure solution pour "REFRACTAL" est de fabriquer les blocs pour les portes des fours à coke en bétons réfractaires ce qui permettra de mécaniser le procédé de leur fabrication et d'améliorer leur qualité (après cela ils doivent être transportés et montés sur place). Les constructions proposées dans le présent rapport permettent de simplifier considérablement l'assemblage des blocs sur les portes, de les installer d'une façon autonome et, le cas échéant, de remplacer n'importe quel bloc de la porte. Afin de fabriquer les blocs en béton pour les portes, nous recommandons d'utiliser la chamotte aux grains inférieure à 10 mm, avec la teneur en  $Al_2O_3$  de 38 à 60%, en utilisant comme liant le ciment à haute teneur en alumine en quantité de 18%. La résistance mécanique sous pression de ces types du béton est de 20 à 30 N/mm<sup>2</sup>.

7. On a analysé la composition des matériaux employés pour la réparation du revêtement des fours à coke. Il est indiqué que les grains de la gunite ne doivent pas dépasser la dimension de 1 à 2 mm pour diminuer des pertes des matières au cours du gunitage de différents éléments des fours à coke.

On recommande le béton à guniter contenant de 20 à 35% de la fraction de 1 à 0,5 mm et de 25 à 40% de la fraction inférieurs à 0,09 mm (le reste est la fraction de 0,5 à 0,09 mm) avec l'utilisation de la solution en eau de 15% de  $H_3PO_4$  en qualité de liant.

8. On a déterminé la composition granulométrique et chimique des chamottes produites à partir des déchets des réfractaires de Cowper, des poches à acier, etc. On a montré que le stockage de différentes fractions des matériaux en vrac mène au changement de la composition granulométrique, à ce que certaines fractions se mélangent à d'autres ce qui ne permet pas par la suite d'observer la composition granulométrique des bétons. La présence des parcelles des métaux dont la quantité atteint 0,06% dans la chamotte est aussi inadmissible car cela mène à la diminution de la résistance au cours de l'utilisation à de hautes températures dans le milieu réducteur.

Afin d'éliminer les défauts susmentionnés, nous recommandons ou bien d'installer les récipients pour le stockage des matériaux, ou bien de séparer les fractions des matières premières à l'aide de tamis à vibration avant leur utilisation, après quoi faire passer la matière à travers le séparateur magnétique pour séparer les parcelles magnétiques de métaux de la chamotte.

Outre cela, nous recommandons d'utiliser pour la fabrication du béton les fractions de 5 à 3, de 3 à 0,5 et inférieurs à 0,5 mm au lieu des fractions de 3 à 1 et inférieurs à 1 mm. Cela permettra d'observer strictement le pourcentage des fractions fines dans les bétons ce qui mène à l'augmentation de leur qualité.

9. Il est inadmissible d'utiliser le kaolin pour la fabrication des bétons car cela mène à la diminution de la résistance mécanique du béton à cause de l'enveloppement des grains

de la chamotte et de l'apparition d'une pellicule qui empêche le contact étroit entre les grains de la chamotte et le corps de ciment. La présence du kaolin Ain Barbar, dont l'expansion a lieu à 1300° a une influence particulièrement négative sur la qualité du béton au cours de son utilisation à des températures dépassant 1200°C.

10. Nous croyons que l'utilisation du béton B-4535 pour le gunitage des murs des fours à coke n'est pas rationnelle. C'est lié à ce que, pour que le béton à liant hydraulique atteigne une haute résistance mécanique, il est nécessaire que le béton se trouve dans les conditions de l'humidité pendant 72 heures environ ce qui n'est pas réalisable au cours du gunitage. Outre cela, pour diminuer le rebond des matériaux au cours du gunitage, il faut diminuer la dimension limite des grains, augmenter la teneur en composant fin et employer les additions favorisant l'adhésion.

Les recommandations concernant la composition du béton à guniter sont indiquées au paragraphe 7.

11. On peut augmenter la longévité du revêtement de la sole des wagonnettes à cuire les briques de construction en prenant les mesures suivantes:

- ne pas utiliser le kaolin pour la fabrication du béton B-4055;
- utiliser les déchets des produits de chamotte contenant environ 30% de  $Al_2O_3$  ou bien utiliser partiellement même les déchets des briques de construction;
- utiliser le verre liquide pour la fabrication du béton.

Les compositions recommandées des bétons sont indiquée dans le tableau 7.10..

12. Dans la composition des bétons B-4035 et B-5035, il faut éliminer le kaolin et augmenter la teneur en fraction inférieure à 0,5 mm. La teneur en chamotte de la fraction inférieure à 0,5 mm et en ciment de la fraction inférieure à 0,09 mm doit atteindre ensemble de 30 à 35%. Cette proportion des fractions grosses et fines permettra d'améliorer la qualité du béton.

13. L'utilisation des coulis C 45-1 et C 45-2 pour la pose des siphones à couler mène, au cours de séchage, à l'apparition des fractures, à ce que le coulis perd la résistance mécanique et se répand.

On recommande de prendre les mesures suivantes:

- utiliser les grains de la chamottes plus grands (le résidu sur le tamis de 0,09 mm doit être de 10 à 40%, sur le tamis de 0,5 mm - doit être inférieure à de 5%);
- utiliser au cours de la fabrication du coulis, les plastifiants (la solution en eau du lignosulphonate du sodium et de  $Na_2 CO_3$ ) ou le tripolyphosphate du sodium, ce qui permettra de diminuer considérablement (presque de deux fois) l'humidité du coulis au cours de la prise;
- diminuer la quantité du kaolin qu'on met dans le coulis à 15 - 20%, en utilisant le kaolin TF-3 ou DD-4 de haute plasticité.

Les mesures susmentionnées permettrons de diminuer le rétrécissement par

séchage du coulis et d'améliorer très considérablement les indices concernant son utilisation.

14. On a fait des recherches et on a élaboré la composition des bétons isolants à la base de l'argile expansée SM, fabriqués avec l'utilisation du ciment à haute teneur en alumine. La température maximum de l'utilisation des bétons à composition élaborée atteint de 1100 à 1150°C.

15. On a organisé 2 stages pour les spécialistes algériens (4 personnes). La durée de chaque stage était d'une semaine. On a visité des usines des réfractaires et pris part à ix essais.

16. On a fourni à REFRACTAL l'équipement de laboratoire: une balance technique, une étuve et une colonne de tamis à vibration.

