

ГТАМР 53.31.21

## ӨЗДІГІНЕН ЫДЫРАҒЫШ ҚОЖДАРДЫ НЕГІЗДІЛІГІН ТӨМЕНДЕТУ АРҚЫЛЫ ТҰРАҚТАНДЫРУ

**О.Р. САРИЕВ**<sup>[0000-0003-0745-848X]</sup>, **.А. КАЛИОЛЛАЕВА**<sup>[0000-0002-2933-9580]\*</sup>,  
**Б.С. КЕЛАМАНОВ**<sup>[0000-0001-7646-9153]</sup>, **А.М. ӘБДІРАШИТ**<sup>[0000-0003-0718-3041]</sup>

Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қаласы, Қазақстан

\*e-mail: aldeshova\_a@mail.ru

**Андатпа.** Көптеген зерттеулерден белгілі болғандай, кождың ыдырауының ең басты себебі оның жоғары негізділігі болып табылады, ал ол кождың кристалдану барысында, бірінші фаза ретінде полиморфизмге ие ларнит ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) түзілуін қамтамасыз етеді.

Металлургиялық зауыттардың аумағында техногендік қалдықтардың жиналуы қоршаған ортаға ғана емес, сонымен қатар өндірістің де экономикалық көрсеткіштеріне теріс әсер етуде. Шаңның түзілуі, жер қыртысы мен ағынды судың ауыр металдармен ластануы, үлкен аумақтың алуы, кәсіпорындардың экологиялық айыппұлдары мен олардың көлемінің жыл сайын артуы – бұлар өндіріс қалдықтарын орналастыру мен сақтаудың тек кейбір ғана теріс аспектілері.

Мақалада хромды бір уақытта шөміште балқыту кезінде кожды тұрақтандырудың негізгі мүмкіндігін көрсететін тәжірибелер қарастырылған. Пештегі кен массасына тең кен массасын шөміште электр энергиясын шығындамай-ақ тотықсыздандыруға болатынын тәжірибелер анық көрсетеді. Бұл тәжірибелер барысында кож негізділігі 1,3-1,4 шамаларында болған. Қож тұрақтандырылған құрылымды болып, кож ұнтағының пайда болуымен ыдырамады. Басқаша айтқанда, қосымша қуаттылықтар мен елеулі шығындарсыз қымбат төменкөміртекті феррохром өндірісі екі есеге дейін артуы мүмкін. Осы мүмкіндікті көрсету үшін негізділіктің өзгеруіне байланысты кождың тепе-теңдік фазалық құрамын анықтау бойынша теориялық есептеулердің нәтижесі келтірілген.

**Түйін сөздер:** феррохром, кож, негізділік, флюс, тотықсыздану, фаза, ыдырау

### Кіріспе

Рафинирленген феррохромды силикотермиялық силикотермиялық әдіспен балқыту барысында металмен қатар құрамы негізінен кальций силикаттарынан, хром шпинелі, мервинит, мелилит, диопсид, периклаз және шыныдан тұратын кож түзіледі. Кальций силикаттары кождың ыдырауын тудыратын екікальцийлік силикат (ларнит) түрінде кездеседі.

Көптеген зерттеулерден белгілі болғандай, кождың ыдырауының ең басты себебі оның жоғары негізділігі болып табылады, ал ол кождың кристалдану барысында, бірінші фаза ретінде полиморфизмге ие ларнит ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) түзілуін қамтамасыз етеді [1].

Өздігінен ыдырағыш қождар – негізгі бөлігін (80 % астам) ірілігі 0,05–0,1 мм фракция құрайтын, майдадисперсиялық оттекті орта болып табылады. Бұдан бөлек, қож құрамында королектер мен скрап түрінде металдың бірнеше мөлшері болады.

Металлургиялық зауыттардың аумағында техногендік қалдықтардың жиналуы қоршаған ортаға ғана емес, сонымен қатар өндірістің де экономикалық көрсеткіштеріне теріс әсер етуде. Шаңның түзілуі, жер қыртысы мен ағынды судың ауыр металдармен ластануы, үлкен аумақтың алуы, кәсіпорындардың экологиялық айыппұлдары мен олардың көлемінің жыл сайын артуы – бұлар өндіріс қалдықтарын орналастыру мен сақтаудың тек кейбір ғана теріс аспектілері [2].

