

ӘОЖ 622

Е.Е. Ақылбеков*, Г.Е. Каратаева, В.М. Шевко, Б.Қ. Сарсенбаев, Г.Р. Сауганова

ғылыми қызметкер, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.к. асоц. профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан
кіші ғылыми қызметкер, М. Әуезов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: e.akylbekov@bk.ru

ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТ ҚАЛДЫҚТАРЫНАН МАГНИЙ АЛУҒА ТЕМПЕРАТУРА МЕН ҚЫСЫМНЫҢ ӘСЕРІ

Түйін

Мақалада хризотил-асбест қалдықтарынан магний газын алу үшін көміртекті-термиялық жолмен магнийді қалпына келтіру бойынша зерттеулердің нәтижелері келтірілген. Зерттеу әдісі ретінде Гиббс минималды энергия принципіне негізделген HSC-5.1 бағдарламалық кешенін қолдана отырып термодинамикалық модельдеу әдісі алынды. Хризотил-асбест қалдықтары-көміртек-темір жүйесінде магний газының түзілуінің басталу температурасы темір силицидтерінің бірлескен түзілу түріне байланысты және FeSi тұзу үшін $1639,8^\circ\text{C}$ құрайды; қысымды 1-ден 0,001 барға дейін төмендету кезінде магний түзілуінің басталу температурасын 500°C -қа төмендетуге болады; магний газын алу үшін $\text{mg}(\text{Mg}(\text{g}))$ 86 -87% деңгейінде mdo - 1700°C үшін температураны және LG қысымын -3-тен -2,44-ке дейін ұстап тұру қажет. Біз магний газы мен ферроқорытпа шығаратын қалдықтарды электрмен балқытудан тұратын хризотил асбест қалдықтарын қайта өңдеу технологиясын ұсынамыз.

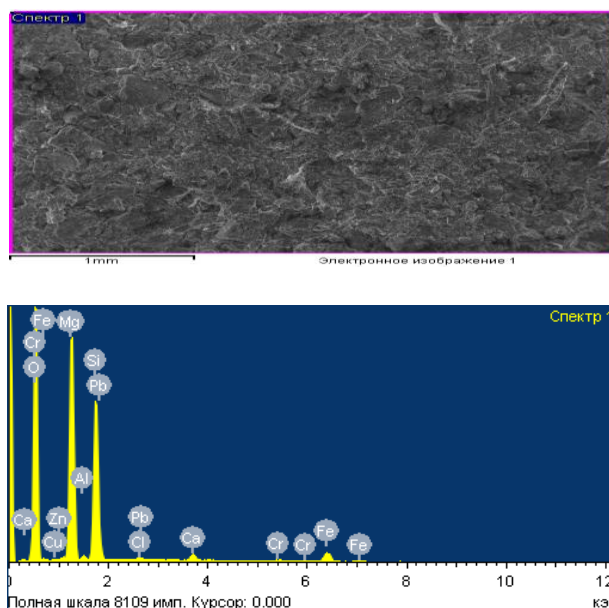
Кілттік сөздер: магний, айдау, қалдықтар, термодинамикалық модельдеу, температура, қысым.

Кіріспе

Әлемде, әсіресе дамушы елдерде хризотил асбестін тұтыну үнемі өсіп келеді [1]. Минералдың танымалдығы оның беріктігімен, агрессивті ортаға төзімділігімен, температураның ауытқуымен және қол жетімділігімен түсіндіріледі. Барлық осы қасиеттер хризотилді шатыр материалдарын, құбырларды, қабырға панельдерін өндіруде окшаулағыш материал және толтырғыш ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Жол төсемінің тұрақтылығын арттыру үшін хризотил-асбест тіпті асфальтбетон қоспасы ретінде де қолданылады [2].

Қазақстанда " Қостанай минералдары "АҚ асбест комбинаты жыл сайын 5 млн.тоннаға дейін хризотил-асбест өндіреді, оның $\approx 8\%$ -ы тауарлық талшыққа алынады, қалғаны үйінділерге жіберіледі. Бұл техногендік қалдықтардың құрамында 1 млн. тоннаға дейін магний бар, орташа мөлшері 21-30% Mg (сурет1).

