

## Cr-Si-O-C სისტემაში კომპონენტების ურთიერთქმედების თერმოდინამიკური ანალიზი და მისი ეკოლოგიური ასპექტები

ჯანელიძე ი.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ქრომი და მისი შენადნობები ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე ტექნიკაში, რაც განპირობებულია მისი ისეთი მნიშვნელოვანი კომპლექსური თვისობრივი უპირატესობებით, როგორცაა ფიზიკო-მექანიკური მდგრადობა (მაღალი სიმტკიცე, სისალე, ცვეთამდედეობა), ცეცხლგამძლეობა, კოროზიამდედეობა, მაღალი ტრიბოლოგიური მაჩვენებლები და სხვა [1,2]. ქრომი ხასიათდება განსაკუთრებული ანტიკოროზიული თვისებებით [3]. ის მალეგირებელი ელემენტის სახით შედის უმეტესად ძვირადღირებული ლეგირებული და მაღალლეგირებული უჟანგავი ფოლადების შემადგენლობაში, მათ შორის რკინის ფუძეზე არსებულ ისეთ ფეროშენადნობებშიც, როგორცაა თხევდი ფოლადის ლუმელსგარე (შუალედურ ციცხვში) დამუშავებისთვის აუცილებელი კომპლექსური (პოლიკომპონენტური) განმჟანგველები, მალეგირებელი ლიგატურები და სხმულების მიკრო და მაკროსტრუქტურული აგებულების მაკორექტირებელი მოდიფიკატორები [4, 5].

ქრომის შენადნობების წარმოების არსებული ტექნოლოგიური სქემები [6-8] ბევრ შემთხვევაში არ შეესაბამება სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის თანამედროვე დონეს და საჭიროებს გაუმჯობესება-ოპტიმიზირებას, ამიტომ მადანთერმულ ელექტროლუმელებში ნახშირბადადღენითი მეთოდით მათი მიღების ტექნოლოგიის ფიზიკო-ქიმიური საფუძვლების სრულყოფა წარმოადგენს აქტუალურ ამოცანას.

ამ საკითხების გადასაწყვეტად აუცილებელია ქრომის, სილიციუმის და სხვა ლითონების შემცველი მარტივი და რთული სისტემების შემდგომი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევა. ამასთან, უპირატესობა უნდა მიეძღვოს იმ სისტემებს, რომელთა შედგენილობა უახლოვდება რეალურ, სტანდარტულ ფეროშენადნობებს. ამ თვალსაზრისით, განსაკუთრებულ აქტუალობას იძენს ქრომიანი ფეროშენადნობის კარბოთერმული და ლითონთერმული წარმოების თავისებურებების შესწავლა ქრომშემცველი მინერალური ნედლეულიდან (მადნიდან) ქრომის აღდგენა-ქიმიური რეაქციების თერმოდინამიკური ანალიზის საშუალებით.

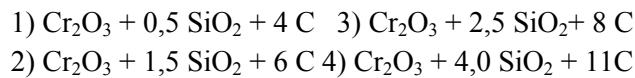
აღნიშნული მიდგომა ასევე მნიშვნელოვანია ეკოლოგიური თვალსაზრისითაც. კერძოდ, ქრომი და მისი მადნები, როგორც ყველა სხვა დანარჩენი ლითონშემცველი მინერალური ნედლეული განეკუთვნება არაგანახლებად (ამოწურვად) ბუნებრივ რესურსთა ჯგუფს. ქრომი, რკინის, ალუმინის, სპილენძისა და მანგანუმის შემდეგ, მსოფლიოში, ერთ-ერთი ყველაზე მაღალმოთხოვნი და ლითონია. მისი ათვისებისა და სასარგებლო გამოყენების მაჩვენებელი ნედლეულის მეტალურგიული გადამუშავების პირობებში, საუკეთესო შემთხვევაშიც კი 80%-ს არ აღემატება [9]. ერთის მხრივ, სწორედ აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტისა და წარმოების ტექნიკო-ეკონომიკური მაჩვენებლების გაუმჯობესების მიზნით, ხოლო მეორეს მხრივ, გარემოზე მავნე ზემოქმედების შემცირების აუცილებლობიდან გამომდინარე, კვლევებში [10,11] დასმულია საკითხი ლითონშემცველი ნედლეულის ნარჩენების მეორადი გამოყენების (რეციკლირების) აუცილებლობის შესახებ და შემოთავაზებულია ნარჩენების რეციკლირების ტექნოლოგიური და

ორგანიზაციულ-ეკონომიკური სისტემის სრულყოფის ახალი მოდელი. მაგრამ, ქრომშემცველი ბუნებრივი და ტექნოგენური (მეორადი) ნედლეულის მაქსიმალური ათვისების პრობლემის წარმატებით გადაჭრისათვის, როგორც ზემოთ უკვე აღინიშნა, ასევე აუცილებელია ქრომისა და მისი თანხმლები კომპონენტების ურთიერთქმედების თავისებურებებისა და კანონზომიერებების გამოვლენა თერმოდინამიკური მოდელირებისა და ანალიზის გზით [12-14].

