

А. В. ПАНИЧКИН, А. М. УСКЕНБАЕВА*, А. Б. ИМАНБАЕВА,
С. С. ТЕМИРГАЛИЕВ, Д. М. ДЖУМАБЕКОВ

АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, *almauskenbaeva@mail.ru

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТИТАНОВЫХ РАСПЛАВОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТУГОПЛАВКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Показана перспективность разработки новых огнеупорных материалов для изготовления тиглей вакуумных индукционных печей для плавки и литья титана и сплавов на его основе. С целью подбора огнеупорных материалов, характеризующихся минимальным взаимодействием с титановыми расплавами, в работе приведены результаты термодинамических расчетов и экспериментальных исследований взаимодействия различных тугоплавких веществ с титаном при температурах выше точки его плавления. Проведенные термодинамические расчеты с использованием программы Outotec HSC Chemistry 8 показали, что большинство рассмотренных тугоплавких соединений и веществ, из которых могут быть изготовлены огнеупорные материалы, вступают во взаимодействие с титановыми расплавами. Исключение составляют CaO , MgO , ZrB_2 , ZrO_2 поскольку энергия Гиббса, энтальпия и энтропия реакции этих соединений с титаном является положительной до 2000 °С. Экспериментально на разработанной установке скоростного нагрева и при помощи вакуумной индукционной печи исследовано кратковременное взаимодействие порошков ряда тугоплавких веществ с жидким титаном марки ВТ1-0. Показано, что уже на первых секундах после плавления титановый расплав начинает интенсивно взаимодействовать с ними, при этом формируются новые соединения и развивается их интенсивное смачивание и пропитка. Отличительной особенностью взаимодействия титана с CaO , MgO является активное бурление и разбрасывание расплава, вызванное восстановлением кальция и магния до металлического состояния и их кипением. Представлены экспериментальные данные по кратковременному взаимодействию титанового расплава со стенками тигля из плотного графита марки МПГ7, согласно которым формирование карбида титана в переходной зоне происходит значительно медленнее в сравнении с порошком графита. Это делает возможным использование его в качестве огнеупорного материала для индукционной плавки литейных титановых сплавов и получения отливок для изготовления малонагруженных деталей.

Ключевые слова: титановый расплав, огнеупорный материал, реакционное взаимодействие, вредные примеси.

Введение. Чистый титан и его сплавы обладают ценным комплексом физико-химических и механических свойств: высокой удельной прочностью, удовлетворительной пластичностью при комнатной, повышенной и минусовой температурах, хорошей свариваемостью, малым коэффициентом линейного расширения, высокой коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред и др. [1]. В связи с этим титан находит широкое применение в авиастроении, судостроении, химическом машиностроении и других отраслях техники.

Однако известно, что сама выплавка и разливка титана представляют значительные трудности, так как при плавлении химическая активность титана резко возрастает, он интенсивно взаимодействует со всеми традиционными огнеупорными материалами и газами, за исключением инертных газов [1]. Из-за такой активности плавка титана и его сплавов в печах с обычной футеровкой невозможна, поскольку приводит к загрязнению расплава продуктами взаимодействия. Поэтому на сегодняшний день выплавка титановых сплавов и изготовление изделий из них все еще остается дорогостоящим, сложным производством.

Существует несколько способов получения слитков титана: вакуумно-дуговой переплав (ВДП), электронно-лучевой переплав (ЭЛП), вакуумно-индукционный переплав (ВИП), плазменно-дуговой переплав (ПДП), а также различные комбинации этих способов [2-3]. Преимущественно эти методы построены на локальном нагреве, исключаящем контакт титановых расплавов с футеровкой, при этом роль футеровки выполняет гарнисаж из титана или его сплавов, образующийся в процессе плавки на поверхности водоохлаждаемого медного или графитового тигля или кристаллизатора. Однако такие методы не позволяют за один цикл плавки получить однородные по составу слитки. Для устранения этого недостатка применяется двойной или даже тройной переплав, что существенно повышает стоимость готовых сплавов.

В настоящее время в вакуумных литейных агрегатах преимущественно используются два способа нагрева: электродуговая гарнисажная плавки и индукционный нагрев.