### Негізгі бөлім

Құрамында бор бар флюстердің әсерінен химиялық тұрақтандырудың тоқтатылуына байланысты балама ретінде пештен тыс шөміште тұрақтандырудың тиімді әдістерін іздеу жалғасты. Ол үшін ең қарапайым әдіс ретінде қождың негізділігін мыналарға байланысты реттеу ұсынылады:

- брикеттелген моношихта құрамындағы хромды кремнийқұрамдас тотықсыздандырғыштармен тотықсыздану процесін ұйымдастыру арқылы негізділікті реттеу;
- құрамында  $\text{SiO}_2$  бар және төмен балқу температурасына ие флюстерді енгізу [15].

Бұған дейін Ресейлік ферроқорытпа зауыттары жағдайында хром кенін шөмішке тотықсыздандыру жолымен өндірістік тәжірибелер жүргізілген. Бұл тәжірибелер хромды бір уақытта шөміште балқыту кезінде қожды тұрақтандырудың негізгі мүмкіндігін көрсетті. Пештегі кен массасына тең кен массасын шөміште электр энергиясын шығындамай-ақ тотықсыздандыруға болатынын олар тәжірибе арқылы анық көрсетеді. Бұл тәжірибелер барысында қож негізділігі 1,3-1,4 шамаларында болған. Қож тұрақтандырылған құрылымды болып, қож ұнтағының пайда болуымен ыдырамады. Басқаша айтқанда, қосымша қуаттылықтар мен елеулі шығындарсыз қымбат төменкөміртекті феррохром өндірісі екі есеге дейін артуы мүмкін [3].

Осы мүмкіндікті көрсету үшін төменде негізділіктің өзгеруіне байланысты қождың тепе-теңдік фазалық құрамын анықтау бойынша теориялық есептеулердің нәтижесі келтірілген. Есептеу феррохром өндірісінің қожына ең жақын алты компонентті жүйенің  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-CaO-MgO}$  термодинамикалық-тепе-теңдік талдауына негізделген [2].

Кесте 1-де қож жүйелерінің тепе-теңдік фазалық құрамының қож негізділігінің өзгеруіне байланысты есептеу нәтижелері көрсетілген. Негізгі композиция ретінде қождың орташа құрамы алынды (1-кестеде негізділік 1,9). Осы кестеден көріп отырғанымыздай,

екікальцийлік силикаты ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) жоқ екі мүлдем өзгеше аймақтар бар. Төмен негізділік аймағы 1,4-ке дейін, ал жоғары негізділік аймағы – 3,2-ден жоғары.

Төмен негізділік аймақтары монтичеллит ( $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$ ), окерманит ( $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ), геленит ( $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ), шпинель ( $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), пикрохромит ( $\text{MgO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ), феррохромит ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ), мервинит ( $3\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ) фазаларымен сипатталады. Бұл аймақта екікальцийлік силикаттың түзілуі термодинамикалық мүмкін емес [4].

Барлық фазаларда MgO байланысқан күйде, қож құрамында салыстырмалы жоғары мөлшерде 13,09-15,35% болатындығын атап өткен жөн. Магний оксиді бос күйінде периклаз (MgO) түрінде болмайды. Бұл қождар цемент клинкерін өндіруге арналған шикізат қоспасына араластыру кезінде көлемдік өзгеріссіз қоспа бола алатынын көрсетеді. Жоғары деңгейлі цемент клинкерлерін өндіруге қолайлы фазалардың саны өте көп. Бұл фактілерді табанды түрде ұсыну цементтер мен оның негізінде жасалған бұйымдарды өндіру үшін қождарды шикізат ретінде пайдалануға болатынын көрсетеді [5].

Негізділіктің жоғары мәндер аймағы феррохромит ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ), периклаз (MgO), кальций хроматы ( $\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ), үшкальцийлік алюминат ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ), үшкальцийлік силикат ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) және бос кальций оксиді (CaO) фазаларымен сипатталады. Жоғары сапалы цементтерде (алит цементтерінде) негізгі қосылыс болатын – алит ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) - басым минерал болып табылады. Сонымен қатар қождардың ыдырауына және жоғары балқу температурасына әкеліп соғатын бос кальций оксиді (CaO) пайда болады. Ферроқорытпа өндірісінің технологиясы тұрғысынан екінші мәселе әк пен энергия сыйымдылығының жоғары шығындарына байланысты жағымсыз жағдай. Бұдан бөлек, жеткілікті мөлшерде бос периклаз (MgO) фазасы пайда болады [10].

Бұл талдаулар шөміштен негізділігі 1,4-тен төмен қож алуға ұмтылу керек екендігін көрсетеді. Осы талаптарды ескере отырып, хромның шөміште тотықсыздануына арналған моношихта шығынын тиянақты таңдауға болады.

Төменде тотықсыздандырғыш пен кеннің стехиометриялық қатынасындағы брикеттердің санын анықтайтын, әрі қарай өңдеуден кейін қождың бұрын ұсынылған негізділігіне шығу есептеулері келтірілген [6].

