

ГТАМР 53.03.11

ХРОМ ТОТЫҒЫНЫҢ КӨМІРТЕГІМЕН ТОТЫҚСЫЗДАНУЫНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ АНАЛИЗИ

О.Р. САРИЕВ^[0000-0003-0745-848X], **Ж.М. ЖҰМАБАЕВА**^{[0000-0003-2593-3811].*},
Б.С. КЕЛАМАНОВ^[0000-0001-7646-9153], **А.М. ӘБДІРАШИТ**^[0000-0003-0718-3041]
Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан.

*e-mail: zhumabayeva971@mail.ru

Аңдатпа. Хром негізінен болатты легірлеу үшін және феррохром өндірісінде кеңінен қолданылатын элемент болып табылады. Мақалада хромның физика-химиялық қасиеттеріне, сонын ішінде кристалдық торына тоқталдық. Хром табиғатта таза күйінде кездеспейтіндіктен оны тотықсыздандыру қажет. Жалпы мақаланың негізгі мақсаттарының бірі хромның тотықсыздану үрдісін зерттеу және талдау болып табылады. Тотықсыздану үрдісі өту фазасына байланысты бірнеше түрге бөлінеді. Бұл мақалада қатты фазалы тотықсыздануға талдау жасалынған. Себебі, металдарды құрамында көмірі бар тотықсыздандырғыштармен (кокс, жартылай кокс, антрацит) тотықсыздандыру феррокорытпа өндірісінде үлкен басымдылыққа ие. Хромның қатты фазалы тотықсыздануының өту механизмі әлі соңына дейін толық зерттелмеген үрдіс болып табылады. Көптеген болат және феррокорытпа өндірісінде хромның құрамында көміртегінің мөлшірінің аз болуы маңызды.

Мақалада хром тотығының қатты фазалы тотықсыздануы, сондай-ақ атмосфералық қысым кезінде хром тотығының көміртегімен қатты фазалық тотықсыздануының термодинамикасы қарастырылады. Сонымен қатар Гельд В.П. және Есин О.А. ғалымдарының монографияларына сүйене отырып жасалынған. Хром тотығының көміртекпен тотықсыздануының термодинамикалық жағдайларын қарастыру вакуумда төмен көміртекті хромды осы әдіспен алуға болатындығын көрсетеді. Алынған деректер теоретикалық құндылыққа ие және зертханалық зерттеулер үшін пайдаланылады.

Түйін сөздер: хром, легірлеу, жүйе, фаза, тотықсыздану, қатты фазалы тотықсыздану.

Кіріспе

Хром болатты легірлеу үшін (беріктілігін, ыстыққа төзімділігін, жемірілуге төзімді болаттарды алу үшін және т.б. механикалық қасиеттерін арттыру үшін) қолданылатын, ең көп таралған элементтердің бірі болып табылады [1]. Таза хромның кристалдық торы көлемді-орталықтанған текше тәріздес, демек, изоморфты α – Fe болып табылады [2]. Темірдегі хром ерітіндісінің қасиеттері идеалды ерітіндінің қасиеттеріне жақын. Тотықтыра балқыту кезінде хром жылу бөліп тотыға отыра CrO, Cr₂O₃, CrO₃ тотықтарын түзейді. Қышқылды үрдіс кезінде (қышқыл қож) хромның тотығуы CrO оксидіне дейін, негізді үрдіс барысында Cr₂O₃-ке дейін жүреді. Cr₂O₃ белсенділігіне негізінен қождың барлық негізді тотықтары (FeO, CaO, MgO) әсер етеді, себебі негізді қождарда темір (FeCr₂O₄), кальций, магний хромиттері пайда болады.

