

- металлургии // Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов всероссийской научно- практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 17-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 244-247
5. Гоник И.Л., Лсмякин В.П., Новицкий Н.А. Особенности применения брикетуемых железосо- держащих отходов // *Металлург*, 2011 – № 5 – С. 25–27.
6. Равич Б.М. Брикетирование руд. М.: Недра, 1982. – 183 с.
7. Носков В.А. Брикетирование как технология рециклирования мелкофракционных промышленных отходов // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1998. – № 3. – С.119–121.
8. Карноухов В.Н., Сунчаков А.М., Доржиев С.М., Гернер В.И., Обрезков В.В., Малков И.В., Магидсон И.М. Способ получения хромовых брикетов для производства феррохрома / Патент РФ № 2000345, кл С 22 В 1/243, опубл. 10.07.1995. – 3 с.
9. Федосеев С.Н. Технология ОХУ Сур для экологически чистого производства черных металлов // *Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27–28 Ноября 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – С. 162–167.*
10. Носков В.А. Современное состояние брикетирования техногенных отходов на металлургических предприятиях Украины. // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2000. – № 6. – С.90–94.
11. Оганян Л.А., Федосеев С.Н. Технология получения комплексного металлургического сырья из железо- и углеродосодержащих отходов // *Современное состояние и проблемы естественных наук: сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 17-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 274-277*

### **ҒТАМР 53.03.03**

#### **ФЕРРОҚОРЫТПА ӨНДІРІСІНІҢ ШАҢЫН ҚАЙТА ПАЙДАЛАНУ**

**Е.У. ЖУМАГАЛИЕВ, М.У. КУЛМУРЗА**

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

**Аннотация.** Мақалада ферроқорытпа өндірісінің шандарын қайта пайдалану мүмкіндіктері қаралады. Қазіргі кезде жұмыс жасап тұрған заводтардан жұмыс барысында бөлінетін шаң мен газ тәріздес техногендік қалдықтар өндірістегі жұмысшылар мен қоршаған ортаға орасан көп зиян келтіреді. Олар атмосфераны ластап қоймай топырақ пен суды да улайды. Зияндылығы мен қатар бұл өндірістегі технологиялық көрсеткіштерін

төмендетеді. Бұл проблема ферроқорытпа өндірісіндегі негізгі үлкен мәселелердің бірі болып табылады. Осы мақалада технологиялық қалдықтармен шет елдік және отандық ғылыми орталықтар мен завод жанындағы ғылыми-зерттеу нышандары жүргізген тәжірибелердің нәтижелері көрсетілген. Бүгінгі таңда ұсақ дисперсті материалдар мен аспирациялық шаңды қайта пайдалану үшін оларды кесектеу қажеттілігін алға тартып отыр. Шаң ұстағыштары бар газ тазарту жүйелерінің көмегімен ұсталған ұсақ фракциялы материалды кесектеудің заманауи әдістерін қолдана отырып, металлургиялық талаптарға сай өнім алу нұсқалары қарастырылған.

**Кілт сөздер:** хром, кесектеу, аспирациялық шаң, шекемтас, брикет, феррошаң.

**Аннотация.** В статье выявляются возможности повторного использования пыли ферросплавного. В настоящее время пыль и газообразные техногенные отходы, выделяющиеся в процессе работы с действующих заводов, наносят огромный ущерб рабочим и окружающей среде на производстве. Они не только загрязняют атмосферу, но и отравляют почву и воду. Одновременно с вредностью это снижает технологические показатели производства. Эта проблема является одной из основных масштабных проблем в производстве ферросплавов. В данной статье представлены результаты опытов зарубежных и отечественных научных центров и научно-исследовательских институтов при заводах с теми же технологическими отходами. На сегодняшний день для повторного использования мелкодисперсных материалов и аспирационной пыли нужно их окусковать. Рассмотрены варианты получения продукции с мелкофракционного материала с применением современных методов окускования, отвечающей металлургическим требованиям, уловленного с помощью систем газоочистки с пылеуловителями.