## 9. RECOMMANDATIONS SUR LE DEVELOPPEMENT DE LA PRODUCTION DES REFRACTAIRES PAR "REFRACTAL".

1. Conformément aux résultats des recherches effectuées organiser la fabrication de la chamotte à partir des kaolins du pays visant à fabriquer après cela de différentes fractions des chamottes à la base de mullite et de silice à l'aide de broyage, moulure et tamisage.

2. Organiser la fabrication des blocs en bétons réfractaires pour la construction des portes des fours à coke, des puits à chauffage, etc.

3. Organiser la fabrication du béton isolant à la base de l'argile expansée SM et des ciments.

4. Organiser la fabrication du coulis contenant de 60 à 70% de  $Al_2O_3$  pour le maçonnerage des poches à fonte et des poches à acier dont le revêtement est en réfractaires à la base de mullite et de silices, à la base de mullites et à celle de mullite et de corindon.

5. Fabriquer le béton réfractaire à partir de la chamotte à la base de mullite et de corindon contenant de 70 à 80% de  $Al_2O_3$  et du ciment à haute teneur en alumine pour la pose et la réparation à chaud des poches à fonte.

6. Organiser la fabrication des produits en chamotte, en mullite et silice, aussi bien qu'en mullite à partir des kaolins algériens et à partir d'autres matières.

## ANNEXE 1

Standard d'Etat de l'URSS 21216.0-81

Matières premières argileuses

Exigences générales pour les méthodes de l'analyse

Extraits

1. Le standard présent se répand sur les matières premières argileuses pour l'industrie céramique et fixe des exigences générales pour les méthodes de l'analyse.

2. La méthode de la sélection et de la préparation des échantillons pour l'analyse - d'après le standard de l'URSS GOST 3226-77.

3. Pour les analyses chimiques on mélange l'échantillon, diminue sa masse jusqu'à la grandeur supérieure à 200 g, le sèche pendant 1 heure à la température de 105-110°C et le broie à la main dans un mortier d'agate ou de jaspe ou bien de méthode mécanique jusqu'à la dimension des parcelles passant par un tamis avec un filet N 0063 d'après le standard 6613-78, le sèche à la température de 105-110°C jusqu'à la masse constante et le garde dans un dessiccateur.

4. On diminue l'échantillon pour les analyses physico-mécaniques jusqu'à la masse supérieure à 5 kg.

5. On prend les mesures parallèlement au moins dans deux doses.

6. Pour le résultat définitif des essais on prend la moyenne arithmétique des résultats de deux fixations parallèles.

7. Le pesage des spécimens se fait avec une erreur qui ne dépasse pas 0,0002 g pour l'analyse chimique et de 0,02 g pour l'analyse physique.

8. En faisant l'analyse et en préparant des solutions on emploie des réactifs du niveau "pur pour l'analyse" ou supérieur et de l'eau distillée d'après le standard GOST 6709-72.

9. Dans l'expression "étendue 1:1, 1:2" etc les premiers chiffres signifient les parties de volume d'acide ou d'alcali, les deuxièmes - les parties de volume d'eau.

10. Les expressions "eau chaude" ou bien "solution chaude" signifient que la liquide a la température de 60-80°C, et "eau froide" ou "solution froide" - 40-50°C.

Standard d'Etat de l'URSS 21216.1-81

Matières premières argileuses

Méthode de mesurer la plasticité

Extraits

Le standard présent se répand sur les matières premières argileuses pour l'industrie de la céramique et fixe la méthode de la détermination de la plasticité des matières premières argileuses.

La méthode est basée sur la fixation de la différence des humidités de la masse argileuse correspondant à la limite inférieure de la fluidité et celle du roulement.

### 1. Exigences générales.

1.1. Des exigences générales pour la méthode de la détermination de la plasticité des matières premières argileuses - d'après le standard 21216.0-81.

### 2. Equipement.

2.1. Pour l'exécution des essais on emploie:

- balance de laboratoire;
- étuve garantissant la température de chauffe 105-110°C;
- lampe infra-rouge à la puissance de 500 W avec un réflecteur intérieur à miroir;
- lampe électrique de table à la puissance au moins de 100 W;
- dessiccateur d'après le standard GOST 6371-73;
- tamis au filet 05 d'après le standard 3584-73;
- calice de porcelaine d'après le standard 9117-73;
- mortier de porcelaine avec un pilon d'après le standard 9147-73;
- creusets de porcelaine d'après le standard 9147-73;
- petite verres pour le pesage d'après le standard 7148-70;
- spatule avec un embout; la forme de la spatule n'est pas réglementée par le standard. L'embout représente un coin tronqué découpé de l'acier nickelé ou inoxydable à l'épaisseur de 1-1,5 mm, aux paramètres:

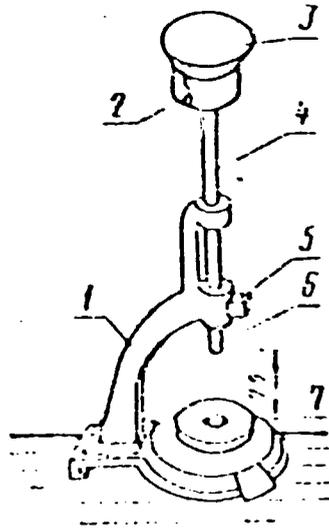
hauteur - 17-20 mm

largeur dans le sommet du coin - 1 mm

largeur à la distance de 10 mm du sommet du coin - 2,5-3,0 mm;

- plaque de verre ou de linoléum - 250x400 mm

- appareil de Vassilijev (voir figure), représentant un bâti (1) avec une dalle d'appui (7) de l'acier inoxydable à la largeur de 8-10 mm. Dans la partie supérieure du bâti une tige cylindrique (4) se déplace librement avec un disque (2) fixé sur elle, sur lequel on met un calice de porcelaine de la masse de de 58-60 g et de diamètre de 95 mm. Le fond de la tasse de porcelaine (3) doit être d'une forme sphérique et doit être éclairé par une lampe électrique. Dans la partie inférieure de la tige on fixe un appui (6). La tige est fixée par une vis (5) à une hauteur nécessaire. Le poids de la partie tombante de l'appareil avec le calice doit être de 0,4±0,005 N.



1 - un bâti; 2 - un disque; 3 - un calice de porcelaine; 4 - une tige cylindrique; 5 - une vis; 6 - un appui; 7 - une dalle d'appui.