Индукционный нагрев по КПД существенно превосходит описанные выше методы и отлича-

ется возможностью получения более однородных по химическому составу сплавов [4]. Однако отсутствие огнеупорных материалов, которые не вступают во взаимодействие с титановыми расплавами, не позволяет использовать вакуумные индукционные печи классической конструкции. Был предложен способ плавки и разлива титановых сплавов с использованием тигля, изготавливаемого из нескольких водоохлаждаемых медных сегментов [4-6], в котором за счет особой конструкции индуктора создаются электромагнитные поля, препятствующие контакту расплава с боковыми стенками, а на дне образуется слой гарнисажа. За счет этого загрязнение загрузочного материала сведено к минимуму, а электромагнитное перемешивание расплава приводит к его химической и термической гомогенизации. Наряду с достоинствами метод индукционной плавки в холодном тигле имеет и серьезные недостатки, которые сдерживают его распространение. К ним относятся очень высокая стоимость оборудования и большие электрические и тепловые потери в холодном тигле (до 40 % мощности, подводимой к индуктору в зависимости от конструкции установки) [7]. По этой причине для вовлечения в производство титана вакуумных индукционных печей традиционной конструкции необходима разработка огнеупорных материалов, характеризующихся минимальным взаимодействием с титановыми сплавами. Для этого необходимы данные о взаимодействии титановых расплавов с различными тугоплавкими материалами, в том числе с используемыми при получении традиционных огнеупорных материалов.

Ранее [8] проводились работы по индукционной плавке титанового расплава в графитовых тиглях, однако было установлено, что при этом в расплав переходит ~ 0,6% С. В работе [9] для снижения взаимодействия между ними предлагается наносить слой карбида титана на внутреннюю поверхность тигля. Однако карбид титана хорошо растворим в титане.

Цель работы. Исследовать продукты взаимодействия титановых расплавов с различными огнеупорными материалами и установить наиболее инертные огнеупорные материалы для дальнейшего изготовления из них тиглей для индукционной плавки титановых сплавов.

Экспериментальная часть. Для прогнозной оценки возможности взаимодействия титанового расплава с различными тугоплавкими материалами и продуктов, возникающих в результате реакции между ними, был проведен термодинамиче-

ский анализ с помощью программы Outotec HSC Chemistry 8. При составлении уравнений окислительно-восстановительных реакций рассмотрены различные варианты, при которых исходные соединения брали как с высшими, так и низшими степенями окисления, а продукты с низшими степенями окисления. В случае отсутствия возможности протекания реакции рассматривались также продукты с высшими степенями окисления (таблица 1). При составлении химических реакций использовали только соединения, имеющиеся в базе данных программы Outotec HSC Chemistry 8.

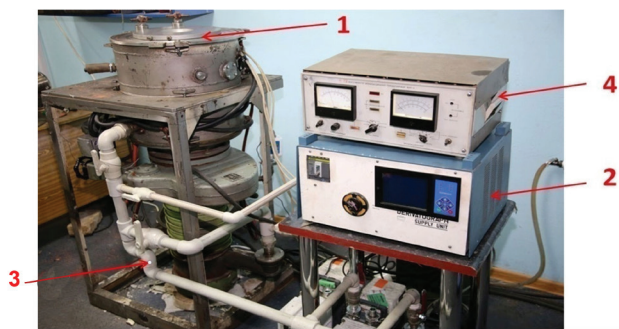
Таблица 1 – Значения энергии Гиббса для реакций взаимодействия расплавов титана с различными тугоплавкими соединениями