**Ключевые слова:** хром, окускование, аспирационная пыль, окатыш, брикет, ферропыль.

**Abstract.** The article reveals the possibility of reuse dust of ferroalloy production. Currently dust and gaseous industrial waste released in the process of working with existing plants, causing enormous damage to workers and the environment in the workplace. They not only pollute the atmosphere, but also poison the soil and water. Simultaneously with the harmfulness, this reduces the technological indicators in production. This problem is one of the main large-scale problems in the production of ferroalloys. This article presents the results of experiments of foreign and domestic research centers and research institutes at plants with the same technological waste. To date, for the reuse of fine materials and aspiration dust, they need to be dipped. Options for obtaining products from fine-grained material with the use of modern methods of agglomeration that meet metallurgical requirements, captured using gas cleaning systems with dust collectors.

**Key words:** chromium, agglomeration, aspiration dust, pellet, briquette, ferrodust.

### Кіріспе

Болаттың сапалы сұрыптарына сұраныстың артуы, сәйкесінше оттектендіру және легірлеу үшін қолданылатын ферроқорытпалардың өндіріс көлемін арттыруға мәжбүр етті. Ферроқорытпа балқыту үшін қажетті шикіқұрам материалдарының жаңа түрлерін табу және «қалдықсыз өндіріс» технологияларын зерттеу, заманауи ғылым саласында аса маңызды тақырыптардың бірі болып табылады.

Металлургия кәсіпорындары бүгінде ішкі шикізат ресурстарын ұтымды пайдалануға және өнеркәсіптік қалдықтарды қайта пайдалануға үлкен мән береді. Соңғы жылдары ферроқорытпа өндірісінің ағымдағы қалдықтарымен жұмыс істеу саласындағы басым бағыт

оларды технологиялық процестерге барынша тарту болды, бұл өз кезегінде материалдық және энергетикалық ресурстарды үнемдеуге, өнімнің өзіндік құнын төмендетуге ықпал етеді.

Қазіргі уақытта хромды салыстырмалы түрде тапшы емес металдарға жатқызуға болатынына қарамастан, феррохромға деген қажеттілік өсіп келеді. Қазіргі уақытта хромит кендерінің жалпы әлемдік қорының 4720 млн т-нан тек 1550 млн т (33%) бай кендер үлесіне келеді. Сол себепті, жыл сайын металлургияда хром ферроқорытпаларына деген қажеттіліктің артуы мен бай хромит кендерінің азаюы арасы ұлғая түсетін болады. Сондай-ақ кесекті хром кені тапшылығының мәселесі шиеленісе түседі. Нарықтағы қатаң бәсекелестік хром кені шикізатын жеткізудің тұрақсыздығына алып келеді. Бұл жағдайлар құрамында хромы бар легірлеуші материалдарды өндірудің жаңа балама жолдарын жасауға әкеліп соғады.

### **Негізгі бөлім**

Өндіріс жағдайындағы хромның шаң түрінде көп мөлшерде жоғалымына байланысты хром шаңдарын қайта өңдеу технологиясының тиімді жолдарын іздеу мәселелері маңызды орын алады. Жоғары көміртекті феррохром өндірісінің техногендік қалдықтарының бірі пешке тиелетін кеннің, кокстың және басқа да материалдардың ұсақ бөлшектерінің қоспасы ретіндегі шаң (феррошаң) болып табылады. Осыған байланысты, жоғары көміртекті феррохромды ұсақтау және фракциялау кезінде пайда болған шаңды қайта балқыту тәсілімен феррохром қорытпасын алу технологиясын әзірлеу ерекше өзектілікке ие.

Атмосфераның ферроқорытпа пештерінен шығатын шаң аралас газдармен ластануының алдын алу мәселелері экономикалық, экологиялық, техникалық және әлеуметтік аспектілерге ие.