Элемент	Таразы %	Атомдық %
O	51.69	64.68
Mg	24.35	20.05
Al	0.50	0.37
Si	17.77	12.66
Cl	0.25	0.14
Ca	0.97	0.49
Cr	0.38	0.15
Fe	4.09	1.46
Cu	0.00	0.00
Zn	0.00	0.00
Pb	0.00	0.00
Барлығы	100.00	



Сурет 1. Хризотил-асбест қалдықтарының растрлық электронды микроскопиясы

Өндірілетін қалдықтардың орасан зор мөлшерін ескере отырып, өзекті бағыт тек құрылыс қана емес, сонымен қатар басқа мақсаттағы материалдарды алуға байланысты инновациялық технологиялық шешімдерді іздеу болып табылады, бұл шығарылатын өнім ассортиментін кеңейтуге, сондай-ақ депозитке салынған қалдықтарды қайта өңдеу жөніндегі экологиялық міндеттерді шешуге мүмкіндік береді.

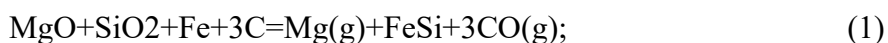
Біз температура мен қысымның хризотил-асбест қалдықтарынан магний алуға әсері туралы зерттеу жүргіздік. Жұмыстың мақсаты-жүйенің температурасы мен қысымының хризотил-асбест қалдықтарынан магний алу процесіне әсерін зерттеу[3].

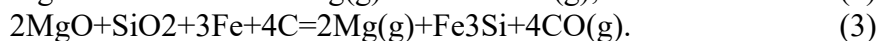
Эксперимент әдістері. Зерттеулер жүргізу үшін финдік outokumpu research Оу металлургиялық компаниясы әзірлеген HSC-5.1 Chemistry бағдарламалық кешенін термодинамикалық модельдеу әдісі қолданылды және химиялық реакцияларды талдауға және тепе-теңдікті есептеуге арналған. Кешенді әзірлеушілер sgte консорциумының идеологиясына негізделді, бұл оны SGTE принциптерін жүзеге асырудың бір нұсқасын көрсету үшін пайдалануға мүмкіндік береді. HSC Chemistry әзірлеушілері дерекқорды кеңейту және опцияларды ұлғайту тұрғысынан кешенді үздіксіз дамытуда. Консорциумға Германия, Канада, Франция, Швеция, Ұлыбритания және АҚШ-тың мамандандырылған ғылыми орталықтары кіреді [4].

Жұмыста Гиббс энергиясының минималды принципі негізінде тепе-теңдікті есептеу үшін HSC-5.1 кешенінің equilibrium Compositions кіші бағдарламасы қолданылды. Біз жасаған алгоритм бойынша элементтердің тепе-теңдік таралу дәрежесін есептеу (%) жүргізілді [5].

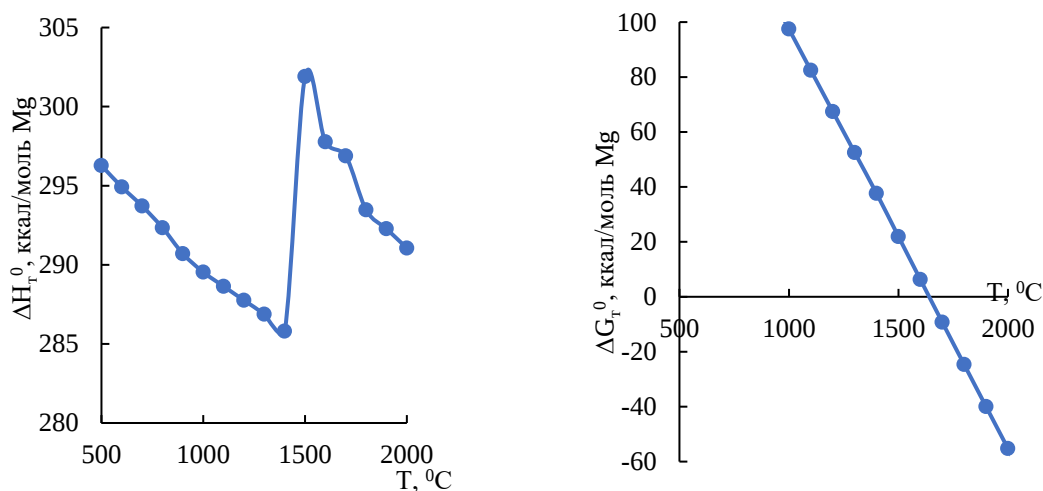
Термодинамикалық модельдеу кезінде келесі химиялық құрамы бар хризотил-асбест қалдықтары пайдаланылды: 1,5% Al₂O₃, 0,5% CaO, 2,0% FeO, 6,0% Fe₂O₃, 48,0% MgO, 42,0% SiO₂. Зерттеу екі кезеңде жүргізілді: термодинамикалық параметрлерді есептеу (ΔH_T^0 , ΔS_T^0 , ΔG_T^0 , lgK) және термодинамикалық модельдеу хризотил-асбест қалдықтары - көміртек-темір температура аралығы 500°C-тан 2200°C-қа дейін және қысым кезінде 0,001; 0,01; 1,0 bar.