№	Уравнение химической реакции	Энергия Гиббса, D	Энергия Гиббса, D
1	$C + 2Ti = TiC + Ti$	-159,6	-156
2	$3SiC + 8Ti = Ti_5Si_3 + 3TiC$	-838	-823,2
3	$SiC + 2Ti = TiSi + TiC$	-230,4	-232
4	$2SiC + 3Ti = TiSi_2 + 2TiC$	-351,9	-350,1
5	$W_2C + Ti = TiC + 2W$	-144	-141
6	$WC + Ti = TiC + W$	-125,7	-122,5
7	$Mo_2C + Ti = TiC + 2Mo$	-96	-90,9
8	$Mo_3C_2 + 2Ti = 2TiC + 3Mo$	-218,3	-207
9	$MoC + Ti = TiC + Mo$	-131,3	-128,2
10	$ZrB_2 + 2Ti = 2TiB + Zr$	-13,5	-11,4
11	$ZrB_2 + Ti = TiB_2 + Zr$	39,3	39,6
12	$Si_3N_4 + 7Ti = 4TiN + 3TiSi$	-905,2	-911,7
13	$Si_3N_4 + 9Ti = 4TiN + Ti_5Si_3$	-1052	-1039
14	$2Si_3N_4 + 11Ti = 8TiN + 3TiSi_2$	-1483,9	-1481,7
15	$3MoSi_2 + 10Ti = 2Ti_5Si_3 + 3Mo$	-672,2	-661,1
16	$MoSi_2 + 2Ti = 2TiSi + Mo$	-127,2	-135,6
17	$MoSi_2 + Ti = TiSi_2 + Mo$	-18,3	-21,7
18	$3Al_2O_3 + 11Ti = 2Al_3Ti + 9TiO$	-232,6	-246,6
19	$Al_2O_3 + 5Ti = 2AlTi + 3TiO$	-132,8	-135,5
20	$2Al_2O_3 + 7Ti = 4AlTi + 3TiO_2$	127,8	131
21	$6Al_2O_3 + 13Ti = 4Al_3Ti + 9TiO_2$	714,5	714
22	$7CaO + 2Ti = Ca_3Ti_2O_7 + 4Ca$	306,1	289
23	$2CaO + Ti = TiO_2 + 2Ca$	254,1	247,7
24	$CaO + Ti = TiO + Ca$	61,5	56,7
25	$3MgO + Ti = MgTiO_3 + 2Mg$	147,7	132,8
26	$2MgO + Ti = 2Mg + TiO_2$	174	166,9
27	$MgO + Ti = Mg + TiO$	21,4	16,1
28	$5MgO + 2Ti = MgTi_2O_5 + 4Mg$	312,5	286,5
29	$4MgO + Ti = Mg_2TiO_4 + 2Mg$	132,2	116,6
30	$ZrO_2 + Ti = TiO_2 + Zr$	143,1	144,3
31	$2ZrO_2 + Ti = ZrTiO_4 + Zr$	137,3	138
32	$ZrO_2 + 2Ti = 2TiO + Zr$	12	10

Проведенный термодинамический анализ показал, что почти все рассмотренные тугоплавкие соединения и углерод при высоких температурах будут взаимодействовать с титановым расплавом, поскольку энергия Гиббса их реакции имеет отрицательное значение. Особенно этот показатель высок у карбидов кремния, молибдена, вольфрама, нитрида кремния, дисилицида молибдена, углерода. Близкой к нулю является энергия Гиббса при реакции борида циркония с титаном. Наиболее устойчивыми являются оксиды кальция, магния и циркония, поскольку энергия Гиббса, энтальпия и энтропия реакции этих соединений с титаном является положительной до 2273 К.

Экспериментально было исследовано взаимодействие титановых расплавов с различными традиционными и нетрадиционными огнеупорными материалами, применяемыми при выплавке металлов: графит, Al_2O_3 , CaO, MgO, SiC, MoC, WC, ZrB_2 , $MoSi_2$, Si_3N_4 . Порошки этих материалов запрессовывали в алундовые лодочки, и в углубление на поверхности укладывали штабик титана марки ВТ1-0. Выемка была необходима для того, чтобы расплавленный титан не вытекал из них.

Нагрев алундовых лодочек проводили в условиях глубокого вакуума, для этого была сконструирована и изготовлена небольшая печь с молибденовым спиральным нагревательным элементом, рассчитанным на нагрев алундовой лодочки (рисунки 1, 2).