Ферроқорытпа пештерінде шаңды хром кенін пайдалану кезінде оның қалдық газдармен айтарлықтай жоғалымы және технологиялық процестің оңтайлы жүрісінің бұзылуы орын алады, бұл көбінесе кеннен хром бөліп алу көрсеткішін 87 пайызға дейін төмендеуіне әкеліп соғады. Осыған байланысты дисперсиялық материалдарды, соның ішінде өндіріс қалдықтарын кесектеу өзектілігі маңызды мәнге ие болады. Сонымен қатар, қосымша шығындарға қарамастан, аталған материалдарды кесектеу экономикалық тиімді болып табылады.

Жалпы ферроқорытпа өндірісінің шаңдары құрамы бойынша шығарылатын өнімге байланысты әртүрлі болып келеді. Ал, ірілігіне байланысты ферроқорытпа өндірісінің шаңдары екі топқа бөлінеді:

- Ферроқорытпа балқыту шикіқұрамының массасының үлестік 3-5%-ын құрайтын, ірілігі бірнеше микрометр болатын жоғары дисперсті шаң;

- Ферроқорытпаны ұсақтау және фракциялау кезеңдерінде түзілетін «ірі» шаң. Олардың шығымы айтарлықтай жоғары болуы мүмкін. Мысалы, 3,2-0 мм фракциялы шаңның үлесі 10-3,2 мм болатын ферросилиций түйіршіктерін алу кезінде (қондырғыға байланысты) 50-60%-ға жетеді.

Бұл қалдықтарды, әдетте, екі бағытта утилизациялайды: кесектеп, одан әрі балқытуға жіберу; байланыстырғыш және құрылыс материалдары өндірісіне қолданылады.

Хром, феррохром және оның қосылыстарын алу кезінде бөлініп шығатын шаңның және органикалық түзілімдердің пайда болуы барлық ферроқорытпа түрлері мен хром қосылыстарын балқытумен айналысатын өндірушілердің алдында оларды тиімді, әрі қоршаған ортаға зиянсыз етіп пайдалану туралы ғылыми-техникалық мәселе бар.

Хром ферроқорытпаларын өндіру кезінде атмосферадағы алты валентті хром қосылыстарының да мөлшеріне назар аудару керек.

Соңғы жылдары, газ-шаң түзілу көздерін, шаң құрамын және олардың қоршаған ортаға, электр пешіне қызмет көрсететін қызметкерлердің денсаулығына зияндылығын зерттеуге бірқатар технологиялық және медицина-санитарлық жұмыстарының жүргізілу арқасында, өнеркәсіптік аймақтардың зиянды бөліністерінің рұқсат етілген деңгейін қадағалау қажеттілігін туғызды.

Ашық/жабық пештерде жоғары көміртекті феррохромды балқыту кезінде пештен құрамында 400-700 мг/м<sup>3</sup> шаң бар 53-55 мың м<sup>3</sup>/сағ газ (890 м<sup>3</sup>/т) бөлінеді.

Шаңнан кесектелген материалдар, яғни, брикеттер, шекемтастар және агломераттар алу бойынша алғашқы зертханалық зерттеулер Ақсу ферроқорытпа зауытында 2004 жылдан бастап өткізіледі. Зертханалық және өнеркәсіптік жұмыстары нәтижесінде феррохром шаңын қайта өңдеу (балқыту) үшін оларды кесектеу маңызды деген шешімді алға тартты.

Феррохром қуаттылығы 21-63 МВ·а болатын кен тотықсыздандырғыш пештерінде АқсуФЗ-да өндіріледі, пештерден салмағы 40 кг дейінгі балқыма құймаларға құю үшін құю машиналарына түседі, құю машиналарынан салқындатылған феррохром құймалары дайын өнім қоймасына (ЦГП) түседі және жақты ұсатқыштарында ұсақталады. Жоғары көміртекті феррохром әр түрлі маркалы болат өндірісінде легірлеуші материал ретінде пайдаланылатыны белгілі. Феррохромның негізгі тұтынушылары болып табылатын электр болат балқытушылардың тапсырысы бойынша қорытпа 5-тен 50 мм-ге дейін әртүрлі фракцияларға бөлінеді. Тиісінше, феррохромды ұсақтау кезінде ұсақ фракцияның көп мөлшері түзіледі, өйткені жоғары көміртекті феррохромда көміртегі 7-9% аралығында болады. Шаң аспирациялық қондырғылармен ұсталады (жарамды металдың шығуынан шамамен 30%). Шаң құрамында 65-69% металл хромы бар, 0,01-1 мм фракциялы ұнтақ түрде