Нәтижелер және талқылау. Зерттеудің бірінші кезеңінде есептеу жүргізілді ΔH_T^0 и ΔG_T^0 келесі реакциялар:

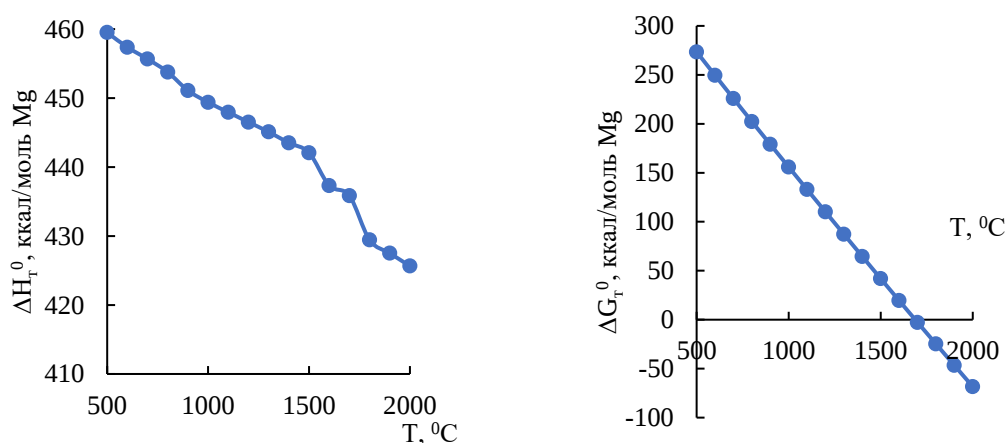




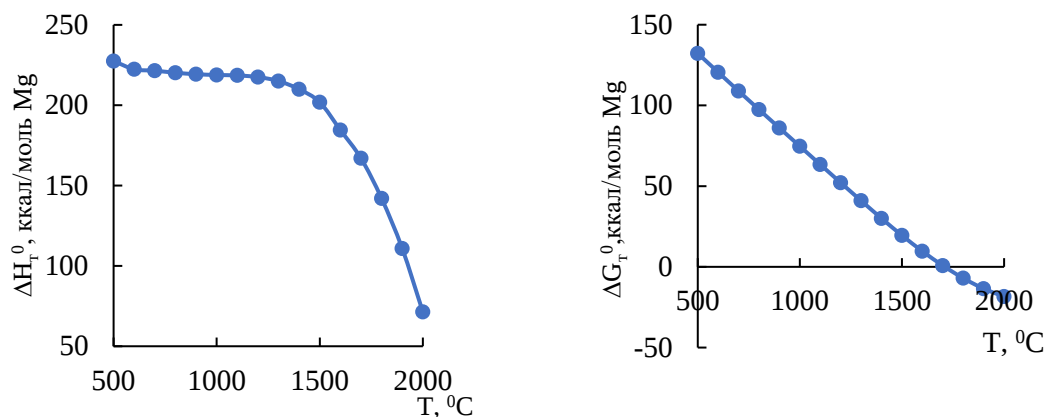
Есептеу нәтижелері 2, 3, 4-суреттерде көрсетілген. Тәуелділіктің сипаты $\Delta H_T^0 = f(T)$ ең көбі 301,9 ккал болатын өте күрделі 1500⁰С бұл FeSi балқуымен байланысты. Барлық температуралық интервалда реакция энергияны сіңірумен жүреді, яғни реакция эндотермиялық (сурет 2). Магнийді айдау процесі 1639,80 С жоғары температурада басталады содан кейін температураның жоғарылауымен төмендеу байқалады, яғни ΔG_T^0 тепе-теңдік оңға қарай жылжиды. Гиббс энергиясының максималды мәні 2000⁰С (-55,23 ккал) температурада байқалады. 3-суреттен бүкіл температуралық интервалда реакция энергияны сіңірумен жүретінін көруге болады, яғни реакция эндотермиялық. Айдау процесі 1686,9⁰С -тан жоғары температурада басталады, содан кейін температураның жоғарылауымен төмендеу байқалады ΔG_T^0 , яғни тепе-теңдік оңға қарай жылжиды. Гиббс энергиясының максималды теріс мәні 2000⁰С (-68,37 ккал) температурада байқалады.