1 – вакуумная печь; 2 – блок управления вакуумной печью;
3 – вакуумная система; 4 – вакуумметр

Рисунок 1 – Вакуумная печь сопротивления, используемая в экспериментах



1 – алундовая лодочка с образцом; 2 – молибденовый нагревательный элемент; 3 – термопара

Рисунок 2 – Положение образца с тиглем в молибденовом нагревательном элементе

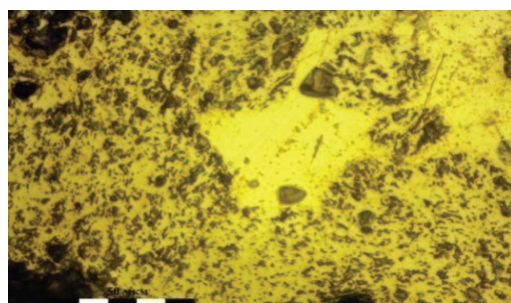
Печь была смонтирована на вакуумном откачном посту, построенном на базе диффузионного насоса НВДМ-250 с рабочей силиконовой жидкостью Dow Corning® 705 и задвижкой 23ВЭ-250, что позволило откачивать систему до давлений $3 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст. при температурах экспериментов и создавать безуглеродную остаточную атмосферу. Для обеспечения однородного температурного поля спираль защищалась тепловыми экранами из ниобиевой фольги. Образцы нагревали со скоростью 2 град/с по отдельности до температуры выше точки плавления титана, после чего их выдерживали при 1750-1800 °С в течение 2-5 мин. В результате достигались условия, максимально приближенные к контактному взаимодействию титановых расплавов с материалом тигля при индукционной плавке.

Ввиду того, что в экспериментах с CaO и MgO происходило интенсивное выбрасывание порошков из лодочки, дополнительно проводились эксперименты в вакуумной индукционной плавильной печи УИПВ-0,001. Для этого порошки CaO и MgO запрессовывались в алундовые тигли Ø80 мм, и в углубление устанавливался цилиндр из титана марки ВТ1-0 Ø40 мм и высотой 40 мм. После вакуумирования камеры печи до остаточного давления 0,1 мм рт. ст. осуществляли нагрев образца до плавления титана (~10 минут с момента включения) и последующую выдержку в течение ~ 1 мин. После отключения индуктора тигель охлаждали внутри печи под вакуумом.

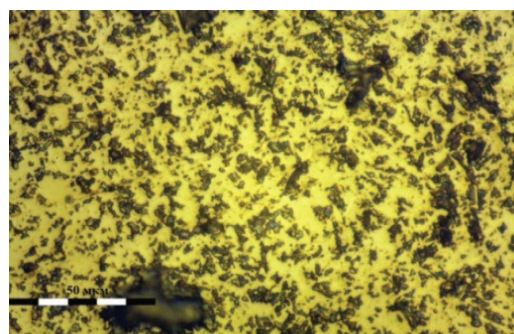
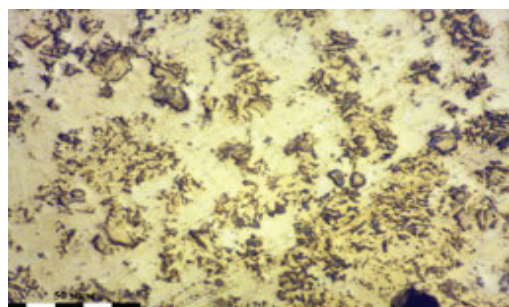
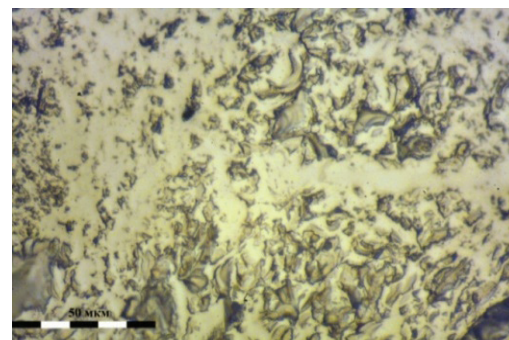
Исследования образцов проводили на металлографическом оптическом микроскопе NEOPHOT-32 и на электронно-зондовом микроанализаторе JEOL JXA-8230 (Япония). Для определения фазового состава образцов проводили рентгенофазовый анализ на дифрактометре D8 Advance (BRUKER) при излучении $Cu-K_{\alpha}$.

Обсуждение результатов. Исследование микроструктуры полученных образцов (рисунок 3) показало, что уже с первых секунд после плавления титановый расплав начинает интенсивно взаимодействовать с керамическими порошками, при этом формируются новые соединения и развивается их интенсивное смачивание и пропитка.