აქედან გამომდინარე, წინამდებარე ნაშრომი მიზნად ისახავს Cr-Si-O-C სისტემის ყველა სავარაუდო შედგენილობის სრულ თერმოდინამიკურ ანალიზს, სადაც კვლევის მთავარ ამოცანას წარმოადგენს აღდგენითი რეაქციებისას სინთეზირებული ლითონური ნაერთების, საწყისი, ოქსიდური კომპონენტების რაოდენობასა და ურთიერთრეაგირების ტემპერატურაზე დამოკიდებულების გამოვლენა. ეს მოგვცემს საშუალებას დავადგინოთ ქრომისა და მისი შენადნობების პირომეტალურგიული კარბოთერმული წარმოების ოპტიმიზაციისა და ენერგორესურსის დაზოგვის რაციონალური პირობები.

კვლევითი ნაწილი.

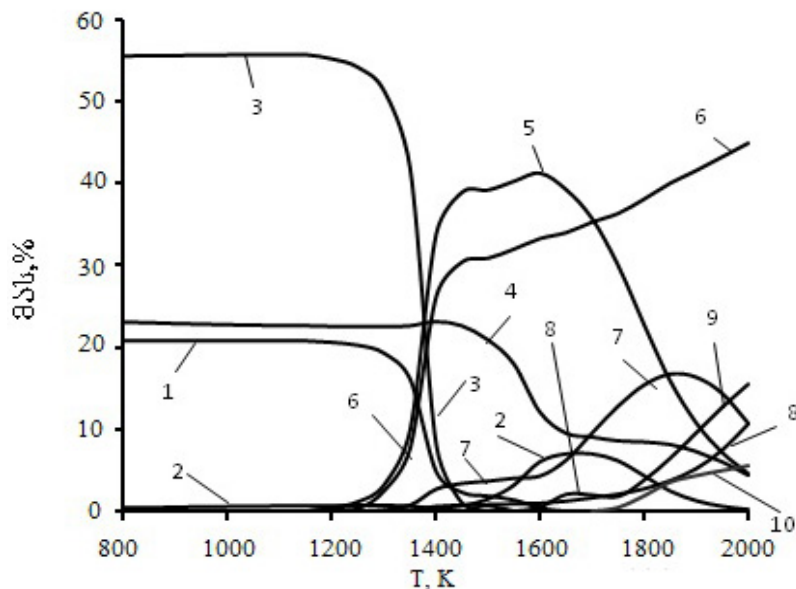
თერმოდინამიკური ანალიზისათვის საკვლევო სისტემის Cr-Si-O-C საწყისი შემადგენლობებია:



კომპონენტების შედგენილობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება კი მოცემულია 800-2000 K ინტერვალში.

აღნიშნული რეაქციების შესაძლო კონდენსირებულ კომპონენტებად გათვალისწინებულია შემდეგი ელემენტები და ნერთები: C, Cr, Si, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, SiC, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>, Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, CrSi, CrSi<sub>2</sub>, Cr<sub>3</sub>Si, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>; ხოლო აირად კომპონენტებად : Ar, O, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, C, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>5</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>O, C<sub>3</sub>O<sub>2</sub>, Cr, Cr<sub>2</sub>, CrO, CrO<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O, Cr<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CrC<sub>2</sub>, Si, Si<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>, SiO, SiO<sub>2</sub>.

შესრულებულია ოთხივე რეაქციის სრული თერმოდინამიკური ანალიზი ერთ ატმოსფერულ წნევაზე არგონის არეში 300-2000 K, ტემპერატურულ შუალედში 50<sup>0</sup>-ანი ბიჯით.



ნახ. 1. პირველი რეაქციის კომპონენტების რაოდენობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე; 1-C; 2-SiO<sub>2</sub>; 3-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4-Cr<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>; 5-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>; 6-CO; 7-Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; 8-Cr; 9-Cr<sub>3</sub>Si; 10-Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>.