Сурет 2. Температураның әсері ΔH_T^0 және ΔG_T^0 реакциялар 1



Сурет 3. Температураның әсері ΔH_T^0 және ΔG_T^0 реакциялар 2



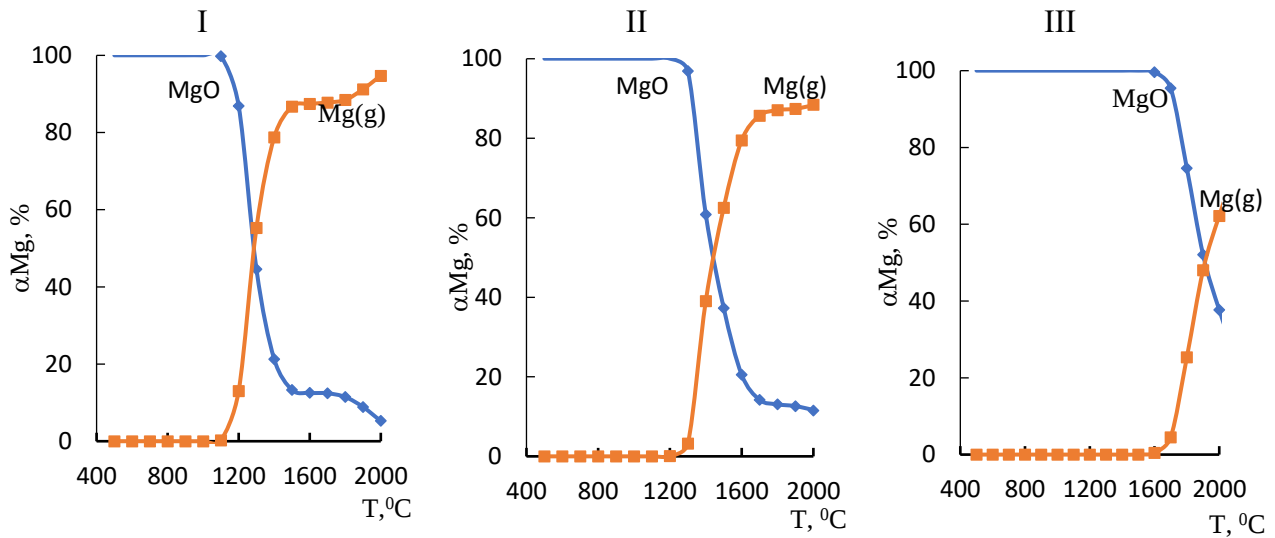
Сурет 4. Температураның әсері ΔH_T^0 және ΔG_T^0 реакциялар 3

4-суретте магнийдің реакция арқылы айдалуы көрсетілген (3), 500-2000⁰С кезінде реакция энергияны сіңірумен бірге жүреді (реакция эндотермиялық). Магнийді айдау процесі 1709⁰С -тан жоғары температурада басталады, содан кейін температураның жоғарылауымен төмендеу байқалады ΔG_T^0 , яғни тепе-теңдік оңға қарай жылжиды. Гиббс энергиясының максималды мәні 2000⁰С (-36,74 ккал) температурада байқалады.