Негізгі бөлім

Хромның тотығу дәрежесін сипаттауға және оның қожға өтуіне әдетте хромның таралу коэффициентін $(Cr)/[Cr]$ қолданады [2]. $(Cr)/[Cr]$ қатынас мәні неғұрлым жоғары болса, хромның тотығу дәрежесі соғұрлым жоғары. Қышқылдар үшін және негізді қождар үшін хромның тотығу дәрежесі қождың тотығуына байланысты және келесідей өрнектеледі:

қышқыл қождар үшін: $[Cr] + (FeO) = (Cr) + Fe_{ж}$,

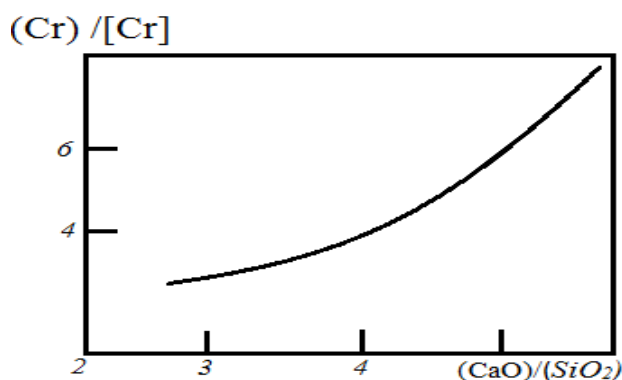
$K' = (Cr)/[Cr] \cdot a_{(FeO)}$, бұл жерде $(Cr)/[Cr] = K' \cdot a_{(FeO)}$, және $(Cr)/[Cr]$ ара қатынасы ғана қарастырылады.

негізді қождар үшін: $2[Cr] + 3(FeO) = (Cr_2O_3) + 3Fe_{ж}$,

$K'' = (Cr_2O_3)/[Cr]^2 \cdot a_{(FeO)}^3$, бұл жерде $(Cr)/[Cr]^2 = K'' \cdot a_{(FeO)}^3$;

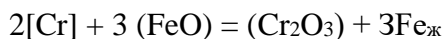
$(Cr)/[Cr]^2$ шамасы $a_{(FeO)}^3$ тәуелді;

Негізді қождарда қышқылдық қасиеттері бар Cr_2O_3 тотығы темір тотықтарымен өзара әрекеттеседі, нәтижесінде $FeO \cdot Cr_2O_3$ (немесе $FeCr_2O_4$) хромит түзіледі [3]. Негізділік жоғарылаған кезде қождағы хромның жоғалуы артады (1-сурет). Қождың негізділігі жоғары кезде:



1-сурет – Балқыту кезіндегі хромның таралу коэффициентінің $(Cr)/[Cr]$ қождың негізділігіне тәуелділігі $(CaO)/(SiO_2)$ (металл температурасы 1550 – 1650 °C)

$CaO / SiO_2 < 3$ реакция үшін

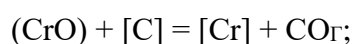
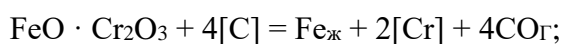


$$\Delta G^{\circ} = -367,88 + 0,71 \cdot T \text{ кДж/моль.}$$

Коэффициенттердің мәндері мен белгілері температураның жоғарылауы кезінде хромның тотықсыздануы мүмкін екендігін көрсетеді. Шын мәнінде, болат балқытатын агрегаттар жағдайында хромның тотықсыздануына қол жеткізу оңай. Хромды болаттарды балқытқан кезде, шикіқұрамның құрамында хромның қандайда бір мөлшері бар болатын болса, оны пайдалануға ұмтылады. Қождағы хромның тотықсыздануы қожды оттекіздендіру кезінде мүмкін болады (мысалы, ферросилиций). Бұл кезде қож тотығуы азаяды және

хромиттер жойылады. Алайда қождың оттексізденуі қожда фосфор аз болған жағдайда ғана мүмкін болады, өйткені бұрын қожға өткен фосфор оттексіздену кезінде тотықсызданып қайта металға өтеді. Cr_2O_3 - тің балқу температурасы 2000°C -тан асады және балқытудың бастапқы кезеңінде (төмен температураларда) шикіқұрамдағы хромның тотығуы және Cr_2O_3 сияқты баяу балқитын тотықпен қожды байыту өте тұтқыр* қождарды алуға әкелуі мүмкін, *бұл жағдайды ескеру қажет [4].