თერმოდინამიკური ანალიზის საბოლოო შედეგები მოყვანილია გრაფიკული დიაგრამების სახით, ნახ. 1-4-ზე. ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია პირველი რეაქციის (აღდგენითი პროცესის) თერმოდინამიკური მოდელი 800-2000 K ტემპერატურულ შუალედში, საიდანაც ჩანს, რომ

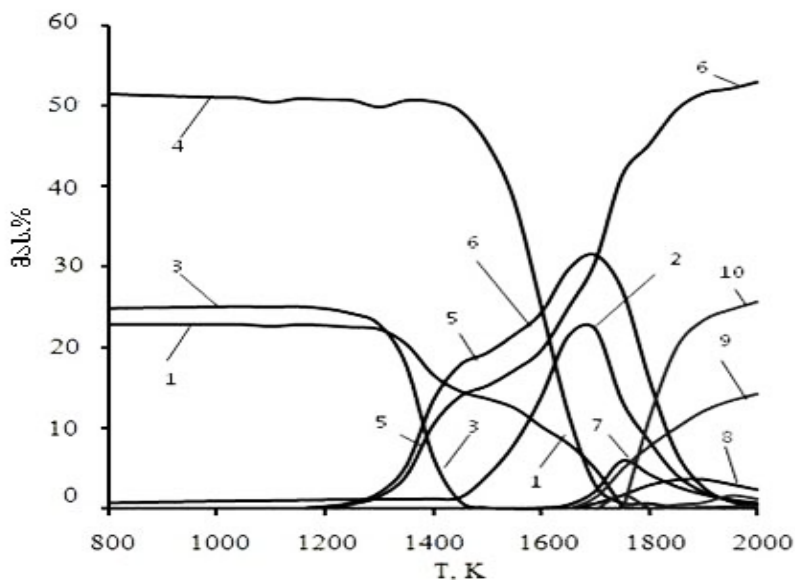
ქრომის აღდგენა იწყება ~1200 K-დან  $Cr_3C_2$  -ის და აირად ფაზაში CO-ს , ხოლო ~1350÷1400 K-დან ლითონური ქრომისა და  $Cr_7C_3$ -ის გამოყოფით. სისტემაში  $Cr_2O_3$ -ის რაოდენობა მკვეთრად ეცემა ~1200 K-დან და ~1500 K-ზე მთლიანად ქრება. პარალელურად კონდენსირებული ნახშირბადის რაოდენობის ცვლილება იგივე ხასიათს ატარებს და სისტემაში ~1650 K-ზე მთლიანად ქრება. 800 K-ის ქვემოთ სისტემაში წარმოიქმნება  $Cr_2Si_3O_9$  და ~1300 K-მდე მისი რაოდენობა უცვლელია, ხოლო ამ ტემპერატურის ზევით იგი მატულობს და ~1400 K-ზე აღწევს მაქსიმუმს; ტემპერატურის შემდგომი ზრდით  $Cr_2Si_3O_9$  -ის რაოდენობა მკვეთრად მცირდება ~1650 K-მდე, ხოლო შემდგომ მდოვრედ ეცემა და 2000 K-ზე აღწევს ~4 მას.%-ს; დაბალ ტემპერატურებზე (~1400 K-მდე) სისტემაში  $SiO_2$  ძალიან მცირე რაოდენობით შეიმჩნევა (1 მას. %-ზე ნაკლები); ამ ტემპერატურის ზევით ~1700 K-მდე  $SiO_2$ -ს რაოდენობა იზრდება, ხოლო შემდგომ მდოვრედ მცირდება 2000 K-მდე (1 მას. %-ზე ნაკლები). სისტემაში  $Cr_3C_2$  -ის რაოდენობა მაქსიმუმს ~1600 K-ზე აღწევს (41 მას.%), შემდგომ მცირდება და 2000 K-ზე ~5 მას. %-ია.

$Cr_7C_3$  და Cr-ის რაოდენობა ~1300 K-დან იწყებს ზრდას და შესაბამისად მაქსიმუმს ~1850 K და 2000 K-ზე აღწევს. სისტემაში ქრომის სილიციდები ( $Cr_3Si$ ,  $CrSi$ ,  $Cr_5Si_3$ ) ~1600 K-ის ზევით იწყებს გამოყოფას და მათი რაოდენობა 2000 K-მდე იზრდება; განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით  $Cr_3Si$  და  $Cr_5Si_3$  გამოიყოფა; 2000 K-ზე ლითონურ ნაწილში გამოიყოფა Cr,  $Cr_3Si$ ,  $CrSi$ ,  $Cr_5Si_3$ ,  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_3C_2$  და ლითონური ხსნარის შედგენილობაა: Cr – 87,33 მას.%, Si – 9,51 მას.%, C – 3,16 მას.%.