Магнийдің таралуының ΔG_T^0 тепе-теңдік дәрежесін анықтауға мүмкіндік бермейтіндіктен, біз екінші кезеңде 0,001; 0,01; 1,0 bar қысымында хризотил – асбест қалдықтары – көміртек-темір жүйесіндегі өзара әрекеттесуді термодинамикалық модельдеуді жүргіздік. Көміртегі мен темірдің мөлшері хризотил-асбест қалдықтарының массасының сәйкесінше 22% С және 25% Fe құрады. Магнийді газға алудың тепе-теңдік дәрежесін есептеу біз жасаған алгоритм бойынша жүргізілді [6].

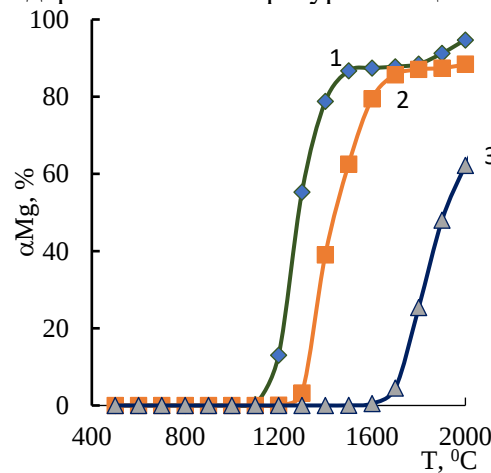
Температураның магнийдің тепе-теңдік дәрежесіне хризотил – асбест қалдықтары – көміртек-темір жүйелерінде 1,0; 0,01; 0,001 bar қысымында таралуы 5-суретте көрсетілген. 500-1000⁰С температура аралығындағы 0,001 bar қысымында магнийдің негізгі компоненті MgO болып табылады. 1100⁰С-тан жоғары температураның жоғарылауымен MgO-да магнийдің таралу дәрежесінің төмендеуі байқалады және MG(g) элементі жоғарылайды. Магнийдің магний газына ауысуы Mg(g) 1300⁰С (0,01 bar) және 1600⁰С-тан басталады

(1,0 bar). Магнийдің температураның жоғарылауымен Mg(g)-ге ауысу дәрежесі артады. Магний газының түзілуінің максимумы 2000⁰С кезінде байқалады және 94,67% (0,001 bar), 88,46% (0,01 bar), 62,2% (1,0 bar).



I- 0,001; II - 0,01; III - 1,0 bar

Сурет 5. Хризотил-асбест қалдықтары – көміртек – темір жүйесіндегі магнийдің тепе-теңдік дәрежесіне температура мен қысымның әсері



1-0,001bar, 2-0,01bar, 3-1,0 bar

Сурет 6. Хризотил-асбест қалдықтары – көміртек – темір жүйесінен магнийді алуға температура мен қысымның әсері

6-суретте температура мен қысымның хризотил-асбест қалдықтары – көміртек – темір жүйесінен газға магнийді алуға әсері туралы ақпарат көрсетілген. Суреттен қысымның төмендеуі мен температураның жоғарылауы магнийдің газға ауысуының жоғарылауына оң әсерін көруге болады.

Магнийді айдаудың технологиялық параметрлерін оңтайландыру үшін екінші ретті жоспарларды - Бокс-Хантер әдісін қолдана отырып, жоспарлау әдісімен бірқатар зерттеулер жүргізілді [7]. Оңтайландыру параметрі- αMg . Тәуелсіз факторлар – температура ($T, ^\circ\text{C}$) және қысым ($\lg P, \text{бар}$). 1-кестеде матрица мен зерттеу нәтижелері көрсетілген.