1- Кесте - Қож жүйелерінің тепе-теңдік фазалық құрамының қож негізділігінің (CaO/SiO<sub>2</sub>) өзгеруіне байланысты есептеу нәтижелері

CaO/SiO <sub>2</sub>	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> қождағы															
<b>Қождың химиялық құрамы</b>															
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.93	7.66	7.41	7.17	6.95	6.74	6.54	6.35	6.18	<b>6.01</b>	5.85	5.70	5.56	5.42	5.30
FeO	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	<b>0.78</b>	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
SiO <sub>2</sub>	34.59	33.42	32.32	31.30	30.34	29.43	28.58	27.78	27.02	<b>26.30</b>	25.62	24.97	24.35	23.77	23.21
CaO	34.59	36.76	38.79	40.69	42.47	44.15	45.73	47.22	48.63	<b>49.97</b>	51.23	52.44	53.58	54.67	55.70
MgO	15.35	14.84	14.36	13.91	13.48	13.09	12.71	12.36	12.02	<b>11.71</b>	11.41	11.12	10.85	10.60	10.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.77	6.55	6.35	6.16	5.99	5.82	5.66	5.51	5.37	<b>5.24</b>	5.11	4.99	4.88	4.77	4.67
Қож еселігі	2.080	2.153	2.227	2.300	2.374	2.448	2.522	2.595	2.669	<b>2.743</b>	2.817	2.891	2.966	3.040	3.114
<b>Қождың фазалық құрамы</b>															
CaO·MgO·SiO <sub>2</sub>	14.968	25.702	24.977	24.280											
2CaO·MgO·2SiO <sub>2</sub>	59.704	35.013	18.170	2.486											
2CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>	11.475	17.608	17.070	16.559											
MgO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.489					8.117	7.894	7.685	7.490	<b>7.308</b>	2.326				
MgO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.966	7.625	7.309	7.005		6.462	6.182	5.942	5.727	<b>2.406</b>					
FeO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.399	2.399	2.399	2.399		2.399	2.430	2.430	2.430	<b>2.399</b>	2.430	2.430	2.430	2.399	2.399
3CaO·MgO·2SiO <sub>2</sub>		11.654	30.076	47.275		63.648	44.900	27.237	10.490						
MgO						1.614	3.661	5.593	7.413	<b>9.139</b>	10.752	11.120	10.850	10.600	10.350
<b>2CaO·SiO<sub>2</sub></b>						17.761	34.933	51.113	66.450	<b>75.358</b>	73.410	71.547	69.771	64.887	56.298
CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>											5.337	0.836			
CaO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>										<b>3.390</b>	5.746	5.540	5.349	5.186	5.022
5CaO·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>												8.526	3.494		
CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub>															
3 CaO ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>													8.106	12.653	12.387
3 CaO ·SiO <sub>2</sub>														4.275	13.544
CaO															

1- Кесте жалғасы

CaO/SiO <sub>2</sub>	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00	3.10	3.20	3.30	3.40	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90	4.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> қождағы																
<b>Қождың химиялық құрамы</b>																
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.17	5.05	4.94	4.83	4.73	4.63	4.54	4.45	4.36	4.27	4.19	4.11	4.04	3.97	3.90	3.83
FeO	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
SiO <sub>2</sub>	22.68	22.17	21.68	21.22	20.77	20.34	19.93	19.54	19.16	18.79	18.44	18.10	17.78	17.46	17.16	16.87
CaO	56.69	57.64	58.54	59.40	60.23	61.02	61.79	62.52	63.22	63.90	64.55	65.18	65.78	66.37	66.93	67.47
MgO	10.12	9.89	9.68	9.47	9.28	9.09	8.91	8.74	8.57	8.41	8.25	8.11	7.96	7.82	7.69	7.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.57	4.47	4.38	4.30	4.22	4.14	4.06	3.99	3.92	3.85	3.79	3.72	3.66	3.60	3.55	3.49
Қож еселігі	3.188	3.262	3.337	3.411	3.486	3.560	3.635	3.709	3.784	3.859	3.934	4.009	4.083	4.158	4.233	4.308
<b>Қождың фазалық құрамы</b>																
CaO·MgO·SiO <sub>2</sub>																
2CaO·MgO·2SiO <sub>2</sub>																
2CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>																
MgO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																
MgO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																
FeO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.399	2.430	2.430	2.430	2.399	2.430	2.399	2.368	2.399	2.430	2.430	2.430	2.430	2.430	2.399	2.430
3CaO·MgO·2SiO <sub>2</sub>																
MgO	10.120	9.890	9.680	9.470	9.280	9.090	8.910	8.740	8.570	8.410	8.250	8.110	7.960	7.820	7.690	7.560
<b>2CaO·SiO<sub>2</sub></b>	48.077	40.137	32.607	25.506	18.619	11.977	5.627									
CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																
CaO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.844	4.651	4.501	4.350	4.242	4.077	3.983	3.888	3.736	3.584	3.475	3.365	3.270	3.174	3.107	2.982
5CaO·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>																
CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub>																
3 CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.122	11.857	11.618	11.406	11.194	10.981	10.769	10.584	10.398	10.212	10.053	9.867	9.708	9.549	9.416	9.257
3 CaO·SiO <sub>2</sub>	22.438	31.035	39.165	46.838	54.266	61.445	68.312	74.297	72.852	71.445	70.114	68.821	67.605	66.388	65.247	64.144
CaO								0.124	2.045	3.919	5.678	7.406	9.028	10.639	12.141	13.626