ნახ. 2-ზე წარმოდგენილია მეორე რეჟიმის თერმოდინამიკური ანალიზის შედეგები 800-2000 K ტემპერატურულ შუალედში. დიაგრამიდან ჩანს, რომ ქრომის აღდგენა იწყება ~1200 K-დან კონდენსირებული  $Cr_3C_2$ -ის და აირად ფაზაში CO-ს გამოყოფით, ხოლო ~1350 K-დან ძალიან მცირე რაოდენობის  $Cr_7C_3$ -ის და ლითონური ქრომის გამოყოფით. სისტემაში  $Cr_2O_3$  და  $Cr_2Si_3O_9$ -ის რაოდენობის მკვეთრი შემცირება შესაბამისად ~1250 K და ~1400 K-დან იწყება, ხოლო ~1500 K და ~1900 K-ზე მთლიანად ქრება. პარალელურად კონდენსირებული ნახშირბადის რაოდენობის ცვლილება იგივე ხასიათს ატარებს და სისტემაში ~1750 K-ზე მთლიანად ქრება. დაბალ ტემპერატურაზე  $SiO_2$  სისტემაში მცირე რაოდენობით შეიმჩნევა და მისი რაოდენობის მკვეთრი ზრდა ~1400 K-დან იწყება და მაქსიმუმს ~1700 K-ზე აღწევს (22 მას.%); ხოლო ტემპერატურის შემდგომი ზრდით რაოდენობა მცირდება და 2000 K-ზე 1 მას. %-ზე ნაკლებია. ~1200 K-დან ტემპერატურის მომატებით  $Cr_3C_2$ -ის რაოდენობა იზრდება და მაქსიმუმს ~1700 K-ზე აღწევს (~31 მას.%); პარალელურად მიახლოებით იგივე ტემპერატურულ შუალედში  $Cr_7C_3$  და ლითონური Cr გაცილებით მცირე რაოდენობით გამოიყოფა (შესაბამისად ~3 და ~2 მას.%).

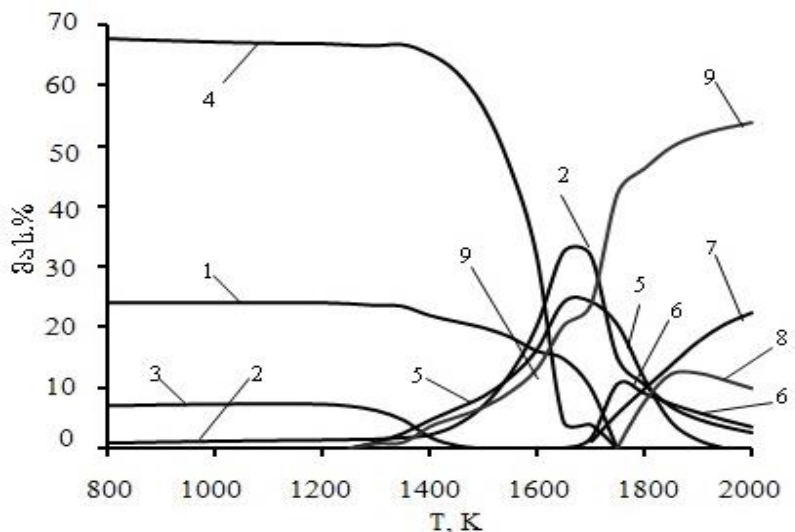
პირველი შედგენილობისაგან განსხვავებით, მეორე სისტემაში ~1650 K-დან გამოიყოფა SiC, რომლის რაოდენობა იზრდება ~1750 K-მდე (6 მას.%), ხოლო შემდგომ მცირდება და 2000 K-ზე 1 მას. %-ზე ნაკლებია. სისტემაში ქრომის სილიციდები ( $Cr_3Si$ ,  $CrSi$ ,  $CrSi_2$ ,  $Cr_5Si_3$ ) ~1600÷1800 K ტემპერატურულ შუალედში იწყებს გამოყოფას და მათი რაოდენობა იმატებს 2000 K-მდე. განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით სისტემაში CrSi და  $Cr_5Si_3$  გამოიყოფა და შესაბამისად 2000 K-ზე ~14 და ~25 მას.% აღწევს. 2000 K-ზე ლითონურ ნაწილში ძირითადად გამოიყოფა Cr,  $Cr_3Si$ ,  $CrSi$ ,  $CrSi_2$ ,  $Cr_5Si_3$  და ლითონური ხსნარის შემადგენლობაა: Cr – 72,9 მას.%, Si – 27,1 მას.%.

