

ISSN 1609-1825 (PRINT)

ISSN 2710-3382 (ONLINE)



# УНИВЕРСИТЕТ ЕҢБЕКТЕРІ

## ТРУДЫ УНИВЕРСИТЕТА

## №1 2023



- ◆ **Машиностроение. Металлургия**
- ◆ **Геотехнологии. Безопасность жизнедеятельности**
- ◆ **Строительство. Транспорт**
- ◆ **Педагогика высшей школы. Экономика**
- ◆ **Энергетика. Автоматика. ИКТ**



республикалық  
журналы

республиканский  
журнал

УНИВЕРСИТЕТ  
ЕҢБЕКТЕРІ

ТРУДЫ  
УНИВЕРСИТЕТА



1 (90)  
2023

2000 жылдан бастап шығарылады  
Мерзімділігі жылына 4 рет

Издается с 2000 года  
Периодичность 4 раза в год

Журнал Қазақстан Республикасы Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің жанындағы Ақпарат комитетінде тіркелген (қайта есепке алу куәлігі № KZ63VPY00044097 15.12.2021 ж.)

Журнал зарегистрирован в Комитете информации при Министерстве информации и общественно-го развития Республики Казахстан (свидетельство о перерегистрации № KZ63VPY00044097 от 15.12.2021 г.)

**МЕНШІК ИЕСІ**

«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Қарағанды қаласы)

**СОБСТВЕННИК**

Некоммерческое акционерное общество «Қарагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда)

Главный редактор

**Ю.Н. Пак**

д-р техн. наук, профессор

## Редакционный совет

- Пак Ю.Н.** академик КазНАЕН, д-р техн. наук, проф. кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (председатель) (Казахстан)
- Куликов В.Ю.** зав. кафедрой нанотехнологий и металлургии НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, канд. техн. наук, проф. (зам. председателя) (Казахстан)
- Калинин А.А.** зав. кафедрой информационно-вычислительных систем НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», PhD (ответственный секретарь) (Казахстан)
- Абдиров А.М.** первый заместитель председателя правления по академической деятельности – ректор НАО «Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина», д-р пед. наук, проф. (Казахстан)
- Байджанов Д.О.** проф. кафедры строительных материалов и технологий НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, д-р техн. наук (Казахстан)
- Бирюков В.В.** декан факультета инженерной экономики и менеджмента НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р экон. наук (Казахстан)
- Бранко Каталинич** проф. Венского университета технологий, д-р техн. наук, President IAE-CEB, Professor, Dr.sc., Dr.mult.h.c., Prof.h.c., President of DAAAM International (Австрия)
- Выжва С.А.** директор института геологии Киевского национального университета имени Т. Шевченко, д-р геол.-мин. наук, проф. (Украина)
- Демин В.Ф.** проф. кафедры разработки месторождений полезных ископаемых НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р техн. наук (Казахстан)
- Жетесова Г.С.** директор по стратегическому развитию НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», проф. кафедры технологического оборудования, машиностроения и стандартизации, академик КазНАЕН, д-р техн. наук (Казахстан)
- Ибатов М.К.** председатель Правления – Ректор НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик КазНАЕН, НИА РК, иностранный член Академии горных наук РФ, д-р техн. наук, проф. (Казахстан)
- Исагулов А.З.** исполнительный директор НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, КазНАЕН, НАН ВШК, д-р техн. наук, проф. (Казахстан)
- Ибраев М.К.** декан химического факультета НАО «Карагандинский университет имени Е.А. Букетова», д-р хим. наук (Казахстан)
- Кошебоева Г.К.** проф. кафедры экономики и менеджмента предприятия НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р экон. наук (Казахстан)
- Кадыров А.С.** проф. кафедры транспортной техники и логистических систем НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р техн. наук (Казахстан)
- Коликов К.С.** зав. кафедрой горнопромышленной экологии Национального исследовательского технологического университета МИСиС, д-р техн. наук (Россия)
- Кристина Лисецка** д-р экон. наук, Экономический университет Каттовице (Польша)
- Кудрявцев С.С.** доцент кафедры химии и химических технологий НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», канд. биол. наук (Казахстан)
- Лукаш Варгула** PhD, ассоциированный проф. Познанского технологического университета (Польша)
- Нугужинев Ж.С.** директор КазМИРР, советник Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), д-р техн. наук, проф. (Казахстан)
- Окишев К.Ю.** проф. кафедры материаловедения и физикохимии материалов Южно-Уральского государственного университета, д-р физ.-мат. наук (Россия)
- Портнов В.С.** проф. кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», академик МАИН, иностранный член Академии горных наук РФ, д-р техн. наук (Казахстан)
- Сахапов Р.Л.** зав. кафедрой дорожно-строительных машин Казанского государственного архитектурно-строительного университета, д-р техн. наук, проф. (Россия)
- Фешин Б.Н.** проф. кафедры автоматизации производственных процессов НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», д-р техн. наук (Казахстан)
- Шеров К.Т.** проф. кафедры технологических машин и оборудования НАО «Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина», д-р техн. наук (Казахстан)
- Шкутина Л.А.** проф. кафедры дошкольной и психолого-педагогической подготовки НАО «Карагандинский университет имени Е.А. Букетова», д-р пед. наук (Казахстан)

## Уважаемые читатели!

Перед Вами первый номер научно-технического журнала «Университет еңбектері. Труды университета» за 2023 год, год особенный для всех нас. В этом году мы отмечаем замечательный и значимый Юбилей – 70-летие со дня основания нашего университета.