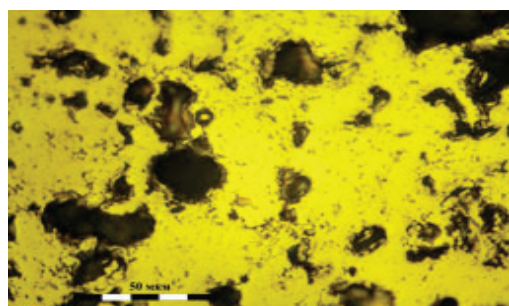
Согласно прогнозной оценке, одним из наиболее устойчивых материалов по отношению к титановому расплаву был борид циркония. Однако экспериментальные данные показывают, что даже это соединение вступает в реакцию с расплавом титана, образуя бориды титана (таблица 1).



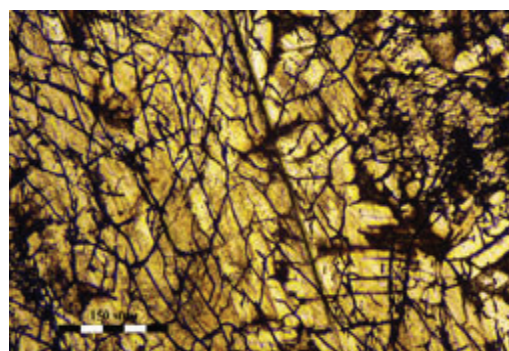
Ti+графит

Ti+MoSi₂Ti+Al₂O₃

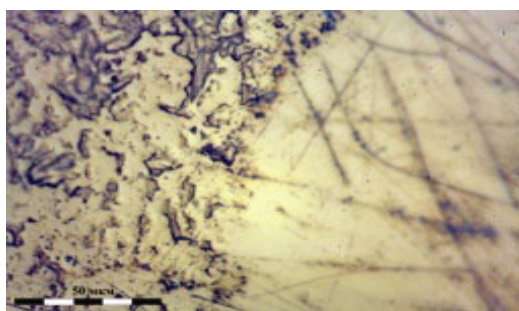
Ti+MoC



Ti+ WC



Ti+SiN



Ti+WC

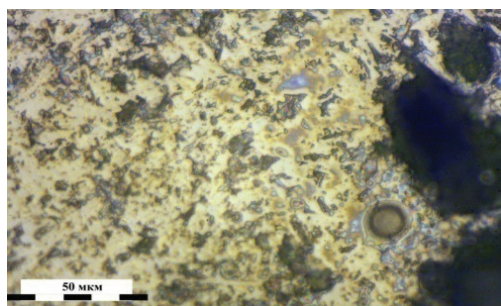
Ti+ ZrB₂

Рисунок 3 – Микроструктура титана BT1-0 после кратковременного контакта его расплава с порошками тугоплавких соединений

Предлагаемый ранее для изготовления тиглей графит, при кратковременном контакте с расплавом, приводит к формированию карбида титана в таком количестве, при котором дальнейшее использование титана как конструкционного материала невозможно. Аналогично графиту взаимодействуют с образованием карбида титана и других соединений карбиды MoC, WC. При контакте с карбидом кремния титан преимущественно образует с ним тройные карбиды и интерметаллические соединения. С нитридом кремния титан образует нитриды титана, что существенно изменяет структуру металла.

Принципиально отличаются по характеру взаимодействия соединения CaO и MgO, при контакте