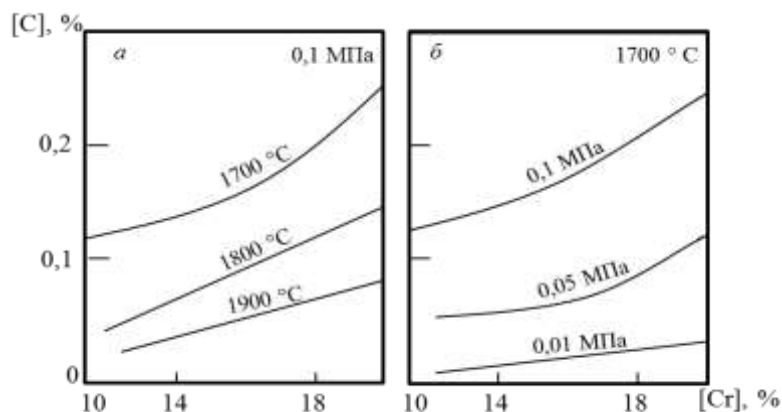
Көптеген жоғары хромды болат үшін (мысалы, коррозияға тұрақты) немесе қорытпалар үшін құрамындағы көміртегінің төмен мөлшерін алу өте маңызды [5]. Көміртектің тотығуы жоғары тотығу потенциалында ғана мүмкін, онда хромның қарқынды тотығуы және оның қожға өтуі де болады. Хром тотығуының алдын алу үшін ваннада өте жоғары температура болуы керек. Жоғары температураларда көміртектің қатысуымен келесідей үрдістер өтеді:



$$K = (\text{Cr})_{\text{Pco}} / (\text{CrO}) * [\text{C}],$$

Бұл жерде $\text{Cr} = \frac{K * (\text{CrO}) * [\text{C}]}{\text{Pco}}$, Pco қысымының төмендеуі реакцияның тепе-теңдігін оңға жылжытады, көміртек тотығады және хром тотықсызданады (2-сурет). Pco төмендеуі металды вакууммен өңдеу кезінде немесе металды оттегі және инертті газ қоспасымен үрлеу кезінде қол жеткізіледі (бұл ретте газ көпіршіктеріндегі CO парциалды қысымның төмендеуі қамтамасыз етіледі). Pco азаюы құрамында көміртегі аз жоғары хромды қорытпаларды конвертерде хромның шығынынсыз алуға мүмкіндік береді. Бұған қазіргі уақытта кеңінен қолданылатын вакуум-оттегі және аргон-оттекті көміртексіздендіру тәсілдерін келтіруге болады.

Хром тотығының көміртегімен өзара әрекеттесуінің термодинамикалық талдауы көптеген жұмыстарда келтіріледі. Мысалы, атмосфералық қысым кезінде хром тотығын көміртегімен тотықсыздануының термодинамикасы Гельд пен Есин [6] монографиясында толығымен қаралды, олар $\text{Cr}_x\text{C}_{y(\text{ТВ})} - \text{Cr}_2\text{O}_{3(\text{ТВ})} - \text{Cr}_{(\text{ТВ})} - \text{CO}_{(\text{газ})} - \text{C}_{(\text{ТВ})}$ жүйесінде келесі реакциялардың өтуі кезінде тепе-теңдік шарттарын зерттеді (Cr_{23}C_6 хром карбидінің Cr_4C формуласы бар екенін ескере отырып):



2-Сурет – Fe – C – Cr – O жүйесіндегі температураға (а) және P_{CO} (б) парциалды қысымға байланысты хром мен көміртектің тепе-тең концентрациялары.



1 және 5 үрдістерде сипатталатын жүйелер төрт фазалы және үш компонентті (хром, көміртек, оттегі) болып табылады, сондықтан фазалар ережесіне сәйкес олардың тепе-теңдікті анықтайтын бір тәуелсіз айнымалы болуы тиіс.