Отдавая дань уважения предыдущим поколениям преподавателей и сотрудников, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова не только сохранил, но и творчески приумножил богатые традиции Карагандинского «Политеха».

На протяжении 70 лет, выполняя благородную миссию по обеспечению высокого качества инженерного образования, научных исследований и предпринимательства для устойчивого экономического развития Центрального Казахстана, наш орденоносный университет всегда стремится быть в авангарде поступательного инновационного развития:

- **первый** политехнический институт в Казахстане – это КарПТИ;
- **первые** в суверенном Казахстане государственные образовательные стандарты разработаны авторскими коллективами КарГТУ по 16 инженерным специальностям (1995г.);
- **первый** в Казахстане Корпоративный университет создан при КарГТУ как творческое содружество 22 системообразующих промышленных предприятий;
- **первым** в Казахстане университет прошел сертификационный аудит на соответствие СМК требованиям Международного стандарта ISO 9001:2000;
- в числе **первых** КарГТУ прошел государственную аккредитацию (2001г.);
- **первые** в Казахстане монографии, посвященные Болонскому процессу и обеспечению качества: «Болонский процесс и Казахстанские реалии», «Компетентностный подход в инженерном образовании», выпущены авторскими коллективами КарГТУ.

Перечень достижений со словом «**первый**» не ограничивается этими успехами.

Накануне Юбилея наш журнал обрел второе дыхание. Первым среди казахстанских научных изданий наш мультидисциплинарный научно-технический журнал вошел в обновленный перечень КОКСОН согласно новым, повышенным требованиям. Это, несомненно, успех большого коллектива ученых и специалистов, занятых отбором качественных статей и своевременным выпуском научного журнала.

Республиканский научно-технический журнал «Труды университета» имеет богатую историю в становлении и развития казахстанской науки и промышленности.

Журнал стал трибуной творческого обмена научной информацией. Это дает возможность ученым, преподавателям, докторантам и специалистам-производственникам публиковать результаты своих научных исследований.

Наш мультидисциплинарный научный журнал по праву завоевал авторитет серьезного издания, освещающего вопросы научно-технического развития машиностроения и металлургии; горного дела, геолого-геофизических исследований и безопасности жизнедеятельности; строительства и транспорта; педагогики высшей школы и экономики; автоматизации, энергетики и информационных технологий.

Желаю журналу не останавливаться на достигнутом, расширять тематику исследований, сохранять популярность в академическом сообществе и высокий авторитет у читательской аудитории, делая ставку не на количество, а на качество публикуемых статей.

**Ректор КарТУ имени Абылкаса Сагинова,  
доктор технических наук, почетный академик НАН РК,  
Лауреат Государственной премии РК им. Аль-Фараби  
М.К. Ибатов**



# Хром кендерін металданғырушы күйдіру кезінде Cr-C-O жүйесі бойынша хромды тотықсыздандыру үрдісіне термодинамикалық талдау жүргізу

<sup>1</sup>МАХАМБЕТОВ Ерболат Нысаналыұлы, PhD, зертхана меңгерушісі, mahambetovyerbolat@gmail.com,

<sup>1</sup>ШАБАНОВ Ербол Жақсылықұлы, PhD, ғылыми қызметкер, ye.shabanov@gmail.com,

<sup>1\*</sup>ТӨЛЕУҚАДЫР Руслан Төлеужанұлы, магистр, кіші ғылыми қызметкер, rus.toleukadyr@gmail.com,

<sup>1</sup>СӘУЛЕБЕК Жалғас Қасықырбекұлы, магистр, 1 дәрежелі инженер, zhaga1998@gmail.com,

<sup>2</sup>ҚУАТБАЙ Ербол Қуатбайұлы, магистр, лектор, kazakh\_84@mail.ru,

<sup>1</sup>Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты, Қазақстан, Қарағанды, Ермеков көшесі, 63,

<sup>2</sup>«Қарағанды индустриялық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Теміртау, Республика даңғылы, 30,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Жұмыстың мақсаты хром кенін күйдірудің оңтайлы температуралық режимін және хромның тотығын қамтамасыз ететін қатты көміртегінің шығынын анықтау болып табылады. Хромды тотықсыздандыру үрдісі кеннен хромды қатты көміртегімен тотықсыздандыру арқылы модельдік элементар жүйеде зерттелді. Cr-C-O жүйесінде тотығу-тотықсыздану жағдайларының аймақтары және онда тотықсыздану, өтпелі және тотығу аймақтарының шекаралары анықталды. Тотықсыздану үрдісін жүзеге асыру үшін қажетті температура  $n = 1, 2, 3, 4$  және 5 моль кезінде 1100-1900 К температура диапазонында  $Cr_2O_3 + nC$  жүйесінің тепе-теңдік құрамдарын есептеу арқылы анықталды.