### 3. Exécution de l'analyse.

#### 3.1. La détermination de la limite inférieure de la fluidité.

3.1.1. On broie l'échantillon de la masse de 100-150 g jusqu'au passage complet par le tamis au filet 0,5, prend une dose de 50 g et la met dans le calice où on ajoute de l'eau en remuant jusqu'à la formation d'une masse épaisse, homogène, plastique. On distribue la masse régulièrement sur le fond du calice par la couche de l'épaisseur de 10 mm et on la coupe par l'embout de la spatule en deux parties égales de manière que l'espace libre entre elles ait dans la partie supérieure la largeur de 2,5-3 mm, sur le fond du calice - de 1 mm. On met le calice sur le disque supérieur de l'appareil Vassilijev et on le fixe par un support spécial de caoutchouc. On fixe la tige avec l'appui cylindrique par une vis de manière qu'elle se trouve à la distance de 75 mm de la dalle d'appui de l'appareil. Après cela on relâche la fixation, la tige avec le calice tombent librement et se heurtent contre la dalle d'appui. La masse dans le calice se secoue et l'espace libre entre ses deux parties diminue. On fait le cahotement trois fois.

Après chaque cahotement on éclaire le calice par la lampe de table pour déterminer la grandeur de l'espace libre. Si après la troisième incidence de la tige la couche coupée de la masse ne s'est pas réunie, on ajoute dans la masse de l'eau par de petites portions ( de 0,5-1,0 mm), on remue, égalise et répète l'épreuve. Si la réunion de la couche dans l'essai réitératif se passe après la première ou deuxième incidence de la tige, on ajoute dans la masse des matières premières argileuses sèches (1-1,5g), remue et l'épreuve se répète. On considère l'essai fini si après le troisième incidence de la tige avec le calice les deux parties de la masse dans le calice se réunissent sur une étendue de 10-15 mm le long de l'espace libre. La durée de l'épreuve ne doit pas dépasser 2 heures.

3.1.2. Ayant fini des essais on prend une dose de la masse de 25 g, la met dans le verre séché jusqu'à la masse constante et pesé d'avance et la sèche dans l'étuve à la température de 105-110°C ou bien, à l'aide de la lampe infra-rouge à la puissance de 500 W avec un réflecteur intérieur à miroir pendant 3 heures. Puis on sort le verre, on le ferme par le couvercle, le fait refroidir dans le dessiccateur et le pèse. On répète le séchage jusqu'à l'obtention de la masse constante.

La valeur obtenue de l'humidité exprimée en pour-cent détermine la limite inférieure de la fluidité.

#### 3.2. La détermination de la limite du roulement.

3.2.1. On roule par la paume des restes de masse après la détermination de la limite inférieure de la fluidité sur une plaque de verre ou de linoléum jusqu'à l'obtention du cylindre de diamètre de 3mm. Si le cylindre de ce diamètre garde de la viscosité et de la plasticité, on le ramasse dans une boule, on ajoute de l'argile, remue, pétrit et roule de nouveau jusqu'à la grandeur indiquée. On roule des masses de haute plasticité sur une plaque de

plâtre préalablement jusqu'à la perte des propriétés visqueuses-plastiques.

On mène le roulement en appuyant un pen sur le cylindre. Le roulement dure jusqu'au moment où le cylindre de diamètre de 3 mm environ commence à se diviser par des crevasses transversales en morceaux de longueur de 3-10 mm. De ces morceaux on prend une dose d'au moins 10 g, la met dans le verre séché jusqu'à la masse constante et pesé d'avance et on détermine l'humidité en pour-cent (voir 3.1.2.). La valeur obtenue d'humidité détermine la limite du roulement.

#### 4. Traitement des résultats.

4.1. Le contenu de l'humidité (W) dans les pour-cent est calculé selon la formule

$$W = \frac{(m_1 - m_2) \times 100}{m}$$

ou  $m_2$  - masse du verre avec loi dose après le séchage, (g)

$m_1$  - masse du verre avec la dose avant le séchage (g)

m - masse de la dose sèche (g)

4.2. Le nombre de plasticité en pour-cent est calculé d'après la formule  $P = W_1 - W_2$

ou  $W_1$  - fraction massique de l'eau correspondant à la limite inférieure de la fluidité (%)

$W_2$  - fraction massique de l'eau correspondant à la limite du roulement (%)

4.3. La divergence admissible entre les résultats de deux déterminations parallèles du nombre de plasticité ne doit pas dépasser les grandeurs indiquées dans le tableau.

Nombre de la plasticité %	Divergences admissibles %
inférieur à 15	2
de 15 à 25	3
supérieur à 25	4

4.4. Si la divergence entre les résultats des déterminations parallèles dépasse la valeur indiquée on répète la détermination.

Pour le résultat final de l'analyse on prend la moyenne arithmétique des résultats de deux déterminations parallèles.

## ANNEXE 2

Instruction technologique sur la fabrication des coulis plastifiés.

Matières premières et exigences pour elles.

1. Poudres de chamotte.

Désignations	Du kaolin	à hautes teneur en alumine
teneur minimum en $Al_2O_3+TiO_2$ , %	37	65
teneur maximum en $Fe_2O_3$ , %	1,5	1,5
humidité de la chamotte broyée maximum, %	2	2

2. Kaolin à haute plasticité DD-4-b ou bien T-1-3 doit avoir de l'humidité ne dépassant pas 6%

3. Lignosulfonate de sodium (LSS) du type G ou T d'après le standard 13-183-83.

4. Soude calcinée technique d'après le standard 5100-85

Plastifiant.

En qualité du plastifiant on emploie la solution aqueuse du concentré de LSS et de la soude calcinée.

La solution est préparée dans un mélangeur à hélice de la façon suivante:

1. La soude est dissoute dans l'eau à la température de 30-40°C en quantité calculée sur  $Na_2CO_3$  de 18 kg sur 100 litres. La solution obtenue doit avoir la densité 1,14-1,15 g/cm<sup>3</sup> à la température de 30-40°C.

2. La solution de LSS du type G avec la densité de 1,27-1,28 g/cm<sup>3</sup> (à la température de 20°C), comprenant 50% environ de la substance sèche, est diluée à la température 40°C par la solution de soude préparée. Sur 25 kg (20 litres) de solution de LSS on ajoute 100 l de solution de soude. La solution obtenue de plastifiant doit avoir la densité de 1,15-1,16 g/cm<sup>3</sup> à la température de 40°C, la teneur en soude - 150 g/l.