ნახ. 3-ზე წარმოდგენილია მესამე რეჟიმის თერმოდინამიკური ანალიზის შედეგები 800 – 2000 K ტემპერატურულ შუალედში. დიაგრამიდან ჩანს, რომ ქრომის აღდგენა იწყება ~1250 K-დან კონდენსირებული  $Cr_3C_2$  -ის და აირად ფაზაში CO-ს გამოყოფით. წინა შედგენილობებისაგან განსხვავებით ამ შემთხვევაში სისტემაში  $Cr_7C_3$  და ლითონური ქრომი ძალიან მცირე რაოდენობით გამოიყოფა (~1÷2 მას.%).  $Cr_2O_3$ -ის და  $Cr_2Si_3O_9$ -ს რაოდენობის მკვეთრი შემცირება ~1250 K-ის ზევით იწყება და შესაბამისად ეს ნაერთები ~1500 და ~1900 K-ზე ქრება. კონდენსირებული ნახშირბადის რაოდენობის ცვლილება იგივე ხასიათს ატარებს და სისტემაში ~1750 K-ზე მთლიანად ქრება. დაბალ ტემპერატურებზე, სისტემაში  $SiO_2$  მცირე რაოდენობითაა და მისი მკვეთრი ზრდა ~1350 K-დან იწყება და მაქსიმუმს ~1650 K-ზე აღწევს (32,5 მას.%).



ნახ. 2. მეორე რეაქციის კომპონენტების რაოდენობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე: 1-C; 2-SiO<sub>2</sub>; 3-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4-Cr<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>; 5-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>; 6-CO; 7-Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>; 8-Cr; 9-Cr<sub>3</sub>Si; 10-Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>

ხოლო შემდგომ მისი რაოდენობა მცირდება და 2000 K-ზე (2,7 მას.%-ია). ტემპერატურის ზრდით ~1250 K-დან Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-ის რაოდენობა იმატებს და მაქსიმუმს ~1650 K-ზე აღწევს (~24 მას.%); ხოლო შემდგომ იგი მცირდება და 2000 K-ზე მთლიანად ქრება.

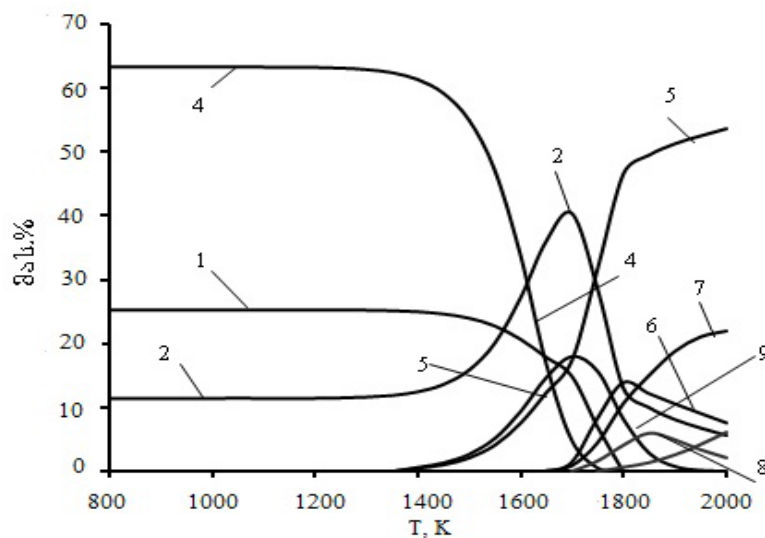


ნახ. 3. მესამე რეაქციის კომპონენტების რაოდენობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე: 1-C; 2-SiO<sub>2</sub>; 3-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 4-Cr<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>; 5-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>; 6-SiC; 7-CrSi; 8-Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>; 9-CO.

მეორე შედეგნილობის მსგავსად, სისტემაში SiC ~1650 K-დან გამოიყოფა და მისი რაოდენობა იზრდება და მაქსიმუმს ~1750 K-ზე აღწევს (~11 მას.%), ხოლო ტემპერატურის მომატებით იგი მცირდება და 2000 K-ზე 3,5 მას.%-ია. აქედან შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ შედარებით დიდი რაოდენობის სილიციუმის კარბიდის გამოყოფით ქრომის კარბიდის რაოდენობა მცირდება და შესაბამისად მთლიანად ქრება.