**Кілт сөздер:** хром кені, қатты көміртек, металдандыратын күйдіру, термодинамика, күлділігі төмен көмір, көмір, бағдарламалық кешен, карботермиялық тотықсыздану, фаза, газ, конденсацияланған.

## Кіріспе

Хром кендерінің оксидтерінен металдардың алдын ала қатты фазалы тотықсыздануы көміртектегі феррохром өндіру технологияларын дамытудың салыстырмалы түрде жаңа бағыты болып табылады. Алдын ала металдандырылған материалдарды пайдалану электр энергиясының меншікті шығынын едәуір азайтуға, қымбат тотықсыздандырғыштардың (кокс және антрацит) шығынын азайтуға, пештердің өнімділігін арттыруға, өңдеуге кондиционерленбеген материалдарды қолдануға мүмкіндік береді. Дегенмен, қатты фазаны алдын ала тотықсыздандыруды дұрыс ұйымдастыру үшін көміртектің кен оксидтерімен әрекеттесу процестері және қатты күйдегі хром-темір қорытпасының түзілу механизмі туралы нақты түсініктер болуы керек.

## Зерттеу әдістемесі

Хромды тотықсыздандырудың карботермиялық талдауын жасау үшін HSC Chemistry бағдарламалық кешені арқылы компьютерлік жүйеде жүзеге асырылатын металлургиялық процестерді толық термодинамикалық модельдеу (TMM) әдісі қолданылды. HSC Chemistry кешенді бағдарламасының дерекқоры SGTE бойынша негізделді

және жаңартылады. HSC Chemistry бағдарламалық кешеніндегі есептеулердегі қателік 4-6%-дан аспайды, бұл өте қолайлы.

## Алынған нәтижелер және оларды талқылау

Хромды тотықсыздандыру процесі кеннің қатты көміртегісінен хромды тотықсыздандыру арқылы модельдік элементар жүйеде зерттелді. 1 моль  $Cr_2O_3$  оксиді түріндегі қоспаның бастапқы құрамын және  $n$  және  $m$  ( $Cr_2O_3 + nC + mO$ ) параметрлері бойынша сәйкесінше өзгертін көміртегі мен оттегінің моль санын белгілеу арқылы қалыптасқан Cr-C-O [1-4] элементтік құрамы бар модельдік элементар жүйедегі есептеулер. Температура аралығы 1100-1900 К. Термодинамикалық таңдалған температура диапазоны үшін көрсетілген элементтерден түзілетін заттардың мүмкін мөлшері 15-20 болды. Маңызды заттар ретінде газ фазасы ( $CO, CO_2$ ) және конденсацияланған фаза ( $C, Cr, Cr_4C, Cr_3C_2, Cr_7C_3, Cr_2O_3$ ) болды.

Cr-C-O жүйесіндегі процестерді зерттеу кезінде келесі міндеттер шешілді: хромның толық тотықсыздануын қамтамасыз ететін көміртектің температурасы мен мөлшерін анықтау; тотығу және тотықсыздану процестері өтетін аймақтардың шекараларына сәйкес келетін жүйенің то-

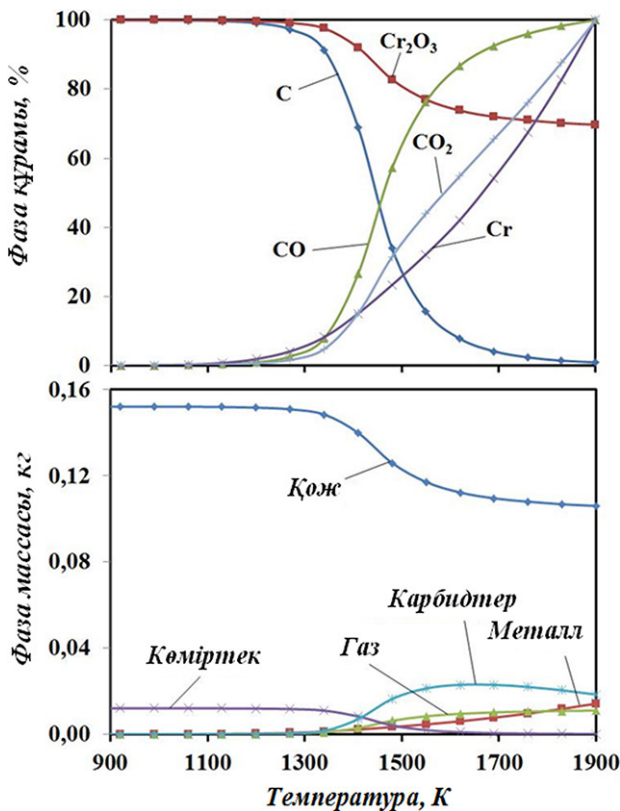
тығу потенциалын сипаттайтын  $a^*$  көрсеткішінің мәндерін анықтау. Есептеулерде индикатор қолданылды,  $a^* = m/N$ , жүйедегі оттегі мөлшерінің көміртегі мөлшеріне қатынасына тең. Тотықсыздану процесін жүзеге асыру үшін қажетті температура  $n = 1, 2, 3, 4$  және  $5$  мольдегі  $500-1900$  К температура диапазонында  $Cr_2O_3 + nC$  жүйесінің тепе-теңдік құрамдарын есептеу арқылы анықталды.