Кесте 1

Хризотил-асбест қалдықтары-көміртек темір жүйесінен магнийдің газ фазасына ауысуын жоспарлау матрицасы және зерттеу нәтижелері

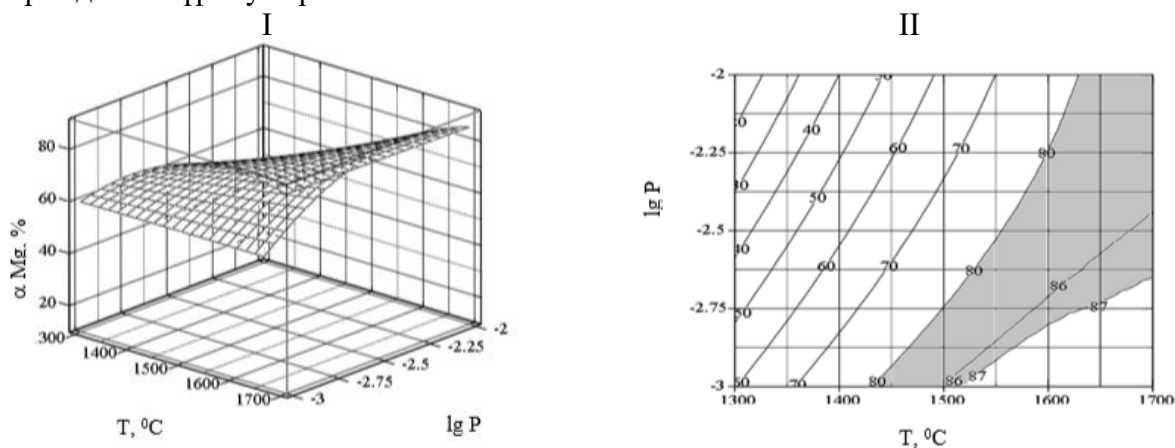
Деңгейлер	№	Айнымалылар				αMg, % (экс)	αMg, % (есеп)
		кодталған		табиғи			
		X ₁	X ₂	T, ⁰ C	lgP, бар		
Негізгі	1	-1	-1	1358.2	-2.85	64.3	64.01

	2	1	-1	1641,8	-2,85	87,5	87,86
	3	-1	1	1358,2	-2,15	36	35,34
	4	1	1	1641,8	-2,15	82,5	82,48
Жұлдызды иықтар	5	1,41	0	1700,53	-2,5	86,3	85,99
	6	-1,41	0	1300	-2,5	35,2	35,80
	7	0	1,41	1500	-2	61,5	61,91
	8	0	-1,41	1500	-3	86,1	85,98
Орталығы	9	0	0	1500	-2,5	73,3	74,10
	10	0	0	1500	-2,5	73,8	74,10
	11	0	0	1500	-2,5	74	74,10
	12	0	0	1500	-2,5	4,5	74,10
	13	0	0	1500	-2,5	74,9	74,10

1-кестеде келтірілген нәтижелерді қолдана отырып, біз регрессия теңдеуін алдық $\alpha\text{Mg}=f(T, \lg P)$ формасы бар:

$$\alpha\text{Mg} = -1356,9 + 1,4 \cdot T - 203,43 \cdot \lg P - 3,28 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 6,122 \cdot 10^{-4} \cdot \lg P^2 + +1,17 \cdot 10^{-1} \cdot T \cdot \lg P; (4)$$

Теңдеу барабар, сондықтан mg үшін Фишердің есептелген критерийі (1,11) кестеден (6,59) аз. 6-теңдеу негізінде [8] Жауап бетінің көлемдік нұсқасы (αMg) және оның көлденең қимасы салынған. 6-суретте көлемді және көлденең кескіндер көрсетілген оңтайландыру параметрлері, одан αMg 80-87% деңгейіне жету үшін процесті 1430-1700 °C және $\lg P$ -3-тен -2,0 барға дейін жүргізу керек.



I – жауап бетінің көлемді бейнесі, II- $\lg P$ тең дәрежелі сызықтары бар көлденең жауап бетінің кесінділері, сызықтардағы сандар - αMg (Mg(g)), %

Сурет 7. Температура мен қысымның магнийдің газ фазасына өтуіне әсері хризотил - асбест қалдықтары

Қорытындылар.

Хризотил-асбест қалдықтарынан магнийді айдау бойынша алынған нәтижелерге сүйене отырып, келесі қорытындылар жасауға болады:

- хризотил жүйесінде-асбест қалдықтары-көміртек-темір магний газының түзілуінің басталу температурасы темір силицидінің бірлескен түзілу түріне байланысты, FeSi түзілуінде 1639,8°C құрайды;

- қысымның 1-ден 0,001 барға дейін төмендеуі магний түзілуінің басталу температурасын 500°C төмендетуге мүмкіндік береді;

- $\alpha\text{Mg}(\text{Mg(g)})$ үшін 86 -87% деңгейінде αMgO - 1700°C және $\lg P$ -3-тен -2,44-ке дейінгі температура қажет.