Есептеулер кезінде кен ретінде байыту комбинаттарынан әдетте жеткізілетін концентрат (2 - кесте) және тотықсыздандырғыш - ферросиликохромның ұсақ фракциясы (3 - кесте) алынды.

2 - Кесте - **Хром кенінің химиялық құрамы, %**

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	P
52,33	7,71	7,46	11,7	0,63	18,1	0,0022

3- Кесте - **Ферросиликохромның химиялық құрамы, %**

Cr	Si	C <sub>тв</sub>
26,85	51,0	0,081

4- Кестеде оксидтердің кенмен түсуі және тотықсыздану процестеріне байланысты брикеттердің нақты қождарға шығыны көрсетілген. Есептеулерде кеннен хром оксидінің бөлінуі 90%, ал темір оксиді – 95% деп қабылданады, бұл шындыққа жақын. Брикеттердің ұсынылған есептік құрамы келесідей: [7].

Хромкенді концентрат -73,8 %

Ферросиликохром (ФСХ-48) - 26,2%

4 – Кесте - **Брикеттердің шөмішке әртүрлі мәндегі қоспасындағы қождың фазалық құрамының өзгерісі [16]**

Параметрлер	Брикет құрамындағы кеннің қож массасынан шығыны, %			Ағымдағы қож (наурыз 2010)
	10	15	20	
<b>Негізділік (CaO/SiO<sub>2</sub>)</b>	1,62	1,52	1,43	1,88
<b>Қождың химиялық құрамы</b>				
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,95	5,03	5,1	4,78
FeO	0,49	0,48	0,46	0,53
SiO <sub>2</sub>	28,52	29,44	30,30	26,48
CaO	46,38	44,87	43,47	49,72
MgO	13,40	13,80	14,16	12,54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,25	6,38	6,51	5,95
<b>Қождың фазалық құрамы</b>				
CaO·MgO·SiO <sub>2</sub>				
2CaO·MgO·2SiO <sub>2</sub>				
2CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·SiO <sub>2</sub>				
MgO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,717	8,898	9,079	8,298
MgO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,948	5,075	5,217	3,505
FeO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			1,433	1,651
3CaO·MgO·2SiO <sub>2</sub>	40,387	59,494	77,287	
MgO	4,941	2,903	0,994	9,459
<b>2CaO·SiO<sub>2</sub></b>	39,480	22,134	5,99	75,874

CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
CaO·Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				1,212
5CaO·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub>				
3 CaO ·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>				
3 CaO ·SiO <sub>2</sub>				
CaO				

Қожды толық тұрақтандыру үшін ұсынылған брикеттер шығыны қож массасының 27% құрайды. Сонымен қатар, пештен шығарылған қождың 1 тоннасына электр қуатының шығынысыз шөмішке 0,083 тонна хром тотықсызданады. Алда шөмішке 270 кг брикет қосу процесінің жылулық есептеулері келтірілген [13].

1 - Кестеде тепе-теңдік фазалық құрамын негізділікке байланысты есептеулері келтірілген. Бұл есептеу негізділік пен жеңілбалқығыш сазды отырғызуға байланысты екікальций силикатының пайда болуын бағалауға қажет. Бұл саздың химиялық құрамы 5 – кестеде келтірілген [8].

5 - Кесте - Жеңілбалқығыш саздың құрамы, %

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
0,1	62,3	3,01	2,59	15,27	7,38

Феррохром балқыту цехтарындағы орта және төмен көміртекті блок пештеріндегі қождың шығуы сәйкесінше кесте 6 және 7 келтірілген.