Remarque:

Dans le cas de l'utilisation du concentré de LSS du type T il faut le dissoudre dans l'eau chaude ou bien dans la solution chauffée de la soude pour obtenir la solution de la concentration indiquée.

## Composition du coulis

Composants	Fraction massique en %	
	Coulis de chamotte	Coulis à haute teneur en alumine
Chamotte du kaolin	84 $\pm$ 2	-
Chamotte à haute teneur en alumine	-	84 $\pm$ 2
Kaolin	16 $\pm$ 2	16 $\pm$ 2
Plastifiant (en plus de 100% de coulis, y compris)	1	1
Soude calcinée	0,15 $\pm$ 0,04	0,15 $\pm$ 0,04
Lignosulfonate de sodium /LSS/ (sèche)	0,10 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,03

La broyage et le mélange du coulis sont effectués dans un broyeur à boules ou à vibration. Le dosage de la chamotte et du kaolin se fait par les doseurs à balance. La solution du plastifiant coule du mélangeur à hélice dans le réservoir à stocker.

Du réservoir par le doseur et la tuyauterie la solution doit passer en quantité de 10 l sur 1 tonne de matière (chamotte + argile). En fabriquant du coulis plastifié la solution doit être dans le réservoir en état chauffé (40-50°C) et mélangée continuellement.

## ANNEXE 3

Système CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>

Ce système a une grande importance pour l'étude de la composition minéralogique des ciments portland et alumineux, des laitiers de haut fourneau, des réfractaires de silice et silico-alumineux.

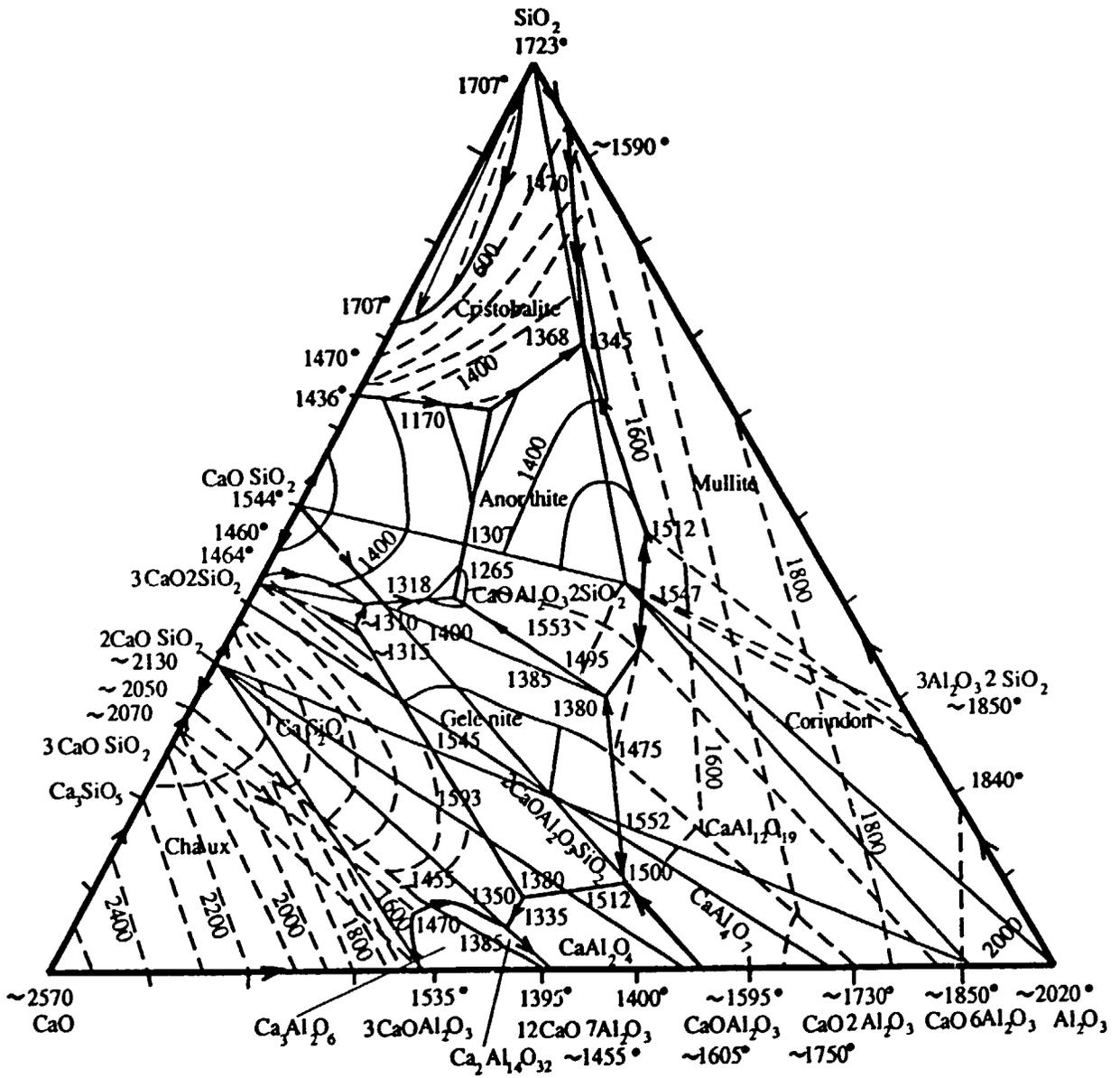
Il y a deux composé triples dans ce système: gélénite (2CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.SiO<sub>2</sub>) et anorthite (CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>).

Le composé C<sub>3</sub>S (3CaO.SiO<sub>2</sub>) a, dans ce système, la possibilité de se dégager de la phase liquide aux température inférieures à celle de décomposition de C<sub>3</sub>S (1900°C).

On attribue parfois au composé C<sub>5</sub>A<sub>3</sub> la formule C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>.

On obtient la gélénite du mélange fondu des oxydes correspondant à la composition théorique, ainsi que grace aux réactions à l'état solide. La gélénite ne possède pas de propriétés hydrauliques. Dans le ciment alumineux elle est inerte.

L'anortite est obtenue de la phase liquide en forme de grands cristaux au cours de long maintien à la température de fusion. Elle se forme dans des haut fourneau et des fours.