Алғыс

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (Грант №BR21882292 – «Тұрақты құрылыс индустриясын кешенді дамыту: инновациялық технологиялар, өндірісті оңтайландыру, ресурстарды тиімді пайдалану және технологиялық парк құру»).

Әдебиеттер тізімі:

1. http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_prom/SiteAssets/Express_khrizotyl_1e_polugodie2020.pdf
2. Алтынбаева К. Козловская Е. Ыбрай К. Жетікара кен орнының хризотил-асбест өндірісінің қалдықтарынан никель алу мүмкіндігін зерттеу. Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті. Алматы 2020. 45 с
3. Удалов Ю. П. Бейорганикалық заттардың технологиялық процестерін жобалауда есептеу және геометриялық термодинамиканың бағдарламалық кешендерін қолдану/Ю. П. Удалов. - Санкт-Петербург.: 2012, 187 б.
4. Шевко В.М. HSC-5.1 бағдарламалық кешеніне қатысты элементтердің тепе-теңдік таралуын есептеу/В.М. Шевко, Г. М. Сержанов, Г. Е. Қаратаева, Д. Д. Аманов – авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтардың мемлекеттік тізіліміне мәліметтер енгізу туралы куәлік. Компьютерге арналған бағдарлама, ҚР 2019 жылғы 29 қаңтардағы № 1501.
5. Шевко В.М., Қаратаева Г. Е., Ақылбеков ҰЕ.ҰЕ.хризотил-асбест қалдықтарынан магний алуға температура мен қысымның әсері/Халықаралық форум: Мәселелер және Ғылыми Шешімдер Мельбурн, Австралия 25-26.04.2021. 568-576 бб.
6. Хомяков А. П., Табылганова А. Н. Жарменов А. А. технологиялық қайта өңдеу отодов хризотил-асбест өндірісі/МНПК Материалдары: Қазақстанның өнеркәсіптік өнеркәсібін дамыту саласындағы Инновациялар Алматы, 2019. - 575-577 бб.
7. Шкирмонтов А.П. Қара металлургия. Қара металлургия. Ғылыми-техникалық және экономикалық ақпарат бюллетені. 2018. № 8(1424). 43-50 бб.
8. Әуешов А.П., Сәтімбекова А. Б., Арынов К. Т., Диканбаева А. К., Бекаулова А. А. (2020) Хризотил асбест өндіру және өңдеу кезінде серпентинит қалдықтарын қышқылмен өңдеудің экологиялық және технологиялық аспектілері. Инженерлік зерттеулер мен технологиялардың халықаралық журналы. 13.06.2020.1215-1219 бб.

References

1. http://www.eurasiancommission.org/ru/act/prom_i_agroprom/dep_prom/SiteAssets/Express_khrizotyl_1e_polugodie2020.pdf
2. Altynbaeva K. Kozlovskaja E. Ybraj K. Zhetikara ken ornynyң hrizotil-asbest өndirisiniң kaldyqtarynan nikel' alu mýmkindigin zertteu. Қ. I. Sәtbaev atyndaғы Қазақ ұлттық tehnikalyқ zertteu universiteti. Almaty 2020. 45 s
3. Udalov Ju. P. Bejorganikalyқ zattardyң tehnologijalyқ procesterin zhobalauda esep-teu zhәne geometrijalyқ termodinamikanуң baғdarlamalyқ keshenderin қoldanu/Ju. P. Udalov. - Sankt-Peterburg.: 2012, 187 b.
4. Shevko V.M. HSC-5.1 baғdarlamalyқ keshenine қatysty jelementterdiң tepe-teңdik taraluyn esep-teu/V.M. Shevko, G. M. Serzhanov, G. E. Qarataeva, D. D. Amanov – avtorlyқ құқықpen қorғalatyn ob#ektilderге құқықtarдың memlekettik tizilimine мәlimetter engizu turaly куәlik. Komp'juterге арналған бағдарлама, ҚР 2019 zhылғы 29 қаңtarдағы № 1501.
5. Shevko V.M., Qarataeva G. E., Aқылbekov YE.YE.hrizotil-asbest kaldyqtarynan magnij aluға temperatura мен қysymның әseri/Halyқаралық forum: Mәseleler zhәne Fylymi Sheshimder Mel'burn, Avstraliya 25-26.04.2021. 568-576 bb.