6 - Кесте - Ортакөміртекті блок пештеріндегі қождың шығуы

Пеш №	1	2	3	Σ
Қождың жылдық мөлшері, т	12942	15872,4	16077,9	44892,3
Балқыту саны, шт.	927	1272	1234	3433
Балқытудағы қож шығуының орташа мөлшері, т	6,98	6,2	6,5	6,5

7 - Кесте - Төменкөміртекті блок пештеріндегі қождың шығуы

Пеш №	4	5	6	7	Σ
Қождың жылдық мөлшері, т	14144,9	19203,3	15127,5	10232,9	58708,6

Балқыту саны, шт.	1053	1590	1258	798	4699
Балқытудағы қож шығуының орташа мөлшері, т	6,7	6,0	6,0	6,4	6,2

Осылайша, ортакөміртекті феррохромды балқыту кезінде орта есеппен әр шығысында шамамен 6,5 тонна, ал төмен көміртекті феррохромды балқыту кезінде – шамамен 6,2 қож түзіледі. Мұндағы қож құрамының орташа мәні сәйкесінше кесте 8 және 9 келтірілген [9].

**8-Кесте - Ортакөміртекті блок пештеріндегі қождың орташа құрамы**

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
4,72	26,2	49,19	12,4	5,87	0,51

**9-Кесте - Төменкөміртекті блок пештеріндегі қождың орташа құрамы**

Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
5,67	25,65	48,36	12,66	5,88	0,65

Ортакөміртекті феррохромның бастапқы қожының негізділігін 1,3-ке дейін төмендету үшін, шығару кезінде қосатын керамзит мөлшері

$$\frac{6,5(49,19 - 1,3 \cdot 26,2)}{1,3 \cdot 62,3 - 3,01} = \frac{98,35}{77,98} = 1,26 \delta$$

6,5 тонна ортакөміртекті феррохром қожы мен 1,26 тонна керамзитті пештен тыс біріктіру нәтижесінде кесте 10-да көрсетілген қож құрамын аламыз [12].

**10-Кесте - Шөміште керамзитпен өндеуден кейінгі ортакөміртекті блок пештерінің қож құрамы**

Материал	Өлш. бірл.	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
Бастапқы қож – 6,5 т	%	4,72	26,2	49,19	12,4	5,87	0,51
	т	0,30	1,70	3,20	0,81	0,38	0,02
Керамзит 1,26 т	%	0,10	62,30	3,01	2,59	15,27	7,38
	т	0,00	0,78	0,04	0,03	0,19	0,10
Нәтижелік қож – 7,76 т	т	0,3	2,48	3,24	0,84	0,57	0,12
	%	3,87	31,96	41,75	10,82	7,35	1,55



Нәтижелік қож негізділігі

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = \frac{41,75}{31,96} = 1,30$$

Төменкөміртекті феррохромның бастапқы қожының негізділігін 1,3-ке дейін төмендету үшін, шығару кезінде қосатын керамзит мөлшері

$$\frac{6,2(48,36 - 1,3 \cdot 25,65)}{1,3 \cdot 62,3 - 3,01} = \frac{93,1}{77,98} = 1,19 \text{ т}$$

6,2 тонна ортакөміртекті феррохром қожы мен 1,19 тонна керамзитті пештен тыс біріктіру нәтижесінде кесте 11-де көрсетілген қож құрамын аламыз [11].

11-Кесте - Шөміште керамзитпен өндеуден кейінгі төменкөміртекті блок пештерінің қож құрамы

Материал	Өлш. бірл.	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
Бастапқы қож – 6,2 т	%	5,67	25,65	48,36	12,66	5,88	0,65
	т	0,35	1,59	3,00	0,78	0,36	0,04
Керамзит 1,19 т	%	0,10	62,30	3,01	2,59	15,27	7,38
	т	0,00	0,74	0,04	0,03	0,18	0,09
Нәтижелік қож – 7,39 т	т	0,35	2,33	3,04	0,81	0,54	0,13
	%	4,74	31,53	41,14	10,96	7,71	1,76

Нәтижелік қож негізділігі

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} = \frac{41,14}{31,53} = 1,30$$

### Тұжырым

Осылайша, негізділіктің өзгеруіне байланысты қождың тепе-теңдік фазалық құрамы бойынша теориялық есептеулер жүргізілді. Негіздікке сілтеме жасай отырып, мұндай есептеу бірінші рет жүргізіліп отыр. Есептеулер көрсеткендей, ағымдағы қождардың негіздігі 1,9 және құрамындағы екікальций силикаты (2CaO · SiO<sub>2</sub>) мөлшері 75,4% тең боғандықтан ұнтаққа белсенді ыдырайды. Негіздіктің кез-келген жоғары немесе төмен жылжуы салқындау кезінде қождың ыдырау деңгейінің төмендеуіне әкеледі. Екікальций силикаты (2CaO · SiO<sub>2</sub>) жоқ екі әртүрлі аймақ бар – салқындау кезінде қождардың ұнтаққа ыдырауының негізгі көзі. Олар – төмен негіздік аймағы 1,4 дейін және жоғары негіздік аймағы 3,2-ден жоғары.