Келтірілген реакциялар эндотермиялық болғандықтан, температураның жоғарылауы тотықсыздану үрдістерінің неғұрлым толық өтуін тудырады. 1 – 5 үрдістердің жылулық әсерінің сандық температуралық тәуелділігі келесі теңдеулермен анықталады:

$$\Delta H_1 = 801362 - 24,95T + 10,119 \cdot 10^{-3}T^2 - 29,89 \cdot 10^{-6}T^3 - 8,315 \cdot 10^5 T^{-1}, \quad (6)$$

$$\Delta H_1 = 740909 - 2,483T + 14,290 \cdot 10^{-3}T^2 - 16,20 \cdot 10^5 T^{-1}, \quad (7)$$

$$\Delta H_1 = 855656 - 96,263T + 16,856 \cdot 10^{-3}T^2 - 72,867 \cdot 10^5 T^{-1}, \quad (8)$$

$$\Delta H_1 = 939719 - 42,45T + 1,038 \cdot 10^{-3}T^2 - 20,64 \cdot 10^5 T^{-1}, \quad (9)$$

$$\Delta H_1 = 1023999 - 64,14T + 24,141 \cdot 10^{-3}T^2 - 27,38 \cdot 10^5 T^{-1}, \quad (10)$$

1 – 5 реакциялардың өтуі кезінде изобарлық потенциалдың өзгеруі Гельд пен Есиннің есебі бойынша келесі тәуелділіктермен анықталады:

$$\Delta Z_1^\circ = 801362 + 24,95T \ln T - 10,119 \cdot 10^{-3}T^2 + 14,95 \cdot 10^{-6}T^3 - 4,157 \cdot 10^5 T^{-1} - 717,28T, \quad (11)$$

$$\Delta Z_2^\circ = 801362 + 24,95T \ln T - 14,290 \cdot 10^{-3}T^2 + 8,101 \cdot 10^5 T^{-1} - 579,54T, \quad (12)$$

$$\Delta Z_3^\circ = 855656 + 96,263T \ln T - 16,856 \cdot 10^{-3}T^2 + 36,434 \cdot 10^5 T^{-1} - 816,4T, \quad (13)$$

$$\Delta Z_4^\circ = 939719 + 42,45T \ln T - 8,038 \cdot 10^{-3}T^2 - 10,320 \cdot 10^5 T^{-1} - 816,4T, \quad (14)$$

$$\Delta Z_5^\circ = 1023999 + 64,14T \ln T - 24,141 \cdot 10^{-3}T^2 - 13,69 \cdot 10^5 T^{-1} - 953,79T, \quad (15)$$

Елютин деректерін және т. б. [7] пайдалана отырып, 1 – 5 реакциялар кезінде изобарлық потенциалдың өзгеруін есептеу үшін келесідей қарапайым теңдеулермен өрнектеуге болады:

$$\Delta Z_1 = 818561 - 540,77T, \quad (16)$$

$$\Delta Z_2 = 762542 - 548,72T, \quad (17)$$

$$\Delta Z_3 = 794\,872 - 527,41T, \quad (18)$$

$$\Delta Z_4 = 929134 - 497,0T, \quad (19)$$

$$\Delta Z_5 = 1043016 - 534,49T \quad (20)$$

1-5 үрдістер кезіндегі изобарлық потенциалдың өзгеруінің графикалық тәуелділігі 3-суретте көрсетілген.

Гельд пен Есиннің есептері бойынша 1 – 5 реакциялар болған кезде көміртегі тотығының тепе-тең парциалды қысымының шамасы мынадай полиномдармен көрсетіледі:

$$\lg P_{CO(1)} = -\frac{13784}{T} + 1,75 \lg T + 3,5, \quad (21)$$

$$\lg P_{CO(2)} = -\frac{12700}{T} + 9,14, \quad (22)$$

$$\lg P_{CO(3)} = -\frac{13274}{T} + 8,818, \quad (23)$$

$$\lg P_{CO(4)} = -\frac{15505}{T} + 8,234, \quad (24)$$

$$\lg P_{CO(5)} = -\frac{17264}{T} + 8,75, \quad (25)$$

1-кестеде 21 – 25 теңдеулері бойынша 1500 – 2000 ° К температура кезіндегі $Lg P_{CO}$ нәтижелері келтірілген:

1-Кесте - 1 – 5 үрдістер үшін $Lg P_{Co-ң}$ мәні

Үрдіс	1500 ° К	1750 ° К	2000 ° К
1	-0,12	+1,29	+2,38
2	+0,67	+1,90	+2,79
3	-0,03	+1,23	+2,17
4	-2,14	-0,62	+0,48
5	-2,75	-1,10	+0,11

1-кестеде келтірілген мәліметтерде көрсетілгендей, температураның барлық қабылданған интервалында карбидтердің, әсіресе Cr_3C_2 карбидінің түзілу реакциялары ең көп өтуі тиіс, ал 1 және 5 реакцияларының өтуі термодинамикалық тұрғыдан аз болуы мүмкін. Осылайша, қатты хром тотығын көміртегімен тотықсыздандырудың термодинамикалық шарттарын қарастырып атмосфералық қысым кезінде 1-ші реакциясы бойынша металл хромды алудың жүзеге асырылмайтыны туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді.