6. Homjakov A. P., Tabylganova A. N. Zharmenov A. A. tehnologijalyq qajta өңдеу otodov hrizotil-asbest өndirisi/MNPK Materialdary: Қазақстанның өнеркәсіптік өнеркәсібін дамыту саласындағы Innovacijalar Almaty, 2019. - 575-577 bb.
7. Shkirmontov A.P. Қара металлургия. Қара металлургия. Fylymi-tehnikalық zhәне jekonomikalық ақпарат bjulleteni. 2018. № 8(1424). 43-50 bb.
8. Әуешов А.Р., Сәтімбекова А. В., Арынов К. Т., Диканбаева А. К., Бекәулова А. А. (2020) Hrizotil asbest өндіру zhәне өңдеу kezinde serpentinit қалдықтарын қышқылмен өңдеудің jekologijalyқ zhәне tehnologijalyқ aspektileri. Inzhenerlik zertteuler men tehnologijalardyң halyқаралық zhurnaly. 13.06.2020.1215-1219 bb.

Е.Е. Акылбеков*, Г.Е. Каратаева, В.М. Шевко, Б.К. Сарсенбаев, Г.Р. Сауганова
научный сотрудник, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
к.т.н., ассоц. профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
д.т.н., профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
д.т.н., профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан
младший научный сотрудник, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент,
Казахстан

*Автор для корреспонденции: e.akylbekov@bk.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ МАГНИЯ ИЗ ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОВЫХ ОТХОДОВ

Аннотация

В статье приводятся результаты исследований по восстановлению магния углеродно-термическим способом с получением магниевых газов из отходов хризотил-асбеста. В качестве метода исследования был получен метод термодинамического моделирования с использованием программного комплекса HSC-5.1, основанный на принципе минимальной энергии Гиббса. Температура начала образования газообразного магния в системе Хризотил-асбестовые отходы-углерод-железо зависит от типа совместного образования силицидов железа и составляет 1639,8°C с образованием FeSi; при снижении давления с 1 до 0,001 бар температуру начала образования магния можно снизить на 500°C; для получения магниевых газов $mg(Mg(g))$ на уровне 86 -87% необходимо поддерживать температуру для $m_{до-1700^{\circ}C}$ и давление LG от -3 до -2,44. Мы предлагаем технологию переработки отходов хризотиласбеста, которая заключается в электроплавлении отходов, выделяемых магниевым газом и ферросплавами.

Ключевые слова: магний, дистилляция, отходы, термодинамическое моделирование, температура, давление.

E.E. Akylbekov*, G.E. Karataeva, V.M. Shevko, B.K. Sarsenbaev, G.R. Sauganova
Researcher, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
Cand.Tech.Sci., Assoc. Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
Dr.Tech.Sci., Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
Dr.Tech.Sci., Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
Junior Researcher, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan
*Corresponding author's email: e.akylbekov@bk.ru

THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND PRESSURE ON MAGNESIUM EXTRACTION FROM CHRYSOTILE-ASBESTOS WASTE

Abstract

The article presents the results of studies on the recovery of magnesium by carbon-thermal method to obtain magnesium gas from chrysotile-asbestos waste. The method of thermodynamic modeling using the

HSC-5.1 software complex based on the Gibbs minimum energy principle was taken as a research method. In the chrysotile-asbestos waste-carbon-iron system, the onset temperature of magnesium gas formation depends on the type of joint formation of iron silicides and is 1639.8°C for the formation of FeSi; when reducing the pressure from 1 to 0.001 bar, the temperature of the onset of magnesium formation can be reduced by 500°C; to obtain magnesium gas, it is necessary to maintain the temperature for MDO-1700°C at mg(Mg(g)) 86 -87% and the LG pressure from -3 to -2.44.

Keywords: magnesium, distillation, waste, thermodynamic modeling, temperature, pressure.