## ANNEXE 4

Système  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 

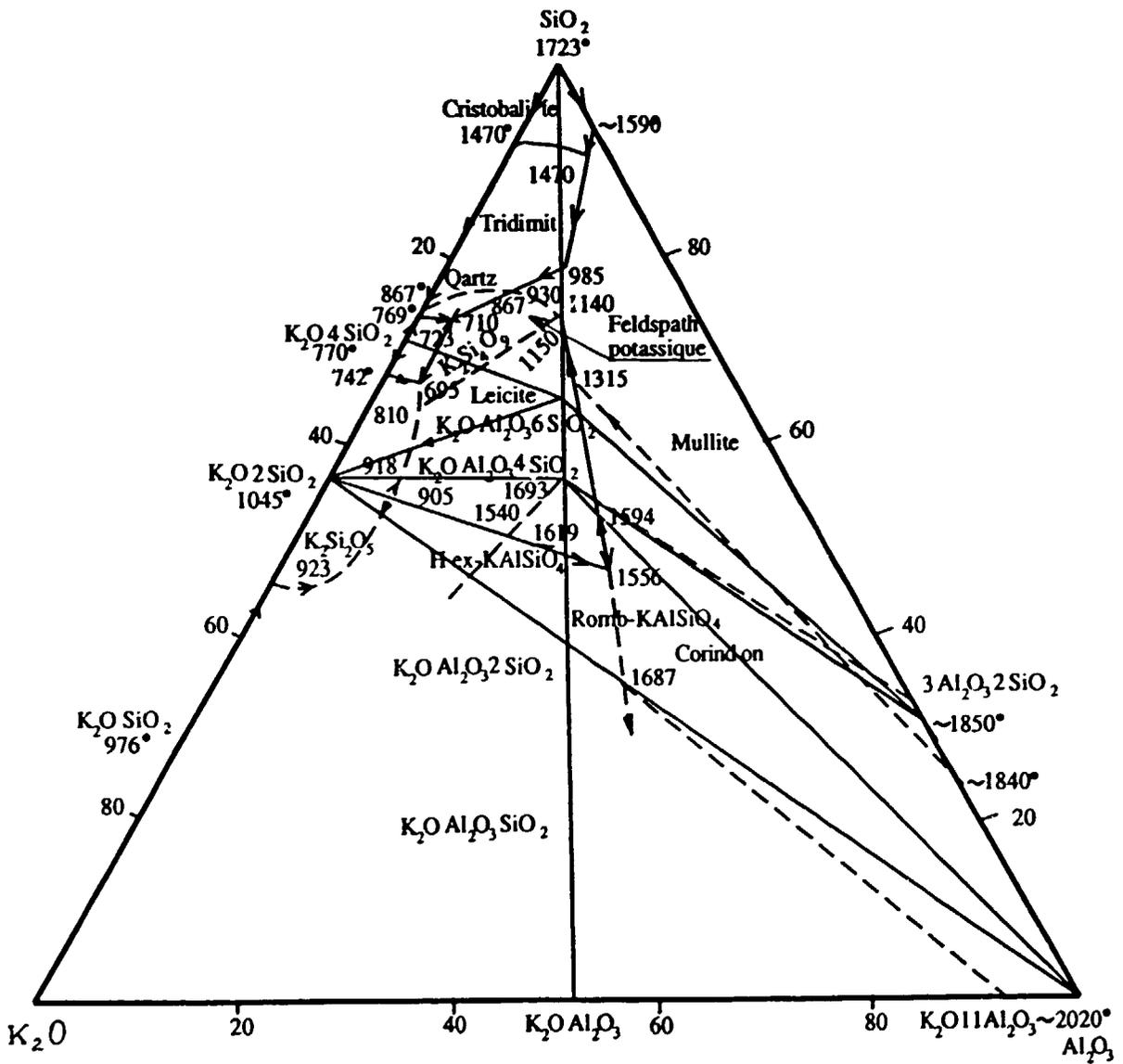
Dans ce système on observe des composés triples suivants:  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  - calcilite;  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$  - leicite;  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  - feldspath de potassium (microline, orthoclase, sanidine).

Le feldspath de potassium peut exister dans des états structuraux différents.

La microline est la forme de basses températures, sa grille change dans un grand domaine - de monocline à tricline.

Dans l'orthoclase les atomes de silicium sont partiellement régularisées; la symétrie est monocline avec de petites divergences possible. La sanidine est une forme de haute températures de spath.

On rencontre la leicite dans deux modifications: de basses températures (syngonie tetragonale) et de hautes températures (syngonie cubique).