болады. Ұнтақтығына байланысты материал іс жүзінде жарамсыз материал болып табылады. Аспирациялық шаңды сол күйінде ферроқорытпа өндірісіне қолдану орынсыз деп саналады, өйткені пешке шаңды жүктеу барысында ұнтақ материалдың 60-70%-ы ұшып кетеді.

АқсуФЗ-да жылына аспирациялық шаң және басқа да қайта пайдалану мүмкіндігі бар, қызығушылық тудыратындар көлемі 25000 тоннадан астам құрайды. Олардың ішінде жылына 15000 тонна №62 пешінің газ тазарту жүйесінде хромит шаңы түзіледі, ондағы  $Cr_2O_3$  құрамы 42% - ға, көміртегі 6-7% - ға жетеді. Мөлшерлеу бөлімшелерінен тозаңның аспирациялық қондырғыларымен жылына 5500 т шаң ұсталады, олардың құрамы  $Cr_2O_3$  40 %. Жоғары көміртекті феррохромды ұсақтау кезінде жылына 1000 тонна аспирациялық шаң пайда болады.

Кесте 1 – Жоғары көміртекті феррохромның аспирациялық шаңының химиялық құрамы

Элементтердің мөлшері, %				
Cr	C	Si	P	S
68,1	8,36	1,43	0,008	0,015

Кесте 2 – Жоғары көміртекті феррохромның аспирациялық шаңының гранулометриялық құрамы

I, мм	>0,6	0,4-0,6	0,31-0,4	0,2-0,4	0,2-0,08	<0,08
Мөлшері, %	1,16	0,17	0,13	0,35	17,1	81,44

АқсуФЗ-да жүргізілген шаңнан шекемтас алу мүмкіндіктерін зерттеуге арналған жұмыстарды жүргізу барысында жақсы нәтижелерге қол жеткізілді. Оңтайлы кесектеу режимдері зертханалық түрде жасалды, күйдіру температурасы, арзан байланыстырғыш материал таңдалды. Осылайша, оңтайлы күйдіру температурасы 600 °C екені анықталып, түйіршіктер алу үшін байланыстырушы материал ретінде лигносульфанатты пайдалану тиімді екеніне көз жеткізілді. Зертханалық жағдайда алынған шекемтастар химиялық құрамы бойынша жоғары көміртекті феррохромға толығымен сәйкес келеді және болатты пештен тыс өңдеу кезінде электр болат балқыту өндірісінде феррохроммен қоспада пайдалану үшін жарамды екені анықталды.

Ақтөбе ферроқорытпа зауытында шикізатпен қамтамасыз ету үшін хромит кендерінің ұсақ бөлшектерін брикеттеу арқылы кесектеу жүргізілді. РКО-16,5 өнеркәсіптік электр пештерінде хромит кендерінің ұсақ бөлшектерден жасалған брикеттерді пайдалана отырып, жоғары көміртекті феррохромды балқыту технологиясын игеруде оң нәтижелер алынды. Жоғары көміртекті феррохромның ФХ950 және ФХ1000 маркаларын балқыту кезінде кесек

хромит кенін алынған хром кені брикеттерімен толық ауыстыру арқылы пайдаланған жөн деген шешімге келген. Газтазарту жүйелерінде ұсталынған шаңын қоспа ретінде қолданған кезде феррохромдағы күкірт пен фосфордың мөлшері сәйкесінше 0,002% - ға және 0,01% - ға дейін төмендеді. Коксты Борлы кен орнынан алынған табиғи кешенді тотықсыздандырғыш көмірмен ішінара ауыстыру жоғары көміртекті феррохромды балқыту кезінде фосфор мен көміртектің мөлшері бойынша сапасын жақсартуға және электр пешінің өнімділігін арттыруға ықпал етеді. Фосфор мөлшері бойынша жарамды жоғары көміртекті феррохром шығымы (0,03 %) базалық кезеңдегі 45,71% - ға қарағанда тәжірибелік кезеңде 63,85% - ды құрады. Ұсынылған технологияның тиімділігі арзан бастапқы материалды пайдалану және электр энергиясын едәуір үнемдеу арқылы қамтамасыз етеді .