Көміртектің бұл мөлшері стехиометрия бойынша бір моль  $Cr_2O_3$  оксидінің толық тотықсыздануын анықтау үшін қажет. 1-5 суреттерде хромның тотықсыздану процесінің параметрлерінің  $N = 1, 2, 3, 4$  және  $5$  моль мөлшерінде көміртегі бар температураға тәуелділігі келтірілген. Толық тотықсыздану процестері  $t > 1073$  К кезінде жүретінін көруге болады, жүйеде хром оксидтері мүлдем жоқ.

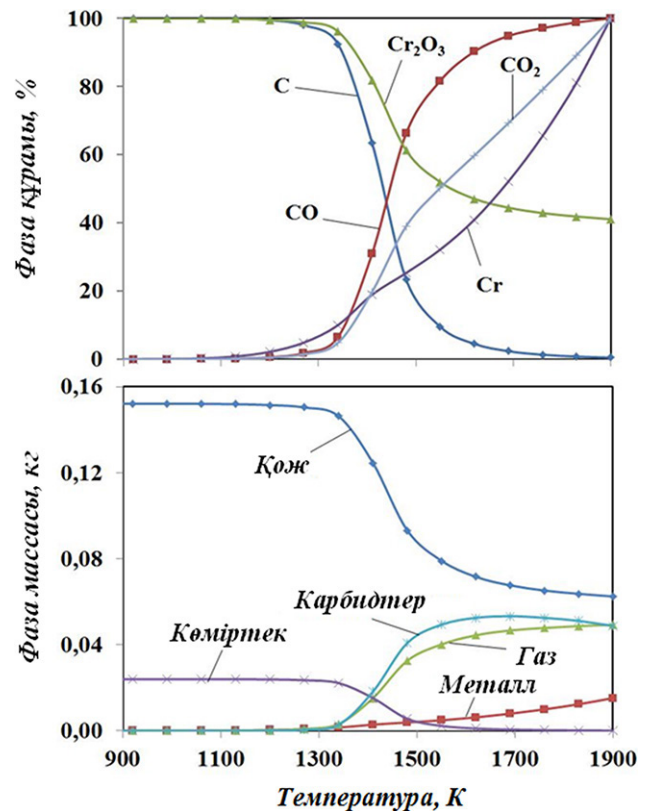
Cr-C-O жүйесіндегі тотығу және тотықсыздану процестерінің ағым аймақтарының шекараларына сәйкес келетін  $a^*$  көрсеткішінің мәндері  $m$  параметрі мен  $N = 5$  моль жүйесіндегі көміртегі мөлшері өзгерген кезде  $T = 1600$  К температураға арналған қоспаның тепе-теңдік құрамдарын дәйекті есептеу арқылы анықталды. Тотықсыздандырғыштың артық мөлшері тотықсыздандыру аймағын бөлу үшін қажет. Нөлден 8-ге дейінгі  $m$  параметрінің өзгеру аралығы жүйеде бос отте-

гі болған кезде артық көміртектің тотықсыздану жағдайынан тотығу жағдайына дейінгі модельдік жүйенің әрекетін зерттеуге мүмкіндік берді. 6-суретте газ және конденсацияланған фаза компоненттерінің абсолютті құрамының және газ фазасындағы оттегінің  $lg(X_{O_2})$  моль үлесінің логарифмінің  $a^*$  параметрге тәуелділігі келтірілген.