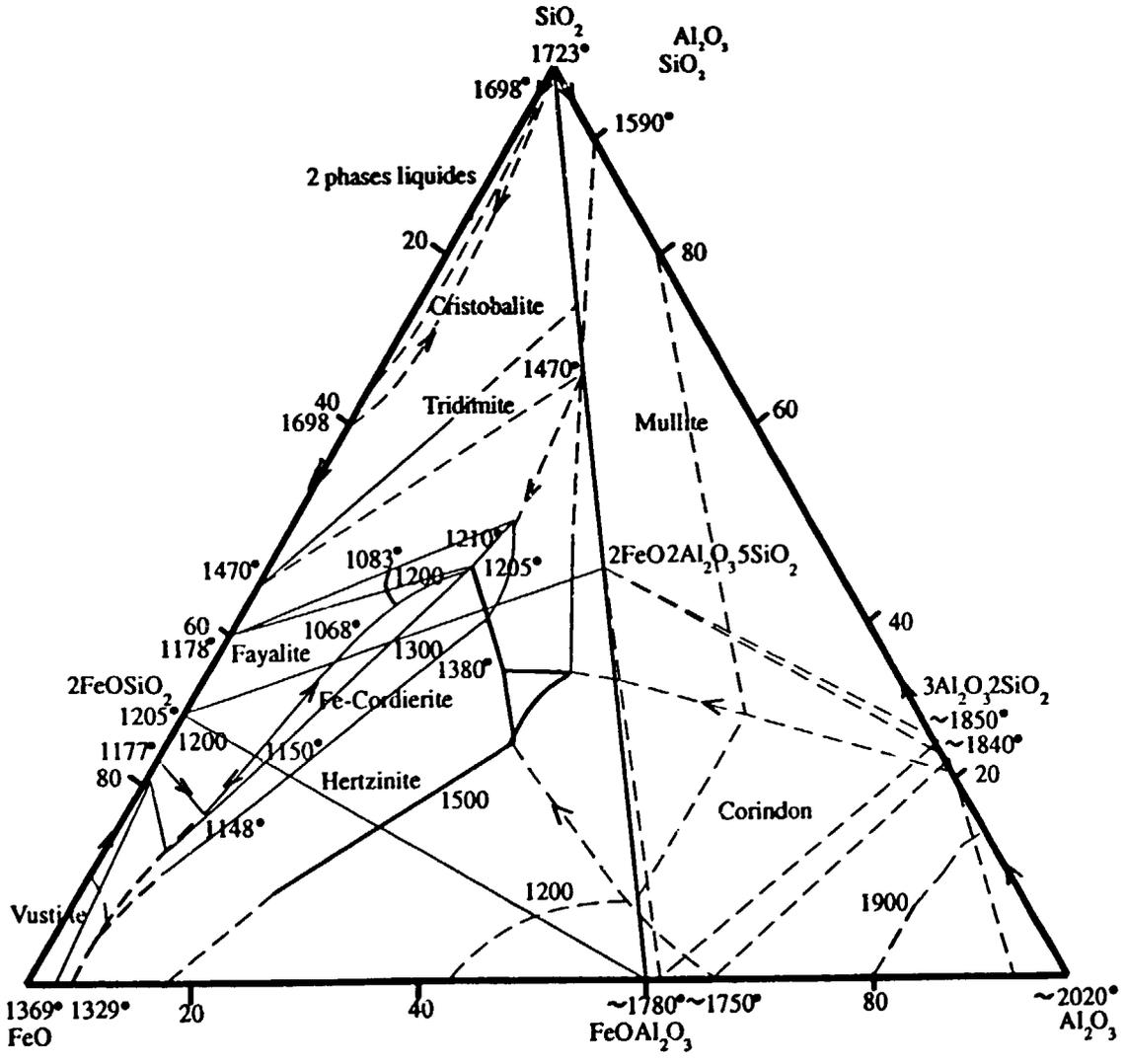


## ANNEXE 5

Système  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ -FeO

Il n'y a qu'un composé triple dans ce système -  $2\text{FeO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$  - la cordierite ferrique, stable dans le milieu fondu. La cordierite ferrique se décompose en mullite, tridimite et phase liquide à  $1210^\circ\text{C}$ .

En étudiant ce système (comme tous les autres contenant FeO) il est nécessaire de tenir compte de la possibilité de la formation de l'oxide de fer ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). En fondant les mélanges de FeO, de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et de  $\text{SiO}_2$  on trouve dans les alliages  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (jusqu'à 3,5%, si la teneur en FeO est de 23%).



## ANNEXE 6

Système  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 

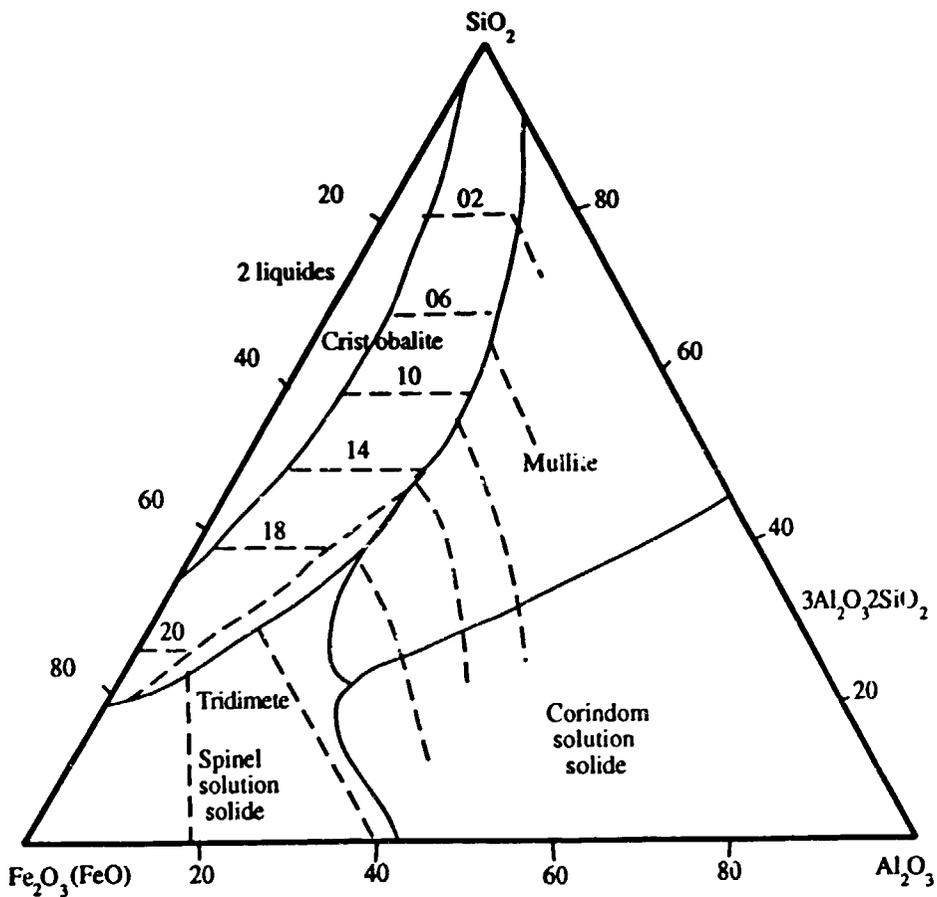
Il n'y a pas de composés triples dans ce système. Les équilibres de phase dans ce système aux températures de liquidus ont été étudiés par Muan\*. Les lignes hachées sur le diagramme correspondent à l'équilibre  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-FeO}$  sur la ligne de liquidus.

Brownell\*\* étudiait les solutions solides de mullites et d'oxide de fer (hématite). Le mélange de ces matières était cuit à l'air aux températures de 1000 à 1300°C.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se dissolvait dans la mullite en quantités de 1% à 1000°C, de 3% à 1100°C, de 10% à 1200°C et de 18% à 1300°C. L'implantation de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dans la grille de mullite était suivie par son expansion. FeO ne dissouts pas dans la mullite.

---

\* Muan A. Journ. Amer. Cer. Soc., 40, N4, 121, 1957.

\*\* Brownell W.E. Journ. Amer. Cer. Soc., 41, N6, 226, 1958.



## ANNEXE 7

## Matières recommandées à l'utilisation.

## 1. Acide phosphorique thermique selon le standard 10678-76.

On l'obtient par hydratation de l'anhydride phosphorique qui se forme lors de la combustion de phosphore jaune. Formule -  $H_3PO_4$ . Masse moléculaire - 97, 988. La teneur maximum en  $H_3PO_4$  - 73%.