Жоғары көміртекті феррохром өндірісі үшін Сараков хромит кені мен Дөң кен байыту комбинатының кесекті және ұсақ хромит кендерінен жасалған қоспаны арнайы кокс (Шұбаркөл көмірінен жасалған жартылай кокс) пен НТМК коксигі қоспасымен тотықсыздандыра отырып, өнеркәсіптік зерттеме жүргізілді. Арнайы коксты қолдану хромның шығымын 3,2% - ға дейін артуына және қождағы  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  құрамының 3,8% - ға дейін төмендеуіне алып келді .

"Palmier Chrome Corp" фирмасы феррохромды балқытуға арналған үш электр пешін шаң тұтқыштармен жабдықтады. Қондырғылар температурасы  $200^\circ\text{C}$ -қа тең  $300$  мың  $\text{nm}^3/\text{сағ}$  газды тазартуды қамтамасыз етеді. Қондырғы алдында газдағы шаңның мөлшері  $2000\text{m}^2/\text{nm}^3$  болса, қондырғыдан кейін газда  $100\text{m}^2/\text{nm}^3$  шаң ғана болады.

Сүзгілермен ұстап қалынатын шаң хромит концентраты және кокс ұнтағымен араластырылып, әрі қарай қоспа ылғалды ұсақтауға жіберіледі. Алынған пульпадан артық ылғалдылықты жою үшін барабанды сүзгілерге жібереді. Сүзгіштен өткеннен кейін, қажетті ылғалдылығы бар кек байланыстырғышпен араластырылады және шекемтас жасауға жіберіледі. Күйдірілген шекемтастар салқындатылып, одан соң тәуліктік қор бункеріне жіберіледі. Содан кейін мөлшерленген шикіқұрамды айналмалы пеште  $1000^\circ\text{C}$  дейін қыздырады және құбыр бойымен жабық электр пешіне береді. Мұндай әдіс электр энергиясының меншікті шығынын 30%-ға төмендетеді және сүзгілердің көмегімен ұсталған шаңды толық пайдаға асыруға мүмкіндік береді.

Жоғары көміртекті феррохром өндірісі кезінде бөлінетін шаңды пайдалану, хромның шығымын және үрдіс экономикасын жоғарылатады. Австриялық "Voest-Alpine" фирмасымен Минданаода (Филиппин) "Outokumpu Oy" фирмасының технологиясы бойынша жоғары көміртекті феррохром балқытуға арналған зауыт салынды.

Бұл зауытта хромит концентраты, ұсақ кокс және шаңтазартқыштардың көмегімен ұсталынған шаң бұрылмалы грейферлі кранмен бункерге беріледі. Қоректендіргіштен тербелістің көмегімен сәйкесінше аралық бункерлерге беріледі. Кокстың максималды дымқылдығын төмен мөлшерде сақтау үшін төбесі жабылатын қоймада сақталады.

Ол жерден хромит концентраты, ұсақ кокс және шаң дұрыс қатынас бойынша араластырылып, ылғал орынға жүктеледі. Содан кейін, шекемтас өндірісіне қажетті ірілікке дейін шарлы диірмендер көмегімен ұсақталады. Алынған суспензия параллельді орналасқан екі барабанды фильтрлерде ылғалдылығы 10 %-ға жеткенше кептіріледі.

