Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2022»

Труды

XXIII Международной научно-практической конференции

23– 25 ноября 2022 г.

Часть 1

Новокузнецк
2022

ISSN 2542-1670

УДК 669(06)+658.012.056(06)
М 540

Редакционная коллегия
д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор С.В. Коновалов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., доцент Д.А. Чинахов,
к.т.н., доцент Р.А. Шевченко, к.т.н., доцент О.А. Полях,
к.т.н., доцент Е.Н. Темлянцева, д.т.н., доцент В.В. Зимин

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды XXIII Международной научно-практической конференции. В 2 частях. Часть 1 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 390 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и практики металлургических процессов, технологий обработки материалов, автоматизации, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов металлургического производства.

Конференция проводится ежегодно.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

АДМИНИСТРАЦИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА КУЗБАССА

ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «РУСАЛ-НОВОКУЗНЕЦК»

АО «КУЗНЕЦКИЕ ФЕРРОСПЛАВЫ»

АО «НЗРМК им. Н.Е. КРЮКОВА»

ЛЯОНИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ, Г. АНЬШАНЬ, КНР

ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»

ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»

ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»

АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2022

3. Попов Ю.Н., Adkins M., Bauer R., Burkhardt M. Экономическая эффективность литиевых электролитов с учётом очистки алюминия от лития и других примесей. // Сборник докладов IX Международной конференции «Алюминий Сибири - 2003».

4. Курдюмов А. В., Инкин С. В., Чулков В. С, Графас Н. И. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов.-М.: Металлургия, 1980.

5. Инкин С. В. Исследование роли поверхностных явлений в процессах очистки алюминиевых сплавов от неметаллических включений флюсами и разработка составов флюсов: Автореф. Канд. дис- М.: МИСиС, 1977.

6. Физико-химические аспекты технологии производства литейного флюса / и.ш. ахмадшоев, Н.П. Мухамедиев, А.Х. Сафиев, Р.С. Рафиев, Дж.Р. Рузиев, Х. Сафиев // ДАН РТ. Т.62.- 2019.- №5-6.- с.333-339.

7. Разработка рецептуры получения флюса из местного сырья и отходов производства / И.Ш. Ахмадшоев, Б.С.Азизов, Ш.Х. Раджабов, А.Х.Сафиев, Дж.Р. Рузиев // Материалы республиканской научно-практической конференции «Проблемы металлургии Таджикистана и пути их решения» (29-30 апреля 2016 г.) Душанбе-2016г, с.143-146.

УДК 621. 791.65

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТИТАНОТЕРМИИИ

Усольцев А.А.[1], Козырев Н.А.[2], Шевченко Р.А.[1], Михно А.Р.[1], Князев С.В.[1]

[1]Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
[2]ГНЦ РФ "ФГУП ЦНИИчермет им.И.П.Бардина", г. Москва, Россия, a.us@rambler.ru

Аннотация: *Разработана титанотермитная технология. Исследовано влияние состава металлотермитной смеси на механизм протекания высокотемпературных термических процессов. Определен состав титанотермитной смеси, обеспечивающий получение плотного металла. Добавление в состав металлотермитной смеси некоторого количества алюминиевого порошка обеспечивает полноту взаимодействия и восстановления окалины железа, а также увеличивает количество расплавленного металла. Введение в состав термитной смеси в качестве флюса пыли газоочистки алюминиевого производства уменьшает газовыделение при протекании термических процессов, увеличивает содержание углерода в получаемом металле и повышает его механические свойства.*

Ключевые слова: *термит, термитные процессы, алюмотермия, титанотермия.*

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF TITANOTERMI

Usoltsev A.A.[1], Kozyrev N.A.[2], Mikhno A.R.[1], Shevchenko R.A.[1], Knyazev S.V.[1]

[1]Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia
[2]SSC RF "FSUE TsNIIchermet im.I.P.Bardin", Moscow, Russia, a.us@rambler.ru

Abstract: *Titanothermic technology has been developed. The effect of the composition of the metal-thermite mixture on the mechanism of high-temperature thermal processes has been studied. The composition of the titanium-thermite mixture was determined, which ensures the production of a dense metal. Adding a certain amount of aluminum powder to the composition of the metal-termite mixture ensures complete interaction and reduction of iron scale, and also increases the amount of molten metal. The introduction of the thermite mixture as a flux of gas cleaning dust from aluminum production reduces gas emission during thermal processes, increases the carbon content in the resulting metal and improves its mechanical properties.*

Keywords*: thermite, thermite processes, aluminothermy, titanothermy.*

Введение

Применение термитных смесей для получения жидкого металла из окислов железа широко известно. В состав термитных смесей входят порошки металлов-восстановителей с оксидами тех металлов, из которых при протекании высокоэкзотермической реакции формируется в дальнейшем сварочный шов, а также различными присадочными соединениями - элементами металлического происхождения. В качестве металлов-восстановителей для выполнения сварочных операций широкое применение получил такой материал, как алюминий. Металл – восстановитель определяет природу металлотермического восстановления железа из его оксидов и по сути его название, так например - алюмотермия.