## 2. Verre liquide de sodium selon le standard 13078-81.

On le fabrique par solution des silicates du sodium.

Composition en %

$SiO_2$	28-33
$Na_2O$	10-13
$Al_2O_3$ max	0,4
$CaO$ max	0,25

## 3. Lignosulphonate technique selon le standard 13-183-83.

Les lignosulphonates techniques de sodium, de potassium - sodium et ammoniacaux liquides du type P sont utilisés en qualité de plastifiants du ciment et du béton.

Suivant les exigences techniques ils doivent contenir comme suit:

- de matières sèches, au minimum - 47%
- teneur en ions d'hydrogène (PH), au minimum - 4,5%

## 4. Tripolyphosphate de sodium selon le standard 13493 - 77.

C'est un produit du traitement thermique et d'extraction de l'acide phosphorique.

Formule -  $Na_5P_3O_{10}$ . Masse moléculaire - 367,86.

Tripolyphosphate est une poudre blanche. Il doit contenir au moins 54,5% de  $P_2O_5$  et 88% de  $Na_5P_3O_{10}$ .

Soude calcinée technique selon le standard 5100-85.

La teneur minimum en  $Na_2CO_3$  - 99,4%.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Кайнарский И.С., Дегтярева Э.В., Вольфовский Г.М., Огнеупоры для коксовых печей. - И. Metallurgia, 1966, 252 с.
2. Фролова Л.С., Примаченко В.В., Дегтярева Э.В., Огнеупоры для дверей коксовых печей. - Огнеупоры, 1984, N8, с. 36-44.
3. Вольфовский Г.М. О службе огнеупоров в доменных печах. - Кокс и химия, 1967, N6, с. 19-21.
4. Кайнарский И.С., Орловский Я.А. Огнеупоры для новых коксовых печей. - Черметинформация, 1975, сер. 11, вып. 3, 13 с.
5. Быков Л.Н. Оптимальная конфигурация футеровки дверей коксовых печей. - Кокс и химия, 1959, N5, с.25-27.
6. Бондаренко И.И., Каменецкий Г.Л., Довбня К.И. О выборе рациональной конфигурации футеровки дверей коксовых печей. - Кокс и химия, 1959, N1, с.33-34.
7. Пересащенко И.Н., Диденко В.В. Футеровка коксовых дверей и выбор рациональной ее конфигурации. - Кокс и химия, 1968, N1, с.27-30.
8. Першин А.В., Смолянок Н.И. Результаты применения новой футеровки дверей коксовых печей. - Кокс и химия, 1957 N5 с.17-18.
9. Фоменко В.И., Саенко Н.Д., Лобов А.А. и др. - В кн. Проектирование предприятий коксохимической промышленности. М. Гипромез, 1982, с. 30-35.
10. Пивоваров В.В. - В кн. Опыт применения жаростойких бетонов в промышленности и строительстве. Днепропетровск, 1978, с.51-53.
11. Hodgson J. Refractories used in coke ovens. - Refractories J, 1969, v.36,N1,p.14-20.
12. Show H. The use of Insulating Concrete in Coke Oven Doors. - Refractories J, 1939, 15, N7, p. 309-311.
13. Пирогов А.А., Цейтлин Л.А. Огнеупорное производство, листовка 41 с. Свердловск: Дом техники, Урал. Индуст. Институт, 1944 4с.
14. Пирогов А.А., Цейтлин Л.А. Применение армированного огнеупорного бетона для дверей коксовых печей. Огнеупоры, 1945, N2, с. 37-40.
15. Marchasson M. Garnissage des portes de fours par du beton refractaire. Bull. Lias coker, 1963, 13, p. 44-45.
16. Глебов С.В. Новое в области огнеупоров в США в 1945 г. // Огнеупоры, 1947, N5, 228-229.
17. Примаченко В.В., Фролова Л.С., Задорожная Т.А., Питак Н.В. Футеровка дверей коксовых печей бетонными блоками. - В кн.: Производство специальных огнеупоров. М.: Metallurgiaб 1981, вып. N8, с. 58-61.
18. Hartman E.G. Refractories for By-Product Coke Ovens. Refractories J, 1960, v. 36, N2, p. 50-52.
19. Alojzy Marcol. Wykorzystanie betonow ogniotrwalych podczas remontu bateriej koksownych Gliwice. - Koks, smoła, gaz, 1976, N11, s. 333-337.

20. Drozd M., Srumanska A., Wolek W. Betony ogniotrwale i zaroodpotne w przemyśle kokсовым. - Koks, смола, газ, 1973, N2, s. 54-57.
21. Дрожж М.И. Волек В.Т. Производство огнеупорных бетонов и алюмосиликатных масс в ГНР. // Огнеупоры, 1977, N2, с. 50-61.
22. Madricky Z. Mognost pouziti zaruvzdorniho betonu v koksovacich pecich. - Hutnik, 1979, N6, s. 203-208.
23. Фудзимото С. // Тайкабуцу, 1979, т. 31, N258, с. 374-379.
24. Лобов А.А., Михно В.П., Васильев Ю.С. и др. Блочная футеровка дверей коксовых камер из жаростойкого бетона. // Кокс и химия, 1978, N11, с. 41-42.
25. Лобов А.А., Михно В.П., Васильев Ю.С. и др. Опыт использования блоков из жаростойких бетонов для футеровки дверей коксовых печей. // Кокс и химия, 1982, с. 41-45.
26. Воробьева К.В., Замятин С.Р., Исакова Р.Г. и др. Бетонная футеровка дверей камер коксования. // Огнеупоры, 1980, N3, с. 27-29.
27. А.с. N759572 (СССР) Дверь коксовой печи. Примаченко В.В., Фролова Л.С., Задорожная Т.А. и др. - Оpubл. в Б.И., 1980, N32.
28. А.с. N789563 (СССР). Дверь коксовой печи. Примаченко В.В., Фролова Л.С., Задорожная Т.А. и др. - Оpubл. в Б.И., 1980, N47.
29. А.с. N981280 (СССР). Сырьевая смесь для приготовления жаростойкого бетона. Лобов А.А., Михно В.П., Фролова Л.С. и др. - Оpubл. в Б.И., 1982, N46.
30. Кайнарский И.С. Огнеупоры для коксовых батарей. - Кокс и химия, 1976, N5, с. 22-29.
31. Thomax W Smot. Materials Engineering for Profit-Coke-Oven Door Liners & Iron and Steel engineer, 1971, November, v. 48, N11, p. 81-84.
32. Кимура М. Современное состояние и перспективы производства огнеупоров в Японии. - Киндзоку, 1976, т. 46, с. 9-15.
33. Darwyn I. Brawn. Refractories for the Steel Industry. - Iron and Steel Engineer, 1976, v. 53, N1, p. R-1-R-24.
34. Walker C.K. Refractory Materials for modern coke ovens. - The Coke oven managere Year-book, p. 193-2-7.
35. Пивинский Ю.А., Ромашин А.Г. Кварцевая керамика. - М., Metallurgy, 1974, 264 с.
36. Экспресс-информация. ЧМ. сер. Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу, коксохимическое производство и производство чугуна. М., 1986, вып. 11, с. 14-16. Тэцу то хоганэ, 1986, с. 857.
37. Экспресс-информация. ЧМ. сер. Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу, коксохимическое производство и производство чугуна. М., 1986, вып. 21. Тайкабуцу, 1986, N2, с. 857.
38. Brevet d'invention N 3505174 (USA). Coke oven door. Ralph W. Paterson, Cleveland, Donald Mecampbell, Parta et. al. 1970.