15% керамзит сазын қосу барысында қож екікальций силикатының өрісінен толығымен кетеді және сол себепті ыдырауына жол бермейді. Сол себепті, өндірістік тәжірибелерде негізділігі 1,4-тен төмен шлактарды алуға ұмтылу қажет.

### Әдебиеттер тізімі

1. Габдулин Т.Г. Физико-химические свойства марганцевых шлаков / Т.Г. Габдулин, Т.Г. Такенов, С.О. Байсанов, Е.А. Букетов – Алма-Ата: Наука, 1984. – 232 б.
2. Захаров А.М. Диаграммы состояния четверных систем / А.М. Захаров – Москва: Металлургия, 1978. – 295 б.
3. Prince A.T. Phase Equilibrium Relationships in a Portion of the System MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–CaO / A.T. Prince // Jour. Amer. Ceram. Soc. – 1951. – Vol. 34. – P. 44-51.
4. Heath D.L. Mathematical Treatment of Multicomponent Systems / D.L. Heath // Jour. Amer. Ceram. Soc. – 1957. – Vol. 40. – P. 50-53.
5. Байсанов С.О. Математическое моделирование диаграммы фазового состава CaO–MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> / С.О. Байсанов, Н.З. Нурғали, М.С. Алмагамбетов // Промышленность Казахстана. – 2008. – №4 (49). – Б. 75-77.
6. Абдулабеков Е.Э. Особенности кристаллизации магнезиохромита, шпинели и форстерита в квазибинарных и квазитройных системах / Е.Э. Абдулабеков, С.О. Байсанов, М.С. Алмагамбетов // Тез. докл. межд. научн.-практ. конф. «Жидкость на границе раздела фаз-теория и практика». – 2006. – Б. 592-599.
7. Байсанов С.О. Закономерности фазового равновесия твердое – жидкость в бинарных неизоморфных системах / С.О. Байсанов, А.Х. Нурумғалиев, Д.Н. Абишев // ДАН СССР. – 1986. – Т.289, №6. – Б. 1399-1403.
8. Толоконникова В.В. Обобщенные уравнения линии солидуса и ликвидуса в двойных системах на основе железа / В.В. Толоконникова, С.О. Байсанов, И.С. Куликов // Металлы. – 1989. – №2. – Б. 34-37.
9. Алмагамбетов М.С. Фазовое состояние шлаков рафинированного феррохрома / М.С. Алмагамбетов, С.О. Байсанов, Н.З. Нурғали // Респ. науч. журн. «Технология производства металлов и вторичных материалов»: КГИУ. – 2006. – №2 (10). – Б. 23-29.
10. Алмагамбетов М.С. Термодинамическое описание изоморфной системы Cr-Fe / М.С. Алмагамбетов, С.О. Байсанов, Д.Д. Избембетов, Н.З. Нурғали // Межд. науч.-практ. конф. «Повышение качества образования и научных исследований». – 2007. – Б. 271-275.

11. Алмагамбетов М.С. Фазовое состояние процесса плавки рафинированных сортов феррохрома / М.С. Алмагамбетов, С.О. Байсанов, Е.Э. Абдулабеков и др. // Межд. науч.-практ. конф. посв. 80-летию Е.А. Букетова «Академик Е.А. Букетов – ученый, педагог, мыслитель». – 2005. – Т 3. – Б. 314-321.

12. Григорян В.А Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов. Уч. пособ. для ВУЗов. / В.А. Григорян, А.Я. Стомахин, А.Г. Пономаренко и др. – Москва: Metallurgy, 1989. – 288 с.

13. Алмагамбетов М.С. Расчет термодинамических характеристик сплавов системы Cr-Fe на базе её диаграммы состояния / М.С. Алмагамбетов, С.О. Байсанов, Н.З. Нургали и др. // Тез. докл. межд. научн.-практ. конф. «Жидкость на границе раздела фаз - теория и практика». – 2006. – Б. 605-607.

14. Алмагамбетов М.С. Неметаллические включения в жидких хромсодержащих расплавах / М.С. Алмагамбетов, С.О. Байсанов, Н.З. Нургали и др. // Тез. докл. межд. научн.-практ. конф. «Жидкость на границе раздела фаз- теория и практика». – 2006. – Б. 600-604.

