

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО КОНСУЛЬТАНТА

на диссертационную работу Воробкало Нины Руслановны  
«Исследование и разработка технологии выплавки нового комплексного  
титансодержащего ферросплава»,  
представленной на соискание степени доктора PhD  
по образовательной программе 8D07203 «Металлургия»

Диссертационная работа Воробкало Нины Руслановны направлена на решение актуальной задачи для отечественной ферросплавной промышленности, связанной с разработкой ресурсосберегающей технологии выплавки нового комплексного титансодержащего ферросплава из Казахстанского сырья карботермическим бесшлаковым способом.

Отличительной особенностью проведенной докторантом работы по данной тематике является использование при выплавке нового комплексного титансодержащего ферросплава низкосортных ильменитовых концентратов отечественных месторождений и высокозольного угля в качестве восстановителя. Производство титансодержащих ферросплавов напрямую из отечественных ильменитовых концентратов не представляется возможным в связи с низким содержанием диоксида титана и высоким содержанием трудновосстановимых примесей. В связи с чем, в настоящей работе предлагается удалять хром и другие примеси при переработке ильменитового концентрата руднотермической электроплавкой на высотитанистый оксидный продукт – богатый титановый шлак. В результате нежелательные примеси будут переведены в попутный легированный металл. Полученный титановый шлак станет сырьевым ресурсом для получения нового комплексного титансодержащего ферросплава карботермическим бесшлаковым способом.

Диссертационная работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования молодых ученых по научным и (или) научно-техническим проектам на 2021-2023 годы финансируемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (ИРН АР09058310, № ГР 0121РК00348), где соискатель являлась ответственным исполнителем.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в том, что впервые:

- построена диаграмма четырехкомпонентной металлической системы Ti-Fe-Al-Si методом термодинамически-диаграммного анализа. Проведена тетраэдрация изучаемой системы, где установлено 32 элементарных тетраэдра, характеризующих комплексный ферросплав с титаном. Определено, что фазовый состав нового комплексного титансодержащего ферросплава наиболее полно описывается следующими тремя тетраэдрами: Si-FeAl<sub>4</sub>Si<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>-AlSi<sub>2</sub>Ti, Si-Fe<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>-FeSi-AlSi<sub>2</sub>Ti, Fe<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>-FeSi-AlSi<sub>2</sub>Ti-TiFeSi<sub>2</sub>;

- проведено полное термодинамическое моделирование процесса выплавки нового комплексного титансодержащего ферросплава на программном комплексе HSC Chemistry. Изучен характер процесса карбидообразования. Определено оптимальное соотношение SiO<sub>2</sub>/C<sub>тв</sub>=1,65-1,82 в составе шихтовой смеси, что предотвращает образование карбидов титана;

- разработана и отработана технология выплавки нового комплексного титансодержащего ферросплава карботермическим бесшлаковым способом с использованием высокозольного угля в качестве восстановителя в рудно-термической печи мощностью 0,2 МВА. Получена опытная партия нового комплексного титансодержащего ферросплава, следующего химического состава, %: Ti – 20-25; Si – 40-50; Al – 8-14; P не более 0,06, остальное железо;

- методами физико-химического анализа определены основные свойства нового комплексного титансодержащего ферросплава. Определено, что фазовый состав сплава представлен следующими соединениями -  $Al_3FeSi_2$ ,  $TiSi_2$ ,  $Ti_2FeAl$ ,  $TiFeSi_2$ , а также свободным кремнием. Установлено, что полученный ферросплав обладает оптимальной плотностью ( $4,7-5,3 \text{ г/см}^3$ ) и температурой плавления ( $T_k = 1420-1450 \text{ }^\circ\text{C}$ ) для легирования сталей.

Новизна также подтверждается патентом на изобретение РК KZ36232 от 26.05.2023 г. «Шихта для получения комплексного титансодержащего ферросплава одностадийным бесшлаковым карботермическим способом». На новый комплексный титансодержащий ферросплав разработаны технические условия (стандарт организации) СТ РГП 120941015505-08-2023. На выплавку нового комплексного титансодержащего ферросплава (алюмосиликотитана) в руднотермической печи с мощностью трансформатора 0,2 МВА разработан технологический регламент.

Полученные данные делают возможным использование богатого титанового шлака, получаемого из некондиционных ильменитовых концентратов, а также высокозольного угля в качестве восстановителя. Сплав, выплавляемый по разработанной технологии, может стать полноценным аналогом механической смеси (ферросилиция ФС45, вторичного алюминия, низкопроцентного ферротитана марки ФТи25) для комплексного легирования и раскисления стали. Полученный сплав также возможно применять в качестве комплексного восстановителя при выплавке высокопроцентных марок ферротитана. Помимо технико-экономических преимуществ, вовлечение подобных материалов в металлургический передел, решает серьезную экологическую проблему, связанную с накоплением и отсутствием грамотной технологии утилизации некондиционного сырья.

Успешная реализация разрабатываемой технологии в условиях реальных производств позволит решить целый ряд проблем горно-металлургического комплекса. Во-первых, повышение уровня импортозамещения за счет использования отечественных ильменитовых концентратов и получения из них конкурентоспособной продукции (богатый титановый шлак, новый комплексный титансодержащий ферросплав). Во-вторых, расширение сортамента выпускаемой на территории РК титансодержащей продукции и изделий из нее. В-третьих, улучшение свойств стальных изделий за счет комплексного легирования при использовании нового комплексного титансодержащего ферросплава. Также стоит отметить, что стоимость нового комплексного титансодержащего ферросплава на 30-40 % дешевле аналоговых ферротитана и ферросиликотитана.

Таким образом, проведенный комплекс научно-исследовательских работ в данной диссертации позволил разработать ресурсосберегающую технологию выплавки комплексного сплава с титаном из отечественных сырьевых материалов.

Диссертационная работа Воробкало Н.Р. является завершенной научно-квалификационной работой по актуальной тематике, содержит научно-обоснованные результаты, имеет теоретическую и практическую ценность.

В работе прослеживается внутреннее единство решаемых задач, входящих в исследуемую проблему и полученных результатов. Теоретические и экспериментальные исследования направлены на решение поставленных в диссертационной работе задач. Выводы и рекомендации, представленные в работе, обоснованы и подтверждены результатами теоретических и укрупненно-лабораторных испытаний, на что имеются соответствующие акты испытаний.

Основные научные результаты диссертационной работы опубликованы в изданиях ближнего и дальнего зарубежья, что позволяет получить полное представление о научных и практических результатах.

Исходя из вышесказанного считаю, что диссертационная работа Воробкало Нины Руслановны, выполненная на тему «Исследование и разработка технологии выплавки нового комплексного титансодержащего ферросплава» является актуальным, законченным научным исследованием, содержит совокупность новых обоснованных научных результатов и положений. Диссертационная работа соответствует требованиям Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, а её автор – Воробкало Нина Руслановна заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07203 – «Металлургия».

**Научный консультант,  
заведующий лабораторией  
Пирометаллургических процессов  
ХМИ им. Ж.Абишева,  
к.т.н., профессор**



**А.С. Байсанов**

*подпись к.т.н., профессора  
Байсанова А.С. заверяю.  
Заместитель директора  
по научной работе ХМИ им. Ж.Абишева,  
к.т.н.*



**Н.Ю. Лу**