Сұйық хром тотығын көміртегімен тотықсыздандырудың термодинамикалық шарттарын зерттеу балқымадағы сұйық Cr_2C_3 -ң термодинамикалық сипаттамаларының болмауымен қиындайды және бұл балқыманы ғалымдар [6] былайша есептеді. Диссоциация реакциясының тепе-теңдік тұрақтылығының теңдеуінен карбидтің диссоциация дәрежесін α анықтады:

$$K_N = \frac{N_{Cr}^7 \cdot N_C^3}{N_{Cr_7C_3}} \quad (26)$$

бұл жерде N_{Cr} , N_C және $N_{Cr_7C_3}$ балқымдағы заттардың молярлық үлесі.

1 моль Cr_7C_3 диссоциацияланғанда жүйеде $(1-\alpha)$ моль Cr_7C_3 , Cr -ң 7α молі және C -ң 3α молі болады. Сондықтан:

$$N_{Cr} = \frac{7\alpha}{1 + 9\alpha} \quad (27)$$

$$N_C = \frac{3\alpha}{1 + 9\alpha} \quad (28)$$

$$N_{Cr_7C_3} = \frac{1 - \alpha}{1 + 9\alpha} \quad (29)$$

Демек,

$$K_N = \frac{3^3 \cdot 7^7 \cdot \alpha^{10}}{(1 + 9\alpha)(2 - \alpha)} \quad (30)$$

(30) теңдеуді шеше отырып, авторлар [8] диссоциация константасының келесі мәндерін алды $Cr_7C_3: \alpha_{1700}=6,4\%$ және $\alpha_{2000}=7,5\%$, бұл балқымдағы хром карбидінің жоғары беріктігін дәлелдейді. Cr_7C_3 -ң балқу жылуы таза хромның балқу жылуына тең және сандық мәндерін алып қарайтын болсақ, айырмашылығы көп емес, осыған орай Гельд пен Есин [6] өздерінің бірінші жуықтауларында келесі реакция нәтижесінде алынған ΔH -ң мәні:



сұйық Cr_7C_3 -ң әрекеттесуі нәтижесінде алынған сұйық хромға да таралады деп болжайды. Осыған ұқсас алғышарттарға сүйене отырып, сұйық фазадағы (1) – (5) реакциялардағы тотықсыздандудың термодинамикалық сипаттамаларының айтарлықтай өзгеруіне әкеліп соқпайды және іс жүзінде жалғыз конденсацияланған реакция өнімі хромның карбиді болып есептелінеді. Бұл ереже көптеген зерттеу жұмыстарымен расталады, мысалы, [6] монографияда оларға шолу жасалған.

Ле-Шателье ережесіне сәйкес (1) – (5) реакциялардың өтуі кезінде, түзілетін газ тәрізді көміртегі тотығы тотықсыздану кезінде оңға жылжытылуы мүмкін. Бұл кезде, хром тотығының қатысуымен, салыстырмалы аз қысымда Cr_2C_3 , Cr_7C_4 және Cr_4C карбидтері тұрақсыз болады және хром тотығын тотықсыздандыра отырып металл хромды алады.

Зерттерулер [9] негізінде $1570 - 1720^\circ K$ вакуумдағы хром тотығын көміртегімен тотықсыздандыру барысында жүйеде қысым төмендеген кезде және шикі құрамда еркін хром тотығы болған кезде Cr_7C_3 карбидін Cr_4C карбидіне дейін және одан әрі металлдық хромға дейін біртіндеп көміртектендіру үрдісі жүреді. $1670^\circ K$ кезінде [10] Cr_4C карбидінің көміртектендіру үрдісінің өтуі үшін жүйедегі қысым $1,3 \cdot 10^{-3}$ Бардан аз болуы қажет.