როგორც დიაგრამიდან ნახ.3 ჩანს, სისტემაში ქრომის სილიციდები - CrSi, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, CrSi<sub>2</sub>, ხოლო - Cr<sub>3</sub>Si მცირე რაოდენობით 1700 K-ის ზემოთ იწყებენ გამოყოფას დამათი რაოდენობა იზრდება 2000 K-მდე და შესაბამისად მათი კონცენტრაცია აღწევს CrSi – 22, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>-10, CrSi<sub>2</sub>- 4 მას.%-ს. 2000 K-ზელითონურ ნაწილში ძირითადად გამოიყოფა: Cr, Cr<sub>3</sub>Si, Si, CrSi, CrSi<sub>2</sub>, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> და მიღებული ლითონური ხსნარის(ნა დნობის) შედგენილობაა: Cr – 65,3 მას.%, Si – 34,7 მას.%.

ნახ. 4-ზე წარმოდგენილია მეოთხე რეაქციის თერმოდინამიკური ანალიზის შედეგები 800 – 2000 K ტემპერატურულ შუალედში. დიაგრამიდან ჩანს, რომ ქრომის აღდგენა იწყება ~1300 K-დან კონდენსირებული Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> -ის და აირადფაზაში CO-ს გამოყოფით. პირველი და მეორე კაზმისაგან განსხვავებით, სისტემაში Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, Cr და Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> უმნიშვნელო რაოდენობით გამოიყოფა. კონდენსირებული ნახშირბადის რაოდენობა ~1400 K-მდე არ იცვლება, ხოლო ამ ტემპერატურის ზემოთ იგი მკვეთრად კლებულობს და ~1800 K-მდე მთლიანად ქრება. პარალელურად Cr<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub> ~1350 K-დან იწყებს კლებას და ასევე ~1800 K-მდე მთლიანად ქრება. SiO<sub>2</sub>-ის რაოდენობა სისტემაში ~1350 K-მდე უცვლელია, ხოლო ტემპერატურის ზრდით იგი იმატებს და ~1700 K-ზე აღწევს მაქსიმუმს (40 მას.%), ხოლო შემდგომ მისი რაოდენობა მკვეთრად კლებულობს და 2000 K-ზე ~5 მას.%-ია. Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> გამოიყოფას ~1350 K-დან იწყებს და მაქსიმუმს ~1700 K-ზე აღწევს (~18 მას.%), ხოლო ტემპერატურის შემდგომი ზრდით იგი კლებულობს და 2000 K-ზე მთლიანად ქრება.



ნახ. 4. მეოთხე რეაქციის კომპონენტების რაოდენობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე: 1-C; 2-SiO<sub>2</sub>; 3-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>; 4-Cr<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>; 5-CO; 6-SiC; 7-CrSi; 8-CrSi<sub>2</sub>; 9-Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>

დიაგრამიდან 4 ჩანს, რომ სისტემაში SiC გამოიყოფას იწყებს ~1650 K-დან, რომლის რაოდენობა იმატებს და მაქსიმუმს აღწევს ~1800 K-ზე (14 მას.%), ხოლო შემდგომ მისი რაოდენობა მცირდება და 2000 K-ზე 7,5 მას. %-ია. სისტემაში ~1700 K-ის ზემოთ იწყებს გამოყოფას ქრომის სილიციდები – CrSi, CrSi<sub>2</sub>, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> და მათი რაოდენობა იზრდება 2000 K-მდე და შესაბამისად 22,6 და 2 მას.%-ს აღწევს. სისტემაში ~1750 K-ის ზემოთ უმნიშვნელო რაოდენობის თავისუფალი სილიციუმი გამოიყოფა (~2 მას. %). 2000 K-ზე ლითონურ ნაწილში ძირითადად გამოიყოფა: Cr, CrSi, Si, CrSi<sub>2</sub>, Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> და ლითონური ხსნარის შედგენილობაა: Cr - 59,35 მას.%; Si - 40,65 მას.%.

ზემოთმოყვანილი კვლევის შედეგების პრაქტიკული რეალიზაციით შესაძლებელია ქრომის ნედლეულის სასარგებლო ათვისების მაჩვენებლის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება. კერძოდ, მიიღწევა ძვირადღირებული დეფიციტური ლითონშემცველი მადნებიდან ქრომის მაქსი-



მალური ალდგენა-მეტალიზაციის და ლითონური ნადნობის (ხსნარის) თანმხლები ოქსიდური, წიდური ნადნობის რაოდენობრივი მინიმიზაცია. შემცირდება ელექტროენერჯის ხვედრითი ხარჯი წარმოებულ პროდუქციაზე. შემცირდება აღმდგენელი ნახშირბადის ფუჭი ხარჯი (ამოწვა), შესაბამისად დაიკლებს მხუთავი და სათბური აირების (CO, CO<sub>2</sub>) გამოყოფა. ყოველივე ეს კი, ბუნებრივი რესურსების კარიერულ მოპოვებასა და გადამუშავებასთან დაკავშირებული ემისიების მინიმიზაციისა და გარემოზე მავნე ანთროპოგენური ზემოქმედების შემცირების წინაპირობაა.