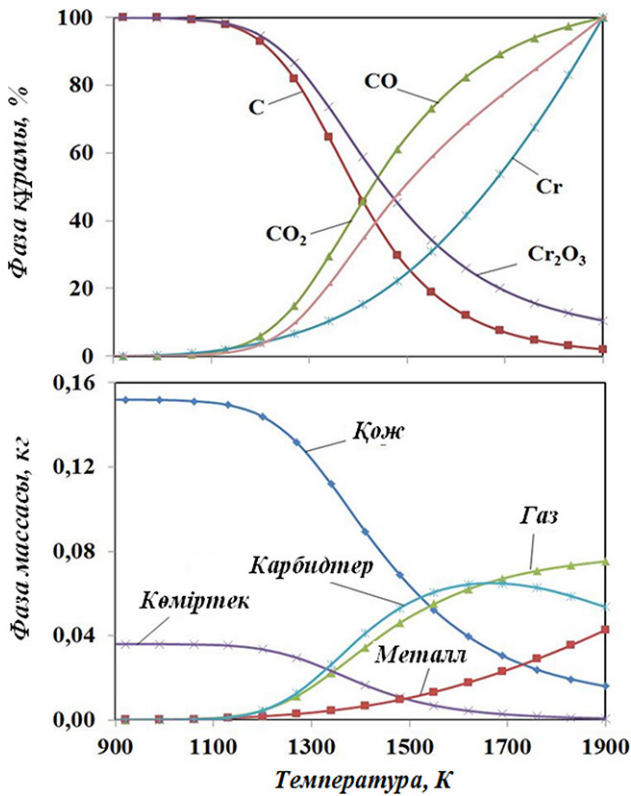
Есептеу нәтижелерін талдау үш аймақтың болуын көрсетті. Бірінші аймақ – тотықсыздандыру,  $a^* < 1,2$  мәндерінде пайда болады және екі аймақтан тұрады. Бірінші аймақ конденсацияланған фазада хром карбидінің болуымен сипатталады, екінші аймақта көміртегі жоқ, ал конденсацияланған фаза таза темірден тұрады. Тотықсыздану аймағының бірінші аймағында газ фазасы толығымен CO-дан тұрады, содан кейін оның мөлшері 80%-ға дейін төмендейді. Бұл мән тотықсыздану және өтпелі аймақтардың шекарасына сәйкес келеді ( $a^* = 1,2$ ). Өтпелі аймақ тотықсызданған хром концентрациясының (хром карбиді) толық жойылғанға дейін төмендеуімен және конденсацияланған фазадағы  $Cr_2O_3$  мөлшерінің өсуімен сипатталады. 6-суреттен бұл аймақ газ фазасындағы CO мен  $CO_2$  тұрақты қатынасына сәйкес келетінін көруге болады.  $a^*$  көрсеткішінің мәні 0-ден 1,2-ге дейін өзгереді.  $a^* = 1,2$  кезінде конденсацияланған фазада және жүйе тотығу аймағына өтеді. Тотығу аймағының бірінші



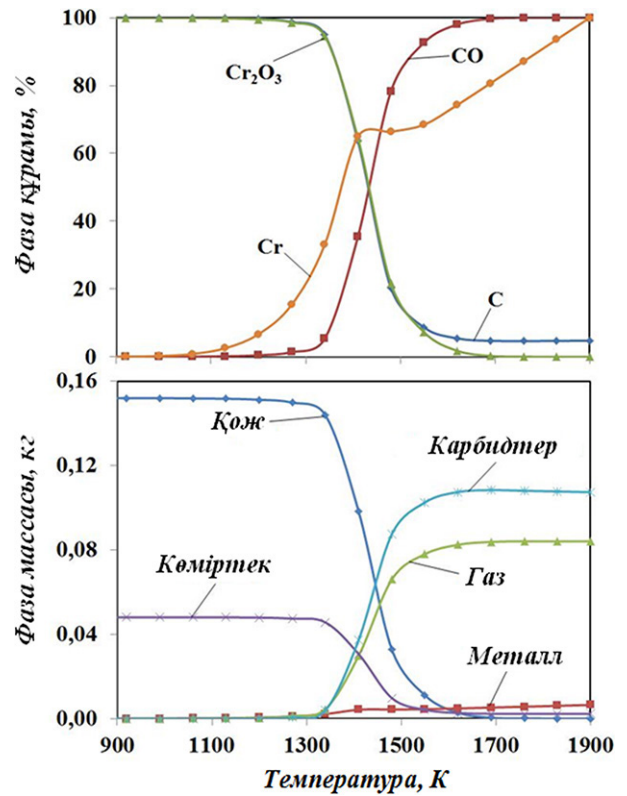
1-сурет –  $C_{тв} = 1$  моль кезінде Cr-C-O жүйесіндегі конденсацияланған және газ фазаларының құрамы мен массасының температураға тәуелділігі