Металлотермический процесс восстановления активным металлом в общей форме выражается уравнением химической реакции [1]:

$$aMe + Me'bXc \rightarrow bMe' + MeaXc,$$

где Me - металл-восстановитель;

Me' -восстанавливаемый металл;

X-неметалл.

Из существующих основных способов металлотермического восстановления железа из его оксидов различают алюминотермию, магниетермию и силикотермию [2-7].

При алюмотермитных процессах выделяющегося тепла достаточно для нагрева смеси до температуры порядка 2800 - 3000 К, которая превышает температуру кипения алюминия. Протекание металлотермических процессов приводит к выделению газовой фазы, приводящее к разбрызгиванию расплава

шлака из зоны свариваемого шва. Возможно образование оксидов алюминия, которые могут являться центрами образования остаточных частиц, приводящих к возникновению трещин с последующими изломами и разрушением сварного стыка [7]. В работе [7] проводился термодинамический анализ металлотермических реакций с алюминием и с титаном. По восстановительной способности титан не уступает алюминию, а в случае реакции с оксидами железа даже превосходит, особенно в области температуры более 2000 К. Энтальпии реакции восстановления оксидов железа титаном находятся в той же области значений, что и энтальпии реакции восстановления оксидов железа алюминием [7].

Перспективным направлением при разработке металлотермических смесей для сварки является применение металлов – восстановителей, обеспечивающих получение качественного сварного шва [7–9]. Сдерживающим фактором развития рассматриваемого направления является отсутствие данных о зависимостях и закономерностях влияния металлов – восстановителей на физико–химические и металлургические процессы термитной сварки. Поэтому особый интерес представляют исследования, направленные на изучение металлургических процессов термитной сварки.

В данной работе разработана титанотермитная технология и исследовано влияние состава металлотермитной смеси на механизм протекания высокотемпературных термических процессов. Определен состав титанотермитной смеси, обеспечивающий получение плотного металла.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов использовались железная окалина и порошкообразные материалы: порошок титана ПТС по ТУ 15-1958 (титан – 99,6 %, примеси не более 0,4 %), порошок алюминиевый ПА-2 по ГОСТ 6058-73 (алюминий 99 %, примеси не более 1 %). В состав металлотермической смеси вводилась углеродфторсодержащая добавка (пыль газоочистки алюминиевого производства) [10].

Химический состав металла определяли атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 по ГОСТ РИСО 14284-2009. Состав шлака определяли рентгенофлюоресцентным методом на спектрометре Shimadzu XRF-1800 по ГОСТ 28033 – 89.

Взвешивание производилось на электронных весах марки SHSHIMADZU модели AUX120. Термитная смесь получалась путем добавлением всех составляющих в специальную емкость и перемешиванием. В смеситель засыпается полученная смесь и после чего в течение 30-40 минут производится перемешивание порошков термитной смеси. После смешивания порошков до однородной массы, термитная смесь ссыпается в металлические контейнеры для проведения сушки. Сушка производится для удаления влаги из термитной смеси, которая может отрицательно сказаться на полученном результате.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что у титана имеются пять оксидов (TiO, Ti_2O_3, Ti_3O_5, Ti_4O_7, TiO_2), для которых имеются и описаны термодинамические свойства [7].

Рассмотрим наиболее вероятные из них:

$$FeO + Ti \rightarrow Fe + TiO \quad (1)$$

$$2 \cdot FeO + Ti \rightarrow 2 \cdot Fe + TiO_2 \quad (2)$$

$$3 \cdot FeO + 2 \cdot Ti \rightarrow 3 \cdot Fe + Ti_2O_3 \quad (3)$$

В данной работе приводится исследование состава металлотермических смесей на протекание металлургических процессов горения смеси. Химический состав железной окалины приведен в таблице 1. Компонентный состав термитной смеси приведен в таблице 2.

Химический состав металла приведен в таблице 3. Готовые составы термитной смеси засыпались в специальную огнеупорную реакционную камеру, в которой имеется огнеупорная воронка для облегчения стекания жидкого металла, и поджигались термитной спичкой. Важной процедурой термитной сварки является процесс её поджога (инициализация горения). Для облечения поджога иногда используются специальные смеси, в состав которых добавлялась стружка металлического магния. Для собирания расплавленного металла использовалась металлическая (разборная) изложница, в которую металл попадал из воронки.