#### დასკვნა.

Cr-Si-O-C სისტემის თერმოდინამიკურმა ანალიზმა აჩვენა, რომ:

- ქრომის ალდგენა სხვადასხვა შედგენილობის კაზმებისათვის იწყება 1200–1300 K ტემპერატურულ ინტერვალში Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-ის გამოყოფით.
- ალდგენილი ლითონური ნაწილი 1700–2000 K ტემპერატურულ დიაპაზონში ძირითადად ქრომის სილიციდების სახითაა წარმოდგენილი, სადაც ქრომის ალდგენის მაჩვენებელმა შესაძლოა თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას - 90-95%-ს მიაღწიოს.
- საწყის შედგენილობაში SiO<sub>2</sub>-ის რაოდენობის მატებით იზრდება SiC-ს კონცენტრაცია და მცირდება ქრომის კარბიდების გამოყოფა.
- კომპონენტების ურთიერთრეაგირების რაციონალური პროპორცია: Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:SiO<sub>2</sub>:C → 1:1.5:6.

#### რეკომენდაცია.

კვლევის შედეგები შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ქრომისა და ქრომის შემცველი შენადნობებისა და ფეროშენადნების, განსაკუთრებით კი სილიკოქრომისწარმოების ტექნოლოგიური პროცესის ენერგო-რესურსების დაზოგვის ამალგებისათვის, რაც ფრიად მნიშვნელოვანი საკითხია გარემოზე მავნე ზემოქმედების მინიმიზაციის გლობალური ტრენდისა და საწარმოს ეკოლოგიურ-ეკონომიკური უსაფრთხოების პირობების დაკმაყოფილების თვალსაზრისით.

#### ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Furqan Mukhtar, Faisal Qayyum, Zeeshan Anjum, Masood Shah. Effect of chrome plating and varying hardness on the fretting fatigue life of AISI D2 components. *Wear*, vol. 418-419, 2019, pp. 215-225, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.12.001>
2. Mekicha M.A., Rooij M.B., Matthews D.T.A., Pelletier C., Jacobs L., Schipper D.J. The effect of hard chrome plating on iron fines formation. *Tribology International*, vol. 142, February 2020, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.106003>
3. Bomi Kim, Soojin Kim, Heesan Kim. Effects of Alloying Elements (Cr, Mn) on Corrosion Properties of the High-Strength Steel in 3.5% NaCl Solution. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2018, 2018. 13 pages, <https://doi.org/10.1155/2018/7638274>
4. Gasik M.I. Chapter 8 - Technology of Chromium and Its Ferroalloys, Editor(s): Michael Gasik, Handbook of Ferroalloys, Butterworth-Heinemann, 2013, pp. 267-316. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097753-9.00008-3>.
5. Jandieri G.V., Sakhvadze D.V., Zakharov G.V., Kharati R.G. Research and development of the self-propagating high-temperature synthesis for production of special polycomponent ligatures from wastes of ferroalloy production. *Metallurgy Engineering*, vol. 3, 2019, pp. 40-43. Accessed - <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37651398>
6. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. М.: Металлургия, 1988, 784 с.
7. Хром Казахстана : монография / В.И. Гриненко, О.И. Поляков, М.И. Гасик и др.; Под общ. ред. М.И. Гасика и др. - Москва : Металлургия, 2001. - 416 с.