Тұжырым

Осылайша, хром тотығының көміртегімен тотықсыздануының термодинамикалық талдауы келесідей: егер атмосфералық қысым кезінде карбидтердің түзілу үрдісінің өтуі мүмкін болса, онда вакуумда құрамында көміртегінің төмен мөлшері бар металданған хромның карбидтерін артық хром тотығымен ыдырату жолымен алуға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Поволоцкий Д.Я. Электрометаллургия стали и ферросплавов; Книга для вузов. 3-е издание, переработ. и доп. / Д.Я. Поволоцкий, Н.В. Мальков, В.Е. Роцин – М.: Metallurgiya, 1995. – 592 с.
2. Химический энциклопедический словарь / Под. ред. И.Л.Клунянца. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 792 с.
3. Морозов А.Н. Изменение состава и структуры хромистых руд в процессе их нагревания и восстановления / А.Н. Морозов, С.С. Лисняк, А.М. Беликов // Сталь. – 1963. – № 2. – С. 137-139.
4. Серета Б.П. Обробка металів тиском. Навчальний посібник / Б.П. Серета. – Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної академії, 2009. – 343 с.
5. Карнаухова В.Н. Технология низкоуглеродистого феррохрома / В.Н. Карнаухова, Ю.И. Воронов, В.П. Зайко, В.И. Жучков. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 482 с.
6. Гельд В.П. Процессы высокотемпературного восстановления / В.П. Гельд, О.А. Есин. – М.: Metallurgiya, 1957. – 646 с.
7. Елютин В.П. Производство ферросплавов / В.П. Елютин, Ю.А. Павлов, Б.Е. Левин, Е.М. Алексеев. – М.: Metallurgizdat, 1957. – 436 с.
8. Елютин В.П. Ферросплавы / В.П. Елютин, Ю.А. Павлов, Б.Е. Левин. – М.: Metallurgizdat, 1951. – 496 с.
9. Карсанов Г.В. Вопросы вакуумной металлургии хрома / Г.В. Карсанов, Г.И. Локтионов, М.В. Мальцев // Исследование по жаропрочным сплавам. Изд. АН СССР. – 1962. – Т. 8, №1. – С. 249.
10. Васютинский Б.М. К вопросу о структуре хрома при температурах 700 – 1700 °С / Б.М. Васютинский, Г.Н. Картмазов, В.А. Финкель // Физика металлов и металловедения. – 1961. – Т. 12, №5. – С. 771 – 773.

References

1. Povolotskiy D.Ya., Malkov N.V., Roshin V.E. (1995). Elektrometallurhiya stali I ferrosplavov [Electrometallurgy of steel and ferroalloys]. M.: Metallurgiya [in Russian].
2. Klunyantsa I.L. (1983). Khimicheskii entsiklopedicheskii slovar [The chemical Encyclopedic Dictionary]. Sovetskaya entsiklopediya [in Russian].
3. Morozov A.N., Lisnyak S.S., Belikov A.M. (1963). Izmenenie sostava I struktury khromistykh rud v protsesse ikh nahrevanya I vosstanovleniya [The changes in the composition and structure of chromium ores during their heating and recovery]. Stal'-Stal, №2., 137-139 [in Russian].
4. Sereda B.P. (2009). Obrabotka metaliv tiskom [The metal processing by pressure]. Zaporizhzhya: Vidavnictvo zaporiz'koi derjavnoi akademii [in Ukrainian].

