

## REVIEW

*of the scientific foreign advisor on the dissertation work of Kabylkanov Sultan Kaiyrbekovich on the topic: "Research and development of technology for smelting chromium-manganese ligature using a complex silicon-aluminum reducing agent", submitted for the degree of Doctor of Philosophy (Ph.D.) under the educational program 8D07202 – "Metallurgy"*

The doctoral dissertation of Kabylkanov S.K. is devoted to the development and scientific substantiation of technology for producing complex chromium-manganese ligature using non-standard silicon-aluminum reducing agents and local mineral raw materials. The research topic is highly relevant for modern ferrous metallurgy due to the increasing demand for energy- and resource-efficient technologies, depletion of high-grade ores, and the necessity to utilize low-grade and technogenic raw materials. The production of chromium-manganese ligature as a complex alloy represents a promising technological solution that improves alloying efficiency, reduces energy consumption, and enhances the sustainability of metallurgical processes. The author carried out comprehensive physicochemical investigations of chromium and iron-manganese ores using modern analytical methods, including X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy, and thermal analysis. The phase composition, structural characteristics, and high-temperature behavior of the raw materials were determined, providing a scientific basis for their efficient metallothermic processing.

In the dissertation, the author performed comprehensive thermodynamic modeling of reduction processes in multicomponent Fe–Cr–Mn–Si–Al–Ca–Mg–O systems using HSC Chemistry 10 and FactSage 8.4 software. The distribution behavior of elements between metal and slag phases was established, and optimal temperature and slag composition conditions ensuring maximum recovery of chromium and manganese were determined. The thermodynamic modeling results were further supported by mathematical modeling, which established quantitative relationships between technological parameters, oxygen balance, and metal recovery degree, confirming the reliability and scientific validity of the obtained results.

Based on thermodynamic, mathematical, and experimental investigations, the author proposed three technological routes for producing complex chromium-manganese ligature, differing in charge composition and type of reducing agent. These approaches enable controlled regulation of alloy composition and improvement of metallurgical process efficiency.

Of particular scientific and practical significance is the use of non-standard complex silicon-aluminum reducing agents, including aluminum-silicon-manganese alloys, ferrosilicoaluminum, and technogenic ferrosilicochrome dust. These reducing agents demonstrate high reduction capacity, contribute to additional alloying of the metal phase, and improve resource and environmental efficiency through the utilization of technogenic materials.

Experimental studies conducted at laboratory, pilot, and pilot-industrial scales confirmed the effectiveness and technological feasibility of the proposed technology. Technological regulations for smelting chromium-manganese ligature in a 100 kV·A electric arc furnace were developed, ensuring high recovery rates of chromium and manganese and stable process performance. Pilot-scale smelting confirmed the possibility of industrial implementation of the developed technology. Techno-economic assessment demonstrated significant economic advantages compared to conventional ferroalloys, confirming the high practical value and industrial potential of the proposed solution.

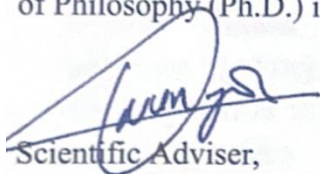
  
Sultan KOC  
TU Kimya-Metallurji Fakültesi  
Fakülte Sekreteri

0.4.

The results of the dissertation research have been widely disseminated in scientific publications. A total of 16 scientific works has been published on the dissertation topic, including 4 articles in peer-reviewed journals indexed in the Web of Science and Scopus databases, 4 articles in journals recommended by the Committee for Quality Assurance in Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, 7 papers in international and national scientific conference proceedings, and 1 patent for a utility model. This demonstrates the high scientific level, relevance, and recognition of the research results.

The dissertation is a completed scientific work containing new scientific and practical results of significant importance for metallurgical science and industry. The obtained results are scientifically substantiated, reliable, and have high theoretical and practical value. Kabylkanov S.K. has demonstrated a high level of scientific qualification, independence, and professional competence in solving complex scientific and technological problems.

Thus, the dissertation fully meets the requirements for doctoral dissertations, is recommended for defense, and Kabylkanov Sultan Kaiyrbekovich deserves to be awarded the degree of Doctor of Philosophy (Ph.D.) in Metallurgy under the educational program 8D07202 – "Metallurgy".



Scientific Adviser,

Prof. Dr. Onuralp Yücel

Metallurgy and Materials Engineering Department,  
Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey



Metan Ög  
İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi  
Fakülte Sekreteri

## Шетелдік ғылыми кеңесшінің пікірі

*Кабылканов Султан Кайырбековичтің «Кешенді кремний алюминийлі тотықсыздандырғыш қолданып, хром-марганец лигатурасын балқыту технологиясын зерттеу және әзірлеу» тақырыбындағы диссертациялық жұмысы 8D07202 – «Металлургия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (Ph.D.) дәрежесін алу үшін ұсынылған.*

С.К. Кабылкановтың докторлық диссертациясы стандартты емес кремний алюминийлі тотықсыздандырғыштарды пайдалану арқылы кешенді хром-марганец лигатурасын өндіру технологиясын әзірлеуге және ғылыми негіздеуге арналған. Бұл зерттеу энергия және ресурс үнемдеуші заманауи технологиялар үшін, жоғары сапалы кендердің сарқылуы жағдайында, төмен сортты және техногендік шикізатты пайдалану қажеттілігіне байланысты өзекті болып табылады. Кешенді қорытпа металлургиялық үрдістерде энергия тұтынуды төмендетуге және тиімділікті арттыруға мүмкіндік беретін перспективті технологиялық шешім болып табылады.