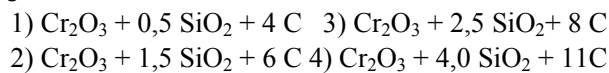
8. Гришин О.М., Надточій А.А.. Вплив добавок заліза на кінетику відновлення оксиду хрому вуглецем і карбідами. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 30 (69) Ч. 2, № 6, 2019. – С. 24-29. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/05>
9. Ахметов К.Т., Рошин В.Е. Жидкофазное разделение металлизированной мелочи хромовой руды. Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». Том. 15, № 4. 2015. – С. 57-62 <https://doi.org/10.14529/met150407>
10. Jishkariani G., Jandieri G., Sakhvadze D., Tavadze G., Oniashvili G. and Aslamazishvili Z. Ecological Problems Related to Mining-Metallurgical Industries and Innovatory, Energy-Efficient Ways of Solving Them. Engineering, Vol. 4, No. 2, 2012, pp. 83-89. <https://doi.org/10.4236/eng.2012.42011>
11. Dzhandieri, G.V. Diagnostics of efficiency and optimization of the organizational and economic system of ferrous metals recycling. Chernye Metally, vol. 2020, Issue 1, January 2020, pp. 56-62. Accessed - <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85081219521&origin=inward&txGid=935176f416bd0aa4191389558dcc6aeb>
12. Ватолин Н.А., Моисеев Г.К., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах. М.: Metallurgia, 1994, 352 с.
13. Чагдуров А.Н., Халтанова В.М., Смирнягина Н.Н. Термодинамическое моделирование фазовых равновесий в системе Cr-C-O, синтез и строение слоев карбидов хрома. Химическая физика и мезоскопия. Том 14, №1, 2012. – С. 57-62
14. Заякин О.В., Уполовникова А.Г., Жучков В.И. Термодинамическое моделирование карботермического восстановления хрома из бедного сырья. Бултеровские сообщения. Том.54. №5, 2018. – С. 145-151. <https://doi.org/10.37952/ROI-jbc-01/18-54-5-145>

## **Cr-Si-O-C სისტემაში კომპონენტების ურთიერთქმედების თერმოდინამიკური ანალიზი და მისი ეკოლოგიური ასპექტები**

### **ჯანელიძე ი.**

#### **რეზიუმე**

კვლევის მიზანია ქრომიანი შენადნობების პირომეტალურგიული წარმოების ტექნოლოგიური რეჟიმების ოპტიმიზაცია. შესრულებულია Cr-Si-O-C სისტემის სრული თერმოდინამიკური ანალიზი შემდეგი შედგენილობებისათვის:



თერმოდინამიკური ანალიზის ძირითადი შედეგები წარმოდგენილია დიაგრამების სახით, ტემპერატურული ინტერვალისათვის 800-2000 K. დადგენილია, რომ საკვლევი ოქსიდური კომპონენტების ურთიერთრეაგირების ოპტიმალური ტემპერატურული ინტერვალი მდებარეობს 1700-2000 K ზღვრებში, ხოლო კომპონენტების Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-C ოპტიმალური თანაფარდობაა 1:1.5:6. აღნიშნულია, რომ კვლევის შედეგების პრაქტიკული რეალიზაციით შესაძლებელია ქრომშემცველი ნედლეულის სასარგებლო ათვისების მაჩვენებლის მნიშვნელოვანი გაუმჯობესება და გარემოზე მავნე ზემოქმედების შემცირება.

## THERMODYNAMIC ANALYSIS OF INTERACTION BETWEEN THE COMPONENTS IN THE Cr-Si-O-C SYSTEM AND ITS ECOLOGICAL ASPECTS

Janelidze I.

### Abstract

The objective of the research is to optimize the technological modes of pyrometallurgical production of chromium alloys.

Complete thermodynamic analysis of Cr-Si-O-C system was carried out for the following compounds:



The basic results for all compounds are presented in the form of diagrams (dependence of components content at temperature range (800-2000K). It is determined that the optimal temperature range for the interaction of the researched oxide components is in the range of 1700-2000 K, and the optimal ratio of  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{C}$  components is 1:1.5:6. It is emphasized that the practical implementation of research results can significantly improve the rate of utilization of chromium-containing raw materials and reduce the impact on the environment.

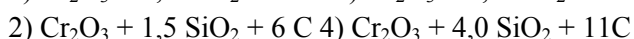
## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТ СИСТЕМЫ Cr-Si-O-C И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Джанелидзе И.

### Р е ф е р а т

Цель исследования - оптимизация технологических режимов пирометаллургического производства хромовых сплавов.

Полный термодинамический анализ системы Cr-Si-O-C был проведен для следующих соединений:



Основные результаты для всех соединений представлены в виде диаграмм (зависимость содержания компонент в диапазоне температур (800-2000K). Определено, что оптимальный температурный диапазон взаимодействия исследуемых оксидных компонент находится в диапазоне 1700- 2000 K, а оптимальное соотношение компонент  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2 + \text{C}$  составляет 1:1.5:6. Отмечается, что практическая реализация результатов исследований позволяет значительно повысить коэффициент использования хромсодержащего сырья и снизить его влияние на окружающую среду.