Фильтрден өткен кек бентонитпен араластырылып, шикі шекемтас өндірісіне жүктеледі. Шекемтастар дайын болғаннан кейін, ұсақ шекемтастар електің көмегімен бөлініп алынып, рециркуляцияға жіберіледі. Ал, гранулометриялық талапқа сай шикі шекемтастар + 1400° С температурада кептіріледі. Бұндай температураны алу үшін жабық доғалы электр пешінен шыққаннан кейін, екі Вентурри скрубберлерімен тазартылған газды пайдаланады. Бұл операция жалпы өндіріске қажетті электр энергиясының шығынын едәуір азайтуға көмектеседі.

Осы шекемтастарды қолданып алынған феррохром алынғаннан кейін қалған түйіршіктелген қожды жол құрылысына пайдалуға болады. Себебі, қож құрамында адам денсаулығына зиян келтіретін алты валентті хром мөлшері өте аз.

"УралВИМ" ЖАҚ күшімен "Челябі электрометаллургиялық комбинаты" ААҚ кен тотықсыздандырғыш пешінде жоғары көміртекті феррохром өндірісі кезінде газ тазалау жүйесінде ұсталған шаңнан хром брикеттерін алу үшін брикеттеу пресі құрастырылып, іске қосылды. Шаңның құрамында 25-30% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> бар және пешке салынатын жүктеменің 3-5%-ын құрайды. Шаңды дисперсті күйде қолданған кезде, газ шаңын қайта шығару және шаң жинау жүйесіндегі айналым жүктемесінің артуы орын алды, ал брикеттеу нәтижесінде бұрын шығарылған шаң өндіріске қайтарылады және газдан тазарту шаңының қоқысқа шығарылуы тоқтатылады.

Өндірістік шаңнан ферроқорытпа алудың тағы бір түрі Челябинск металлургиялық комбинатының (ЧМК) практикасында бар. Әрбір өндіріс шаңы, тіпті нанобөлшектерге дейін, экструдерлерге құйылып, арнайы шұжықтар "БРЭКС" пісіріледі және балқыту пештеріне қайта жүктеледі. Ферроқорытпаларды өндіргеннен кейін қалған ұсақ дисперсті шаң енді өндірістен шығарылмайды, мұқият жиналып және қайтадан пайдаланылады. ЧМК-да қалдықтар жоқ, құнды шикізат және толығымен қалдықсыз өндіріс бар.

Бірнеше жыл бұрын әрбір балқыту пешін қуатты түтін сорғыштармен және сүзгі жүйесі бар газ тазарту кешендерімен жабдықтау арқылы ЧМК-да шаң жинау мәселесі шешілді. Шаң

ауаға ұшпай, сүзгілермен сорылып, олар арқылы үлкен үлкен «биг-бэг» сөмкелерге құйылады.

Қысқаша айтқанда, цехтың газ тазартқыштарынан хром шаңы қажетті жабдықпен жабдықталған кесектеу учаскесіне түседі. Тік белдік конвейерінде ол арнайы араластырғышқа түседі, ол жерден ауа толығымен сорылып, су мен цемент қосылады. Барлық осы масса араластырылып және экструдер арқылы қара түсті ауыр, қатты цилиндрлер түрінде шығады. Алынған өнім қалдық ретінде емес, бүкіл әлемдегі металлургияға қажетті феррокорытпаларды өндіру үшін дайын өнім болып табылады.

### **Қорытынды**

Осылайша, біз қазіргі кездегі қара металлургиядағы негізгі проблемалардың бірі болып табылатын ұсақ дисперсті аспирациялық шаңды қайта пайдалану мүмкіншіліктерінің технологиялық шешімдерін қарастырдық. Заманауи металлургия саласының шикізат дайындау саласында пайдаланылатын негізгі кесектеу түрлерін қолдана отырып, халықаралық стандарттарға сай шекемтас, брикет және БРЭКС технологиясының өнімі-арнайы «шұжықтар» алу жолдарын қарастырдық. Осы технологияларды негізге ала отырып, үлкен экологиялық, экономикалық және технологиялық проблемаларды шеуге болатынына көз жеткіздік.