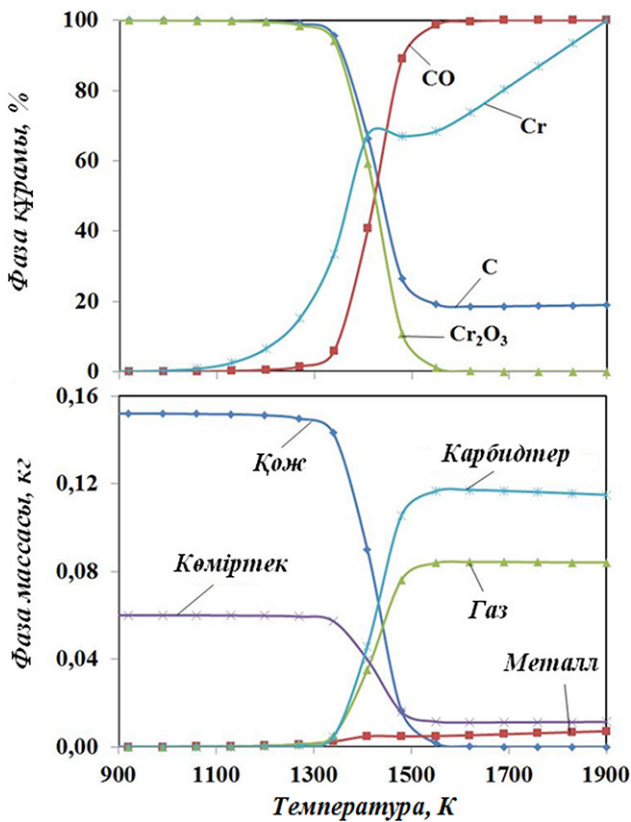
2-сурет –  $C_{тв} = 2$  моль кезінде Cr-C-O жүйесіндегі конденсацияланған және газ фазаларының құрамы мен массасының температураға тәуелділігі



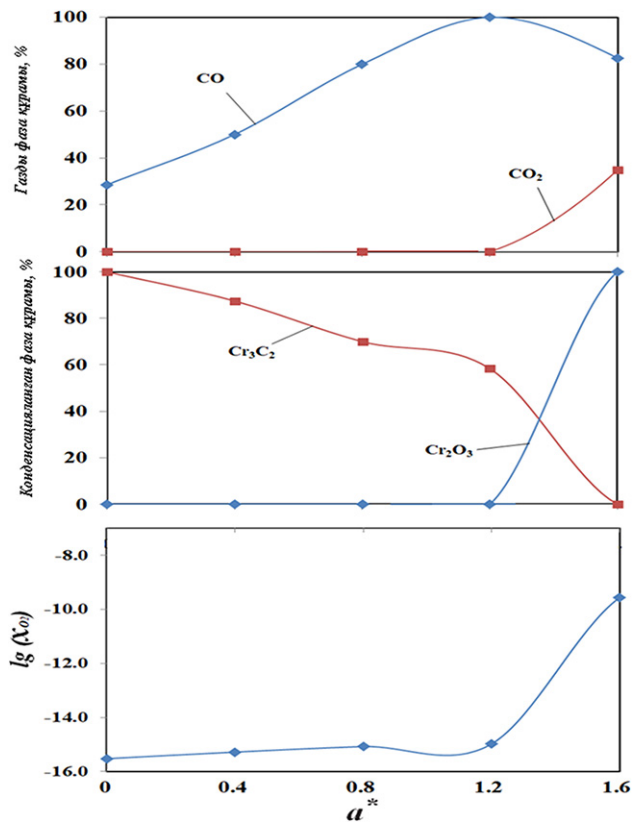
3-сурет –  $C_{TB} = 3$  моль кезінде Cr-C-O жүйесіндегі конденсацияланған және газ фазаларының құрамы мен массасының температураға тәуелділігі



4-сурет –  $C_{TB} = 4$  моль кезінде Cr-C-O жүйесіндегі конденсацияланған және газ фазаларының құрамы мен массасының температураға тәуелділігі



5-сурет –  $C_{TB} = 5$  моль кезінде Cr-C-O жүйесіндегі конденсацияланған және газ фазаларының құрамы мен массасының температураға тәуелділігі



6-сурет – Конденсацияланған, газ фазаларының құрамының және газ фазасындағы оттегінің моль үлесінің логарифмінің 1600 K температурадағы  $\alpha^*$  параметріне тәуелділігі