39. Brevet d'invention N 1671329 (BRD). Koksofentür. Heisterkamp Wilhelm. - 1973.
40. Бакалкин А.П., Булах В.Л., Мартыненко В.В. Огнеупоры для коксовых печей. // Огнеупоры, 1987, N9, с.3-8.
41. Штейнберг Э.А., Лобоз А.А. Современные методы ремонта коксовых батарей (обзор). // Кокс и химия, 1984, N3, с.42-46.
42. Мовсисян Л.К., Сорокин И.Н., Фрейденберг А.С., и др. Зерновой состав шамотного заполнителя для торкрет-масс на глигоземистых цементах. // Огнеупоры, 1979 N10, с. 51-55.
43. Лурье М.А. Торкретирование кислородных конверторов и электродуговых печей за рубежом. // Огнеупоры, 1981, N11, с.57-59.
44. Филсненко Ю.А., Ефременко Г.Н., Назулкин В.А. Факельное торкретирование футеровки коксовых батарей. // Огнеупоры, 1986, N12, с. 35-37.
45. Очеретнюк Ф.Ф., Кузнецов Г.И., Романян И.Х. и др. Опыт торкретирования футеровки сталеразливочных ковшей на Магнитогорском металлургическом комбинате. // Огнеупоры, 1979, N10, с. 27-33.
46. Циглер В.Ф. Сравнительная оценка составов масс и способов их нанесения при горячих ремонтах простенок коксовых печей. // Кокс и химия, 1983, N7, с. 38-41.
47. Кузнецов Ю.Д., Давыдов Л.М., Яковенко Л.Ф. и др. Торкретирование монолитной футеровки сталеразливочных ковшей. // Огнеупоры, 1981, N6, с. 25-30.
48. Чамов А.В., Ивамилова Л.А., Галушко Л.М. Упрочнение футеровки печных камер. // Кокс и химия, 1984, N9, с. 44-46.
49. Ремонт коксовых печей. // Черные металлы, 1982, с.36-40.
50. Innace G.G. Ceramic Welding, it's not for ace coke-makers, but. // Metal Producing, 1982, N2, p. 67-69.
51. Малахов М.В., Чемерис О.М., Юзефовский И.А. и др. Нанесение огнеупорных шлакообразующих покрытий на футеровку конверторов. // Огнеупоры, 1984, N9, с. 48-52.
52. Демиденко Л.М., Великин Б.А. Пламенное нанесение огнеупорных покрытий. // Огнеупоры, 1976, N4, с7 30-36.
53. Ухмылова Г.С. Факельное торкретирование кладки коксовых печей. // Кокс и химия, 1982, N6, с. 58-59.

54. Технология восстановительных ремонтов кладки коксовых печей методом керамической наплавки (реклама). //Кокс и химия, 1982, N12, с. 58.
55. А.П.Чехов, А.М.Сергеев. Справочник по бетонам и растворам. Киев, 1972, с. 191.
56. Ю.М.Баженов. Технология бетона. М., 1978, с.455.
57. Прядко В.М., Котлов К.И., Мачала В.С. Применение жаростойких бетонов в доменных печах и вспомогательных устройствах.
58. Выпуск опытной партии легковеса на основе керамзита в условиях СЗОМ. Отчет УГНИИОгнеупоров. Руководитель работы Т.М.Сандура. - 2.9-3-И-458-91. Харьков, 1991.
59. Разработка технологии производства легковесных изделий методом полусухого прессования без выгорающей добавки. Отчет УГНИИО. 2.9-2-А-292-90. Харьков, 1991.
60. Hoer H.// Stahlberatung. 1985. 12. N2.
61. Drozd Mieczyslaw, Wolek Wanda// Materognotz. 1986.36. N6.
62. Shikano Hiroshi// Ceram J. 1990. 25. N1.
63. Василец О.И., Завьялов О.А., Зализовский Е.В.// Огнеупоры. 1990. N4.
64. Drozd W. Symposium Feuerbeton. Dresden, 13-15 apr. 1987.
65. Deitze Reiner// Stahlberatung. 1985. N2.
66. Pescck J.// Sklar a keram. 1987, N9.
67. Масленникова М.Г., Карпова А.Л.// В сб. Жаростойкие бетон и железобетон и область их эффективного применения в строительстве. Волгоград, 1969.
68. Brevet d'invention N275449 (DDR). 24.01.90.
69. А.с. 290006 (СССР). Оpubл. 22.12.70.
70. А.с. 214 366 (СССР). Оpubл. 25.01.66.
71. А.с. 232163 (СССР). Оpubл. 01.04.87.
72. Brevet d'invention 4637752 (USA) 18.08.87.
73. Joka Yutaka, Rev. 31 Gen. Meet. Techn. Sess. Tokyo, 1977.
74. Livkovic I.// Tehnika. 1977. 32. N7-8.
75. Огнеупорные бетоны. Справочник. М. 1982.
76. Внедрение плотных и теплоизоляционных огнеупоров в тепловых агрегатах сортопрокатного цеха ОЭМК. Отчет УГНИИО 4.8-10(82)-М-238-85. Харьков, 1987.
77. Разработка неформованных огнеупоров для футеровки электрических раздаточных печей. Отчет УГНИИО 2.9-3-М-141-98-Р. Харьков, 1989.