15. Униговский Я.Б. Исследование вязкости шлаков рафинированного феррохрома, полученного с использованием магнезиальных хромовых руд. Совершенствование технологии ферросплавов / Я.Б. Униговский, В.А. Павлов, В.Т. Луценко и др. – Москва: Metallurgy, 1981. – 92 с.

16. Жило Н.Л. Улучшение жидкотекучести шлаков рафинированного феррохрома. Сб. Снижение потерь при производстве ферросплавов / Н.Л. Жило. – Москва: Metallurgy, 1982. – 96 с.

### References

1. Gabdulin T.G., Takenov T.G., Baysanov S.O., Buketov Ye.A. (1984). Fiziko-khimicheskiye svoystva margantseykh shlakov [Physicochemical properties of manganese slags]. Alma-Ata: Nauka [in Russian].

2. Zakharov A.M. (1978). Diagrammy sostoyaniya chetvernykh system [State diagrams of quaternary systems]. Moscow: Metallurgiya [in Russian].

3. Prince A.T. (1951). Phase Equilibrium Relationships in a Portion of the System MgO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–CaO. Jour. Amer. Ceram. Soc., Vol. 34, № 2, 44-51.

4. Heath D.L. (1957). Mathematical Treatment of Multicomponent Systems. Jour. Amer. Ceram. Soc., Vol. 40, № 2, 50-53.

5. Baysanov S., Nurgali N., Almagambetov M. (2008). Matematicheskoye modelirovaniye diagrammy fazovogo sostava  $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  [Mathematical modeling of the  $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  phase composition diagram]. Promyshlennost Kazakhstana, №4 (49), 75-77 [in Russian].
6. Abdulabekov Ye.E., Baysanov S.O., Almagambetov M.S. (2006). Osobennosti kristallizatsii magneziokhromita, shpineli i forsterita v kvazibinarykh i kvazitroynykh sistemakh [Features of crystallization of magnesiochromite, spinel and forsterite in quasi-binary and quasi-ternary systems]. Tez. dokl. mejd. nauchn.-pract. conf. «Zhidkost' na granitse razdela faz- teoriya i praktika», 592-599 [in Russian].
7. Baysanov S.O., Nurumgaliyev A.X., Abishev D.N. (1986). Zakonomernosti fazovogo ravnovesiya tverdoye – zhidkost' v binarykh neizomorfnykh sistemakh [Regularities of solid-liquid phase equilibrium in non-isomorphic binary systems]. DAN SSSR, T.289, №6, 1399-1403 [in Russian].
8. Tolokonnikova V.V., Baysanov S.O., Kulikov I.S. (1989). Obobshchennyye uravneniya linii solidusa i likvidusa v dvoynykh sistemakh na osnove zheleza [Generalized equations of the solidus and liquidus lines in binary systems based on iron]. Metally, №2, 34-37 [in Russian].
9. Almagambetov M.S., Baysanov S.O., Nurgali N.Z. i dr. (2006). Fazovoye sostoyaniye shlakov rafinirovannogo ferrokhroma [Phase state of refined ferrochrome slags]. Resp. nauchn. jurn. «Tekhnologiya proizvodstva metalov i vtorichnykh materialov» KGIU, №2 (10), 23-29 [in Russian].
10. Almagambetov M.S., Baysanov S.O., Izbembetov D.D., Nurgali N.Z. (2007). Termodinamicheskoye opisaniye izomorfnoy sistemy Cr-Fe [Thermodynamic description of an isomorphic system]. Mejd. nauchn.-pract. conf. «Povysheniye kachestva obrazovaniya i nauchnykh issledovaniy», 271-275 [in Russian].
11. Almagambetov M.S., Baysanov S.O., Abdulabekov Ye.E. i dr. (2005). Fazovoye sostoyaniye protsessa plavki rafinirovannykh sortov ferrokhroma [The phase state of the process of smelting refined ferrochrome grades]. Mejd. nauchn.-pract. conf. posv. 80-letiu E.A. Buketova «Akademik Ye.A. Buketov – uchenyy, pedagog, myslitel'», T-3, 314-321 [in Russian].
12. Grigoryan V.A, Stomakhin A.YA., Ponomarenko A.G. i dr. (1989). Fiziko-khimicheskiye raschety elektrostaleplavil'nykh protsessov [Physicochemical calculations of electric arc furnace processes]. Uch. posob. dlya VUZov. Moscow: Metallurgiya [in Russian].
13. Almagambetov M.S., Baysanov S.O., Nurgali N.Z. i dr. (2006). Raschet termodinamicheskikh kharakteristik splavov sistemy Cr-Fe na baze yeyo diagrammy sostoyaniya [Calculation of thermodynamic characteristics of alloys of the Cr-Fe system based on its state

diagram]. Tez. dokl. mejd. nauchn.-pract. conf. «Zhdkost' na granitse razdela faz- teoriya i praktika», 605-607 [in Russian].