аймағы газдағы СО концентрациясының толық жойылғанға дейін одан әрі төмендеуімен сипатталады, конденсацияланған фаза 100% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Тотығу аймағының келесі өтпелі аймағында  $0,8 < a^* < 1,2$  кезінде Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> пайда болуы нәтижесінде Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> мөлшері төмендейді. Жүйе конденсацияланған фазада Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> оксидінің және газ фазасында бос оттегінің болуымен сипатталатын келесі аймаққа өтеді. Облыстардың шекаралары екі аймақ бөлінген  $\lg(x_{O_2}) = f(a^*)$  графигінде айқын көрінеді. Бірінші аймақ ұлғаюымен байланысты СО мазмұны, содан кейін СО-ның СО<sub>2</sub>-ға толық айналуымен төмендеуі, екінші аймақ – бос оттегінің пайда болуымен. Сондай-ақ, хром қосылыстары арасындағы екі фазалы тепе-теңдікке сәйкес келетін  $\lg(x_{O_2})$  қисығындағы 0,4-тен 1,2-ге дейінгі ерекше тоқтауларды атап өткен жөн. Осылайша, хром мен оның төменгі оксидтерінің тотығуында оттегі шығынының жоғарылауы тек тотығу фазасының азаюына әкеледі, ал атмосфераның оттегі потенциалы тұрақты болып қалады [5-8]. Осылайша, Cr-C-O жүйесіндегі тотығу-тотықсыздану жағдайларын зерттеу нәтижесінде тотықсыздану, өтпелі және тотығу аймақтарының шекаралары және

оларға сәйкес  $a^*$  мәндері анықталды. Хромды тотықсыздандырудың ең жақсы шарттары  $a^* < 0,4$  мәнге сәйкес келеді.

#### Қорытынды

«HSC Chemistry» және «Terra» бағдарламалық кешендерін пайдалана отырып термодинамикалық модельдеу нәтижесінде хромды тотықсыздандыру үшін қатты көміртектің оңтайлы шығыны анықталды. Термодинамикалық мәліметтерге сүйене отырып, хром кенін металдандыру үшін оңтайлы температура аралығы және көміртегі шығынының қажетті мөлшері анықталды. Хром кенін металдандыру үшін оңтайлы температура аралығы 1 моль Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> үшін 3 моль қатты көміртекті тұтыну кезінде 1500-1600 К аралығында болады. Мақала ИРН АР14871610 «Көміртегімен термиялық тотықсыздандырылған хром шикізатын қолдану арқылы жоғары көміртекті феррохромды балқыту технологиясының ғылыми негіздерін жасау және сынақтан өткізу» грантын іске асыру шеңберінде орындалды (жетекшісі Е.Ж. Шабанов).

*Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (грант № АР14871610).*

#### ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Рыбенко И.А., Ходосов И.Е. Разработка основ энергоэффективных процессов металлизации с использованием термодинамического моделирования // Известия высших учебных заведений. Черная Metallургия. 2016. Том 59. № 4. С. 237-244.
2. Zhang Yang Eling, Liu Yang, Wei Wen Ejie. Carbothermal reduction process of the Fe-Cr-O system // International journal of minerals, metallurgy and materials. 2013. 20. No. 10. Pp. 931-940.
3. Салина В.А., Жучков В.И., Заякин О.В. Изучение процессов получения сплавов системы Fe-Si-Ni-Cr методом термодинамического моделирования // Расплавы. 2019. № 1. С. 62-66.
4. Bondarenko I., Serzhanova N., Kuldeev Y., Sadykov N., Tastanova A. Beneficiation of chrome slurry tailings at donskey mining and beneficiation plant (DMBP) jsc to produce hard pellets // Metallurgija. 2022. Vol. 61. No. 3-4, pp. 767-770.
5. Mohan R., Deevakar L., Sivakumar V. Towards holistic technology solution to chromite ore processing residue (COPR) challenge; global issue: review and analysis // International Journal of Environmental Science and Technology. 2022. Vol 19, No. 1, pp. 665-676.
6. Nobuhiko T., Hatanaka A., Kaku H., Kurihara K., Saitoh G. Development of iron-making Technology // Nippon Steel Technical Report. 2012. No. 101. Pp. 79-88.
7. Ying Yi Zhang, Yuan Hong Qi, Zong Shu Zou, Yun Gang Li. Development Prospect of Rotary Hearth Furnace Process in China // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 746, pp. 533-553.
8. Dinel't V.M., Anikin A.E., Strakhov V.M. Reduction of iron ore by means of lignite semicoke. Coke and Chemistry. 2011, vol. 54, no. 5, pp. 165-168.

#### *Проведение термодинамического анализа процесса восстановления хрома по системе Cr-C-O при металлизации хромовых руд*

<sup>1</sup>МАХАМБЕТОВ Ерболат Нысаналыұлы, PhD, зав. лабораторией, mahambetovyerbolat@gmail.com,

<sup>1</sup>ШАБАНОВ Ербол Жақсылықұлы, PhD, научный сотрудник, ye.shabanov@gmail.com,

<sup>1</sup>\*ТӨЛЕУҚАДЫР Руслан Төлеужанұлы, магистр, младший научный сотрудник, rus.toleukadyr@gmail.com,

<sup>1</sup>СӘУЛЕБЕК Жалғас Қасықырбекұлы, магистр, инженер 1 категории, zhaga1998@gmail.com,

<sup>2</sup>ҚУАТБАЙ Ербол Қуатбайұлы, магистр, лектор, kazakh\_84@mail.ru,

<sup>2</sup>НАО «Карагандинский индустриальный университет», Казахстан, Темиртау, пр. Республики, 30,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Целью работы является определение оптимального температурного режима обжига хромовой руды и расхода твердого углерода, который обеспечивает восстановление хрома. Процесс восстановления хрома исследовали на модельной элементарной системе путём восстановления хрома из руды твёрдым углеродом. Были выявлены области окислительно-восстановительных условий в системе Cr-C-O, выявлены границы восстановительной, переходной и окислительных областей. Температуру, необходимую для реализации процесса восстановления, определяли путём расчётов равновесных составов системы  $Cr_2O_3 + nC$  в диапазоне температур 1100-1900 К при  $n = 1, 2, 3, 4$  и 5 моля.