Таблица 2 – Результаты рентгенофазового анализа

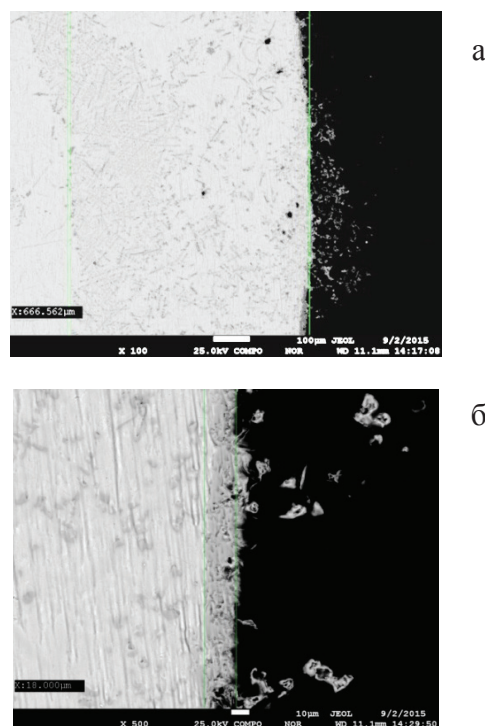
Соединения	Фазы					
Ti+алунд	Al ₂ O ₃ – 35,3%	TiO ₂ – 15,4 %	Ti – 15,1%	TiO ₂ – 12,9%	(TiO _{1,27}) _{0,787} – 12,7 %	TiO ₂ – 8,6 %
Ti+ графит	Ti ₂ C – 72,1 %	Ti – 27,9 %				
Ti+ карбид кремния	Ti ₂ C – 39,5 %	Si ₃ Ti ₅ – 26,5 %	C – 12 %	TiC _{0,62} – 9,7 %	Ti – 6,3%	Ti ₅ Si ₃ – 5,9 %
Ti+оксид магния	Ti					
Ti+оксид кальция	Ti	Ti ₃ O				
Ti+карбид молибдена	TiO _{0,716} – 19,6 %	TiC _{0,59} – 16,8 %	C ₅ Ti ₈ – 16,5 %	Ti – 32,2 %	Mo – 7,6 %	MoTi – 7,5 %
Ti+борид циркония	TiB – 31,9 %	TiB ₂ – 21,8 %	Zr _{0,944} O ₂ – 16,6 %	ZrB ₂ – 10,6 %	Ti – 9,8 %	Ti – 9,2%
Ti+дисилицид молибдена	TiSi – 29,7%	TiSi ₂ – 24,6 %	Ti ₅ Si ₄ – 19,5%	(Ti _{0,716}) _{3,76} – 15,6 %	Ti – 7,6 %	(MoTi) – 2,9%
Ti+нитрид кремния	Ti – 97,2 %	Ti _{0,83} N _{0,17} – 1,5 %	Si ₃ N ₄ – 1,1%	TiN – 0,2 %		

Примечание: в случае соединения Ti+алунд – новообразованные фазы плохо окристаллизованы или находятся в неравновесном состоянии

титановых расплавов с которыми происходит их интенсивное бурление и разбрызгивание. Такое взаимодействие свидетельствует о восстановлении кальция и магния до металлического состояния и их закипание при температуре расплава ~ 1800 °C (Т кип. Са = 1484 °C; Т плав. Mg = 1090 °C). При этом в структуре образцов титана не обнаруживается новых фаз (таблица 2).

Проведенные электронно-микроскопические и микрозондовые исследования образцов подтвердили, что при контакте рассмотренных керамических тугоплавких соединений с титаном, они интенсивно с ним взаимодействуют, загрязняя его растворенными элементами, в результате чего образуется ряд фаз интерметаллических, карбидных и оксидных соединений.

Учитывая выявленную высокую активность порошков графита по отношению к титановому расплаву, был проведен эксперимент по плавке титана в графитовом тигле в вакуумной индукционной печи по описанной выше методике. При этом тигель изготавливался из плотного графита марки МПГ7. Микрозондовые исследования полученного образца показали, что на границе контакта титан-графит образуется переходная зона. В ней формируются кристаллы карбида титана (рисунок 4), которые постепенно переносятся потоком расплава в его глубь. При этом по сравнению с порошком графита этот процесс развивается существенно медленней.



а – распространение карбида титана в расплаве,
б – формирование карбида титана на границе с графитом
Рисунок 4 – Переходная зона, формирующаяся на границе контакта титанового расплава с плотным графитом

Выводы. Таким образом, исследовано взаимодействие различных тугоплавких керамических материалов с титановым расплавом, в результате чего выявлено, что они вступают в активное

взаимодействие между собой, образуя оксиды, бориды, карбиды и интерметаллиды, что препятствует использованию их в качестве огнеупорного материала для выплавки титана и его сплавов в индукционных печах. Однако учитывая низкую скорость растворения графита, тигли, изготовленные из плотного графита, могут применяться в литейном производстве титана, где требования к механическим свойствам сплава не так высоки и изделия из них не подвергаются дальнейшей пластической обработке.