Жұмыста хром және марганец кендеріне кешенді физика-химиялық зерттеулер жүргізілді. Рентгендік дифракциялық талдау, сканерлеуші электрондық микроскопия және термиялық талдау сияқты заманауи талдау әдістері қолданылды. Фазалық құрам анықталып, жоғары температурадағы мінез-құлық зерттелді, бұл тиімді металлургиялық үрдісті қалыптастыру үшін ғылыми негіз береді.

Диссертацияда автор HSC Chemistry 10 және FactSage 8.4 бағдарламалық қамтамасыз етулерін пайдалана отырып Fe–Cr–Mn–Si–Al–Ca–Mg–O көпкомпонентті жүйелеріндегі тотықсыздану үрдістеріне кешенді термодинамикалық модельдеу жүргізді. Металл және қож фазалары арасындағы элементтердің таралуы анықталды. Хром мен марганецтің максималды шығымын қамтамасыз ететін оңтайлы температуралық және қождық жағдайлар белгіленді.

Термодинамикалық модельдеу нәтижелері математикалық модельдеу арқылы қосымша расталды, соның негізінде технологиялық параметрлер, оттегі балансы және металдың шығым дәрежесі арасындағы сандық тәуелділіктер анықталды, бұл алынған нәтижелердің сенімділігі мен ғылыми негізділігін дәлелдейді.

Термодинамикалық, математикалық және эксперименттік зерттеулер негізінде автор кешенді хром-марганец лигатурасын алу үшін үш технологиялық бағыт ұсынды, олар шихта құрамын және тотықсыздандырғыш түрін өзгертуге негізделген. Бұл тәсілдер қорытпа құрамын басқаруға және металлургиялық үрдістің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Айрықша ғылыми және практикалық маңызы стандартты емес кешенді кремнийлі-алюминий тотықсыздандырғыштарды қолдану болып табылады, соның ішінде алюмосиликомарганец қорытпалары, ферросиликоалюминий және техногендік ферросиликохром шаңы. Бұл тотықсыздандырғыштар

жоғары тотықсыздану дәрежесін көрсетеді және металл фазасын қосымша легірілеуге ықпал етеді, сондай-ақ техногендік материалдарды пайдалану арқылы ресурстарды үнемдеуді және экологиялық тиімділікті арттыруды қамтамасыз етеді.

Зертханалық, ірі зертханалық және өнеркәсіптік масштабтарда жүргізілген эксперименттік зерттеулер ұсынылған технологияның тиімділігін және технологиялық жүзеге асырылу мүмкіндігін растады. Қуаттылығы 100 кВ·А электр доғалы пешінде кешенді хром-марганец лигатурасын балқыту үшін технология әзірленді, ол хром мен марганецтің жоғары шығымын және үрдістің тұрақтылығын қамтамасыз етеді. Ірі-зертханалық масштабтағы балқыту нәтижелері әзірленген технологияны өнеркәсіптік енгізу мүмкіндігін растады. Техничко-экономикалық бағалау дәстүрлі феррокорытпалармен салыстырғанда айтарлықтай экономикалық артықшылықтарды көрсетті, бұл ұсынылған шешімнің жоғары практикалық құндылығы мен өнеркәсіптік әлеуетін растайды.

Диссертациялық зерттеу нәтижелері ғылыми жарияланымдарда кеңінен жарияланған. Барлығы 16 ғылыми еңбек жарияланған, оның ішінде 4 мақала Web of Science және Scopus дерекқорларында индекстелген рецензияланатын журналдарда, 4 мақала Қазақстан Республикасы Білім және ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда, 7 баяндама халықаралық және ұлттық ғылыми конференциялар материалдарында және 1 патент бар. Бұл зерттеу нәтижелерінің жоғары ғылыми деңгейін, өзектілігін және танылуын көрсетеді.

Диссертация жаңа ғылыми және практикалық нәтижелерді қамтитын аяқталған ғылыми жұмыс болып табылады, олар металлургия ғылымы мен өнеркәсібі үшін маңызды мәнге ие. Алынған нәтижелер ғылыми тұрғыдан негізделген, сенімді және жоғары теориялық әрі практикалық құндылыққа ие. С.К. Кабылканов ғылыми біліктіліктің жоғары деңгейін, дербестігін және күрделі ғылыми-технологиялық мәселелерді шешу қабілетін көрсетті.

Осылайша, диссертация докторлық диссертацияларға қойылатын талаптарға толық сәйкес келеді, қорғауға ұсынылады, ал Кабылканов Султан Кайырбекович 8D07202 – «Металлургия» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (Ph.D.) дәрежесін алуға лайық деп есептеледі.

*Мөр: /Истамбұл Техникалық Университеті, Химия-металлургия факультеті, факультет хатшысы/*

*/қолы/*

Ғылыми кеңесші,

Профессор, доктор Онуралп Юджел

Металлургия және материалтану кафедрасы,

Истамбұл Техникалық Университеті, Истамбұл қ., Түркия.



*Ағылшын тілінен қазақ тіліне аударған Фольмер Елена*

*Мц. Фольмер Елена Павловна*

Республика Казахстан, Карагандинская область город Караганда.

Двадцать третье апреля две тысячи двадцать шестого года

Я, Рымжанов Болат Рымканович, нотариус нотариального округа Карагандинской области, государственная лицензия № 23011680 выдана 24.05.2023 года Министерством юстиции Республики Казахстан, свидетельствую подлинность подписи переводчика Фольмер Елены Павловны. Личность переводчика установлена, дееспособность и полномочия проверены.

Зарегистрировано в реестре за № 1182

Взыскано: 2292 тенге

Нотариус:



ST3008017260423113345R422986

Нотариаттық іс-әрекеттің бірегей нөмірі / Уникальный номер нотариального действия