**Ключевые слова:** хромовая руда, твёрдый углерод, металлизирующий обжиг, термодинамика, низкозольный уголь, программный комплекс, карботермическое восстановление, фаза, газовая, конденсированная.

### **Thermodynamic Analysis of the Chromium Reduction Process Using the Cr-C-O System During Metallization of Chromium Ores**

<sup>1</sup>MAKHAMBETOV Yerbolat, PhD, Head of Laboratory, mahambetovyerbolat@gmail.com,

<sup>1</sup>SHABANOV Yerbol, PhD, Researcher, ye.shabanov@gmail.com,

<sup>1</sup>\*TOLEUKADYR Ruslan, Master, Junior Researcher, rus.toleukadyr@gmail.com,

<sup>1</sup>SAULEBEK Zhalgas, Master, category 1 engineer, zhaga1998@gmail.com,

<sup>2</sup>KUATBAY Yerbol, Master, Lecturer, kazakh\_84@mail.ru,

<sup>1</sup>Zh. Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Kazakhstan, Karaganda, Ermekov Street, 63,

<sup>2</sup>NCJSC «Karaganda Industrial University», Kazakhstan, Temirtau, Republic Avenue, 30,

\*corresponding author.

**Abstract.** The aim of the work is to determine the optimal temperature regime for firing chromium ore and the consumption of solid carbon, which ensures the recovery of chromium. The process of chromium reduction was investigated on a model elementary system by reducing chromium from ore with solid carbon. The areas of redox conditions in the Cr-C-O system were identified, the boundaries of the reduction, transition and oxidative regions were revealed. The temperature required for the recovery process was determined by calculating the equilibrium compositions of the  $Cr_2O_3 + nC$  system in the temperature range 1100-1900 K at  $n = 1, 2, 3, 4$  and 5 moles.

**Keywords:** chrome ore, solid carbon, metallizing firing, thermodynamics, low-ash coal, software package, carbothermic recovery, phase, gas, condensed.

## REFERENCES

1. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Rybenko I.A., Khodosov I.E. Development of the fundamentals of energy-efficient metallization processes using thermodynamic modeling (Razrabotka osnov energoeffektivnykh processov metallizatsii s ispol'zovaniem termodinamicheskogo modelirovaniya) // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya metallurgiya. 2016. Vol. 59. No. 4. Pp. 237-244. [In Rus.].
2. Zhang Yang Eling, Liu Yang, Wei Wen Ejie. Carbothermal reduction process of the Fe-Cr-O system // International journal of minerals, metallurgy and materials. 2013. 20. No. 10. Pp. 931-940.
3. Salinaa V.A., Zhuchkova V.I., Zayakin O.V. Study of the processes of obtaining alloys of the Fe-Si-Ni-Cr system by thermodynamic modeling (Izuchenie processov polucheniya splavov sistemy Fe-Si-Ni-Cr metodom termodinamicheskogo modelirovaniya) // Rasplavy. 2019. No 1. Pp. 62-66. [In Rus.].
4. Bondarenko I., Serzhanova N., Kuldeev Y., Sadykov N., Tastanova A. Beneficiation of chrome slurry tailings at donskoy mining and beneficiation plant (DMBP) jsc to produce hard pellets // Metallurgija. 2022. Vol. 61. No. 3-4, pp. 767-770.
5. Mohan R., Deevakar L., Sivakumar V. Towards holistic technology solution to chromite ore processing residue (COPR) challenge; global issue: review and analysis // International Journal of Environmental Science and Technology. 2022. Vol. 19, No. 1, pp. 665-676.
6. Nobuhiko T., Hatanaka A., Kaku H., Kurihara K., Saitoh G. Development of iron-making Technology // Nippon Steel Technical Report. 2012. No. 101. Pp. 79-88.
7. Ying Yi Zhang, Yuan Hong Qi, Zong Shu Zou, Yun Gang Li. Development Prospect of Rotary Hearth Furnace Process in China // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 746, pp. 533-553.
8. Dinel't V.M., Anikin A.E., Strakhov V.M. Reduction of iron ore by means of lignite semicoke. Coke and Chemistry. 2011, vol. 54, no. 5, pp. 165-168. [In Rus.].