14. Almagambetov M.S., Baysanov S.O., Nurgali N.Z. i dr. (2006). Nemetallicheskiye vklyucheniya v zhdkikh khromsoderzhashchikh rasplavakh [Non-metallic inclusions in liquid chromium-containing melts]. Tez. dokl. mejd. nauchn.-pract. conf. «Zhdkost' na granitse razdela faz- teoriya i praktika», 600-604 [in Russian].

15. Unigovskiy YA.B., Pavlov V.A., Lutsenko V.T., i dr. (1981). Issledovaniye vyazkosti shlakov rafinirovannogo ferrokhroma, poluchennogo s ispol'zovaniyem magnezial'nykh khromovykh rud. Sovershenstvovaniye tekhnologii ferrosplavov [Investigation of the viscosity of refined ferrochrome slags obtained using magnesian chromium ores. Improvement of ferroalloy technology]. Moscow: Metallurgiya [in Russian].

16. Zhilo N.L. (1982). Uluchsheniye zhdkotekuchesti shlakov rafinirovannogo ferrokhroma. Sb. Snizheniye poter' pri proizvodstve ferrosplavov [Improving the fluidity of refined ferrochrome slags. Collection. Reduction of losses in the production of ferroalloys]. Moscow: Metallurgiya [in Russian].

## СТАБИЛИЗАЦИЯ САМОРАЗЛАГАЮЩИХСЯ ШЛАКОВ ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ ОСНОВНОСТИ

**О.Р. САРИЕВ, А.А. КАЛИОЛЛАЕВА\*, Б.С. КЕЛАМАНОВ, А.М. ЭБДИРАШИТ**

Актыбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан,

\* e-mail: aldeshova\_a@mail.ru

**Аннотация.** Как известно из многочисленных исследований распадающихся шлаков, основной причиной его распада является высокая основность, обуславливающая формирование в качестве первичной фазы при кристаллизации шлака, двухкальциевого силиката ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ), обладающий полиморфизмом (4).

Накопление техногенных отходов в традиционных металлургических регионах приводит к всё более негативным последствиям, как для природной среды, так и для экономических показателей производства. Пыление, загрязнение почвы и сточных вод тяжёлыми металлами, покрытие обширных площадей, экологические платежи для предприятий и их ежегодное повышение, вот некоторые отрицательные аспекты размещения и хранения отходов производства.

В статье рассматриваются опыты, которые показали принципиальную возможность стабилизации шлака с одновременной выплавкой хрома в ковше. Можно восстановить массу руды в ковше эквивалентной массе руды в печи без затрат электроэнергии, что наглядно показано опытами. При этих опытах основность шлака была в пределах 1,3-1,4. Шлак получился стабилизированной структуры и не подвергался распаду с образованием

шлаковой пудры. Для демонстрации этой возможности представлены теоретические расчеты по равновесному фазовому составу шлака в зависимости от изменения основности.

**Ключевые слова:** феррохром, шлак, основность, флюс, восстановление, фаза, разложение

## **STABILIZATION OF SELF-DECOMPOSING SLAGS BY REDUCING THE FUNDAMENTAL**

**O.R. SARIEV, A.A. KALIOLLAYEVA\*, B.S. KELAMANOV, A.M. ABDRAHIT**

Aktobe Regional University named K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

\*e-mail: aldeshova\_a@mail.ru

**Abstract.** As is known from numerous studies of decaying slags, the main reason for its decomposition is its high basicity, which causes the formation of polymorphic dicalcium silicate ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) as the primary phase during the crystallization of the slag.

The accumulation of industrial waste in traditional metallurgical regions leads to more and more negative consequences, both for the natural environment and for the economic indicators of production. Dusting, pollution of soil and wastewater with heavy metals, covering large areas, environmental payments for enterprises and their annual increase, are some of the negative aspects of disposal and storage of industrial waste.

The article discusses experiments that have shown the fundamental possibility of slag stabilization with simultaneous smelting of chromium in a ladle. It is possible to restore the mass of ore in the ladle to the equivalent mass of ore in the furnace without the consumption of electricity, which is clearly shown by the experiments. In these experiments, the basicity of the slag was in the range of 1.3-1.4. The slag turned out to be of a stabilized structure and did not undergo decomposition with the formation of slag powder.

**Key words:** ferrochrome, slag, basicity, flux, recovery, phase, decomposition