### **Пайдаланылған әдебиеттер тізімі**

1. Cohen, B. and Petrie, J.G. (1997): Containment of chromium and zinc in ferrochromium flue dusts by cement-based solidification. *Can. Metall. Quart.*, 36:251-260
2. Geldenhuis, J.M.A. (2002): Recovery of valuables from flue dust fines. *Minerals Engineering*, 15:95-98
3. Абдулабеков Е.Э., Каскин К. К., Нурумғалиев А.Х. Теория и технология производства хромистых сплавов. Алматы, 2010 263 б.
4. А. К. Жунусов, Л. Б. Толымбекова, А. Г. Бакиров, А. К. Нургалиев, М. Н. Нургалиев. Переработка аспирационный пыли феррохрома. 669.054.83. 2016
5. Ж.О. Нурмаганбетов, Е.В. МаксимовЕ.С. Абдрахманов, Ш.М. Калиева, М.Ж. Толымбеков, Б.Н. Нурмаганбетова, Л.Б. Толымбекова. Выплавка высокоуглеродистого феррохрома из отходов производства
6. VOEST-ALPINE AG, Dep. EHM 12, Mr. F. Brauer HISTORY AND DEVELOPMENT OF FERROCHROME PHILIPPINES
7. Федосеев С.Н. Технология ОХУ Сур для экологически чистого производства черных металлов // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения:



сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Юрга, 27–28 қараша 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – 162–167 б.

8. Носков В.А. Современное состояние брикетирования техногенных отходов на металлургических предприятиях Украины. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 6. –90–94 б.

**МРНТИ 53.03.09**

## **Fe-Ti-Al ЖӘНЕ Fe-Ti-Si ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ҮРДІСТЕРДІ МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ**

**Б. С. КЕЛАМАНОВ<sup>1</sup>, А. Г. БУРУМБАЕВ<sup>2</sup>, О.Р. Сариев<sup>3</sup>**

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

**Андатпа.** Мақалада Fe-Ti-Al және Fe-Ti-Si үштік жүйеге арналған «Triangle» кешенді бағдарламасын қолдану арқылы термодинамикалық есептеулерді жүргізу және зерттеу сұрақтары қарастырылған. Алынған нәтижелер бойынша темір-титан қорытпаларында пайда болатын негізгі фазалар және олардың температураға байланысты өзгерістері зерттелді. Сонымен қатар, балкытудың нақты материалдық тепе-теңдігін жасау және қорытпаның құрамын термодинамикалық реттеу мүмкіндігі қарастырылды.

**Кілт сөздер:** термодинамика, фаза, жүйе, температура, диаграмма, қосылыстар.

**Аннотация.** Данная статья посвящена исследованию и выполнению термодинамических расчетов с использованием комплексной программы «Triangle» для тройной системы Fe-Ti-Al и Fe-Ti-Si. На основе полученных результатов изучены основные фазы, образующиеся в железо-титановых сплавах, и их изменение в зависимости от температуры. Кроме того, рассматривалась возможность создания реального материального баланса плавления и термодинамического регулирования состава сплава.

**Ключевые слова:** термодинамика, фаза, система, температура, диаграмма, соединения.

**Annotation.** The article deals with the research and implementation of thermodynamic calculations using the integrated program «Triangle» for the triple system Fe-Ti-Al and Fe-Ti-Si. Based on the results obtained, the main phases formed in iron-titanium alloys and their changes depending on temperature were studied. In addition, the possibility of creating a real material balance of melting and thermodynamic regulation of the alloy composition was considered.

**Key words:** thermodynamics, phase, system, temperature, diagram, compounds.

### **Кіріспе**

Көп компонентті жүйелерді кешенді теориялық зерттеу практикасында көп компонентті жүйелердегі фазалық айналымдардың ерекшеліктерін негізгі жүйе өлшемі бойынша термодинамикалық төзімді қарапайым ішкі жүйелерге бөлу арқылы зерттеуді әлдеқайда жеңілдететін термодинамикалық-диаграммалық сараптау әдісі белгілі.