5. Karnauhov V.N., Voronov Iy.I., Zaiko V.P., Zhuchkov V.I. (2001). Tekhnologiya nizkouglerodistogo ferrokhroma [The technology of low-carbon ferrochromium]. Ekaterenburg: UrO RAN [in Russian].
6. Geld V.P., Esin O.A. (1957). Protsessy vysokotemperaturnogo vosstanovleniya [High-temperature reduction processes]. M.: Metallurgiya [In Russian].
7. Eliytin V.P., Pavlov Iy.A., Levin B.E., Alekseev E.M. (1957). Proizvodstvo ferrosplavov [The production of ferroalloys]. M.: Metallurhizdat [in Russian].
8. Eliytin V.P., Pavlov Iy.A., Levin B.E. (1951). Ferrosplavy [The ferroalloys]. M.: Metallurhizdat [in Russian].
9. Karsanov G.V., Loktionov G.I., Malcev M.B. (1962). Voprosy vakuumnoi metallurhii khroma. [The questions of vacuum metallurgy of chromium]. Issledovanie po zharoprochnym splavam — The research on heat-resistant alloys, Izdatelstvo – Publishing office: Academy of Sciences of the USSR [in Russian].
10. Vasiytinskii B.M., Kartmazov G.N., Finkel V.A. (1961). K voprosu o structure khroma pri temperaturakh 700 – 1700°C [On the question of the structure of chromium at temperatures of 700 – 1700°C]. Fizika metallov i metallovideniya — The physics of metals and metallology, Vol. 5, № 12, 771 – 773 [in Russian].

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА ХРОМА УГЛЕРОДОМ

О.Р. САРИЕВ, Ж.М. ЖҰМАБАЕВА*, Б.С. КЕЛАМАНОВ, А.М. ӘБДІРАШИТ

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

* e-mail: zhumabayeva971@mail.ru

Аннотация. Хром в основном используется для легирования стали и широко используется в производстве феррохрома. В статье мы коснулись физико-химических свойств хрома, в том числе кристаллической решетки. Поскольку хром не встречается в природе в чистом виде, его необходимо восстанавливать. В целом, одной из основных целей статьи является изучение и анализ процесса восстановления хрома. Процесс восстановления делится на несколько видов в зависимости от фазы перехода. В данной статье сделан анализ твердофазного восстановления. Дело в том, что восстановление металлов углеродсодержащими восстановителями (кокс, полукокс, антрацит) имеет большое преимущество в производстве ферросплавов. Механизм протекания твердофазного восстановления хрома до сих пор не до конца изучен. В большинстве стальных и ферросплавных производств важно, чтобы хром содержал небольшое количество углерода.

В статье рассматривается твердофазное восстановление оксида хрома, а также термодинамика твердофазного восстановления оксида хрома с углеродом при атмосферном давлении. Разработан также на основе монографий ученых Гельда В.П. и Есина О.А.. Рассмотрение термодинамических условий восстановления окиси хрома углеродом, показывает что в вакууме этим методом может быть получен металлический хром с низким содержанием углерода. Полученные данные имеют теоретическую ценность и используются для лабораторных исследований.

Ключевые слова: хром, легирование, система, фаза, восстановление, твердофазное восстановление.

THEORETICAL ANALYSIS OF THE REDUCTION OF CHROME OXIDE WITH CARBON

O.R. SARIEV, ZH.M. ZHUMABAYEVA*, B.S. KELAMANOV, A.M. ABDRAHIT

K. Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan.

*e-mail: zhumabayeva971@mail.ru

Abstract. Chromium is mainly used for steel alloying and is widely used in the production of ferrochrome. In this article, we touched on the physical and chemical properties of chromium, including the crystal lattice. Since chromium does not occur in nature in its pure form, it must be restored. In general, one of the main goals of the article is to study and analyze the process of chromium recovery. The recovery process is divided into several types, depending on the transition phase. In this article, an analysis of solid-phase reduction is made. The fact is that the reduction of metals with carbon-containing reducing agents (coke, semi-coke, anthracite) has a great advantage in the production of ferroalloys. The mechanism of the solid-phase reduction of chromium is still not fully understood. In most steel and ferroalloy industries, it is important that chromium contains a small amount of carbon.

The article deals with the solid-phase reduction of chromium oxide, as well as the thermodynamics of the solid-phase reduction of chromium oxide with carbon at atmospheric pressure. It is also developed on the basis of monographs by scientists Gueld V. P. and Esin O. A. Consideration of the thermodynamic conditions for the reduction of chromium oxide by carbon shows that this method can be used to obtain metallic chromium with a low carbon content in a vacuum. The obtained data are of theoretical value and are used for laboratory research.

Key words: chromium, alloying, system, phase, reduction, solid-phase reduction.