Работы были выполнены в рамках проекта 0139/ПЦФ «Совершенствование технологий электродуговой и индукционной плавки титановых сплавов и создание малотоннажного плавильного агрегата» АО ИМиО в лаборатории металловедения. Выражаем благодарность Национальной научной лаборатории коллективного пользования по приоритетному направлению «Технологии для углеводородного и горно-металлургического секторов и связанных с ними сервисных отраслей» АО ИМиО за проведенные анализы.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ильин А.А., Колачёв Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. Справочник. – М.: ВИС-МАТИ, 2009. – 520 с.
- 2 Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Ахонин С.В., Жук Г.В. Электронно-лучевая плавка титана. – Киев: Наук.думка, 2006. – 248 с.
- 3 Медовар Л.Б., Саенко В.Я., Рябинин В.А., Стовпченко А.П., Федоровский Б.Б. Совершенствование дугошлакового переплава титана и его сплавов // Титан. – 2010. – № 3 – С. 15-19.
- 4 Quintana I., Azpilgain Z., Pardo D. and Hurtado I. Numerical Modeling of Cold Crucible Induction Melting. *Proceedings of the COMSOL Conference – Stuttgart, Germany, 2011.*

5 Baake E., Umbrashko A., Jakovics A. LES modelling of the cold crucible melting processes. *Electromagnetic processing of materials. 2nd Sino-German workshop.* – Dresden, Germany. – 2005. – P. 26.

6 Mühlbauer A. Innovative induction melting technologies: a historical review. *Proceedings of the 4th International scientific colloquium.* – Riga, Latvia – 2006 – P. 13-20.

7 Тир Л.Л., Губченко А.П. Индукционные плавильные печи для процессов повышенной точности и чистоты – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 120 с.

8 Sutton J.B., Mckinley T.D. High Melting Metals and Alloys in Tube Design *Metal Progr.*, 1949, P. 195.

9 Пат. № 1806288/22-2 РФ. Графитовый тигель / Васин Ю.П., Александров В.М., Кулаков Б.А.; опубл. 26.10.1973. бюл № 43

REFERENCES

1 Il'in A.A. *Titanovye splavy. Sostav, struktura, svoystva.* (Titanium alloys. The composition, structure, properties) *Spravochnik* (Directory). Il'in A.A., Kolachjov B.A., Pol'kin I.S. – Moscow: VILS-MATI, 2009. 520 (in Russ.).

2 Paton B.E., Trigub N.P., Akhonin S.V., Zhuk G.V. *Ehlektronno – lucheвая pлавka titana* (Electron – beam melting of titanium) Kiev: Nauk.dumka, 2006. 248 (in Russ.).

3 Medovar L.B., Saenko V.Ja., Ryabinin V.A., Stovpchenko A.P., Fedorovski B.B. *Sovershenstvovanie dugoshlakovogo pereplava titana i ego splavov.* (Improving the arc slag remelting of titanium and its alloys). *Titan = Titanium.* 2010. 3. 15-19 (in Russ.).

4 Quintana I., Azpilgain Z., Pardo D. and Hurtado I. Numerical Modeling of Cold Crucible Induction Melting. *Proceeding of the COMSOL Conference – Stuttgart, Germany, 2011.* (in Eng.).

5 Baake E., Umbrashko A., Jakovics A. LES modelling of the cold crucible melting processes. *Electromagnetic processing of materials. 2nd Sino-German workshop.* Dresden, Germany 2005, 26 (in Eng.).

6 Mühlbauer A. Innovative induction melting technologies: a historical review. *Proceeding of the 4th International scientific colloquium.* Riga, Latvia 2006. 13-20 (in Eng.).

7 Tir L.L., Gubchenko A.P. *Induktsionnye plavil'nye pechi dlya protsessov povyshennoj tochnosti i chistoty* (Induction melting furnaces for improved accuracy and clarity of processes). Moscow: Ehnergoatomizdat, 1998. 120 (in Russ.).

8 Sutton J.B., Mckinley T.D. High Melting Metals and Alloys in Tube Design. *Metal Progr.*, 1949. 195 (in Eng.).

9 Пат. № 1806288/22-2 RU. *Grafitovyy tigel'* (Graphite crucible) Vasin Yu.P., Aleksandrov V.M., Kulakov B.A; 26.10.1973. Bul. 43 (in Russ.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Титан және оның қорытпаларын балқыту мен құю кезіндегі вакуумды индукциялы пеш жағдайындағы, отбқырларды жасауға арналған жаңа отқатөзімді материалдарының өндіріп шығару перспективасы көрсетілген. Титан балқымасымен минималды әрекеттесу қабілеті бар болатын отқатөзімді материалдарды таңдау мақсатында осы жұмыста термодинамикалық есептердің нәтижелері көрсетілген және титанның балқу температурасынан жоғары болған жағдайдағы әр-түрлі қиын балқытын элементтердің титанмен әрекеттесуінің эксперименттік зерттеулері келтірілген. OutotechHSCChemistry 8 программасын қолдану арқылы термодинамикалық есептерлердің нәтижесінде қарастырылып отырған отқатөзімді материалдарда қолданатын қиынбалқытын қоспалардың көбісі титан балқымасымен әрекеттесетіні белгілі болды. Бірақ CaO, MgO, ZrB₂, ZrO₂ ондай қасиетке ие болмайтыны көрсетілді, өйткені осы қоспалардың 2000 °C дейін Гиббс энергиясы, энтальпия және энтропия реакцияларының титанмен оң әсер бар болғандықтан. Жаңадаң құрастырылған жылдам қыздыру қондырғысы арқылы және вакуумды индукциялы пеш арқылы сұйық күйдегі BT1-0 маркалы титанның қиын балқытын ұнтақтармен аз уақытта әрекеттесуі зерттелген. Балқытудың бірінші секундтарынан бастап титан балқымасы олармен белсенді әрекеттесетіні көрсетілді, яғни жаңа қоспалар пайда бола бастайды және олардың сулануы мен сіңірілуі де дами өтеді. Титанның CaO, MgO мен бірге әрекеттесуінің ерекшелігі - ол белсенді бұрқылдауы және балқыманың шашырауы, кальций мен магнийдің метал түріне дейін тотықсыздануымен және қайнауымен байланысты. Титан балқымасының МПГ7 маркалы тығыз графиттен жасалған отбқырдың қабырғасымен әрекеттесудің аз уақыттағы мәліметтері келтірілген. Нәтижесінде титан карбиді өтпелі зонада баяу түзілетіні көрсетілген,

графит ұнтағына қарағанда. Сондықтан тығыз графитің отқатөзімді материал ретінде қолдануына мүмкіншілік бар екені көрсетілді. Әсіресе титан қорппаларынан құймаларды алу кезіндегі аз жүктелген бұйымдарды дайындауға арналған индукциялы балқыту жағдайында.

Түйінді сөздер: титан балқымасы, отқатөзімді материал, реакциялы әрекеттесу, зиян қоспалар.

SUMMARY

The prospects of the development of new refractory materials for the manufacture of crucibles vacuum induction furnaces for melting and casting of titanium and its alloys were shown. The results of thermodynamic calculations and experimental studies on the interaction of different refractory materials with titanium at temperatures above its melting point were presented with the purpose of selection of refractory materials with minimal interaction with titanium melts. The thermodynamic calculations using OutotecHSC-Chemistry 8 program showed that most considered refractory compounds and substances of which can be manufactured refractory materials react with titanium melts. Exceptions are CaO , MgO , ZrB_2 , ZrO_2 because the Gibbs energy, enthalpy and entropy of the reaction of these compounds with titanium is positive up to 2000°C . Experiments on designed installation of high-speed heating and by using a vacuum induction furnace were carried out and transient interaction of a number of powders of refractory materials with liquid titanium of VT1-0 brand was investigated. It is shown that at the first seconds after melting titanium melt begins to interact extensively with them, and the formation of new compounds and their intensive wetting and impregnation develops. A distinctive feature of the titanium interaction with CaO , MgO is actively spreading and swirling of the melt, caused by the reduction of calcium and magnesium to the metallic state and boiling. Experimental data on the momentary titanium melt interaction with the walls of the crucible of dense graphite grade MPG7, whereby the formation of titanium carbide in the transition zone is much slower compared with graphite powder. That makes it possible to use it as a refractory material for an induction melting of casting titanium alloys and producing castings for the production of light duty parts.

Keywords: titanium melt, refractory material, reacting, harmful impurities.

Поступила 29.08.2016.