Таблица 1 – Химический состав железной окалины

Массовая доля элементов,%												
FeO	MnO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Na_2O	V_2O_5	Cr_2O_3	NiO	CuO	S	P
95,64	1,16	0,096	1,70	0,32	0,21	0,034	0,031	0,27	0,043	0,084	0,085	0,004

Таблица 2 – Компонентный состав термитной смеси

Обозначение	Окалина железа, %	Порошок титана ПТС, %	Порошок алюминиевый ПА-2, %	Углеродфторсодержащая добавка, %
Т.1	58,19	41,81	-	-
Т.2	50	50	-	-
Т.3	63,2	36,8	-	-
Т.4	53,0	46,98	-	-
ТА.5	81,29	18,71	13,08	-
ТА.6	69,27	30,73	5,57	-
ТА.7	58,2	41,8	21,5	-
А.1	74,7	-	25,3	-
А.2	79,92	-	20,08	-
А3	63,36	-	30,64	-
А.4	59,6	-	40,4	-
О.1	64,9	28,85	6,25	-
О.2	58,08	41,92	-	4,7

В результате горения и протекания металлотермических процессов в нижней части огнеупорной (реакционной) камеры происходило стекание и скопление расплавленного металла. Химический состав шлака приведен

в таблице 4.

Горение термитной смеси протекало активно и сопровождалось большими выбросами. Химический состав шлака показал (таблица 4), что металлотермическая реакция взаимодействия железной окалины с титаном происходит с образованием TiO_2 (по формуле 2). Для полного взаимодействия FeO (2 моля FeO = 144 г) требуется титана (1 моль Ti = 48 г), что должно составить следующее соотношение компонентов в термитной смеси: 75 % железной окалины и 25 % титана. Исследования по изменению содержания компонентов в термитной смеси (таблица 2), а также исследования состава получаемого шлака и металла показали, что для полного взаимодействия FeO требуется совершенно другое соотношение компонентов в термитной смеси: (61 ± 2) % железной окалины и (39 ± 2) % титана. При таком содержании компонентов в термитной смеси происходит практически полное взаимодействие окалины железа с порошком титаном.

Таблица 3 – Химический состав металла

№	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P
Т.1	-	1,71	0,47	0,29	0,28	0,08	5,76	<0,001	0,067	0,009	0,13	0,067	0,014	0,41
Т.2	-	1,23	0,35	0,15	0,29	0,18	21,09	0,024	0,18	0,012	0,29	0,099	0,062	0,42
Т.3	-	1,89	0,22	0,30	0,22	0,08	0,22	0,009	0,025	0,011	0,044	0,049	0,044	0,28
Т.4	-	2,15	0,33	0,15	0,27	0,09	22,95	<0,001	0,19	0,006	1,26	0,082	0,045	0,47
ТА.5	-	0,09	0,02	0,03	0,12	0,10	0,020	<0,001	0,0003	0,011	0,061	0,002	0,26	0,13
ТА.6	-	0,08	0,02	0,05	0,18	0,08	<0,001	0,008	0,001	0,010	0,039	0,003	0,20	0,21
ТА.7	-	1,66	0,12	0,02	0,11	0,03	37,89	0,014	0,21	0,007	27,68	0,043	0,10	0,093
А.1	-	0,02	0,02	0,05	0,06	0,08	<0,001	0,028	<0,001	0,013	0,038	0,003	0,25	0,023
А.2	-	0,05	0,02	<0,001	0,07	0,16	0,004	0,005	<0,001	0,016	0,22	0,001	0,19	0,025
А3	-	2,19	0,11	0,24	0,06	0,11	0,014	0,008	0,022	0,010	0,86	0,001	0,30	0,020
А.4	-	4,11	0,44	0,32	0,06	0,09	0,12	<0,001	0,034	0,009	6,12	0,003	0,094	0,014
О.1	-	1,18	0,13	0,29	0,21	0,07	0,59	<0,001	0,022	0,009	0,17	0,036	0,011	0,23
О.2	0,59	0,49	0,31	0,26	0,24	0,08	3,98	<0,001	0,053	0,011	0,18	0,042	0,020	0,35

Таблица 4 – Химический состав шлака

№ п/п	Массовая доля элементов,%												
	FeO	MnO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	Na_2O	K_2O	CuO	TiO_2	Cr_2O_3	S	P
Т.1	7,48	0,13	0,44	6,68	1,97	0,017	0,51	0,042	0,091	81,10	0,16	0,078	0,031
Т.2	18,21	0,11	0,25	3,99	2,69	0,030	0,074	0,0032	0,13	62,83	0,25	0,16	0,13
Т.3	9,79	0,41	0,73	16,17	9,79	0,11	0,23	0,12	0,17	61,82	0,29	0,18	0,0013
Т.4	8,27	0,078	0,59	15,57	7,21	0,038	0,27	0,11	0,040	67,15	0,16	0,18	0,052
ТА.5	22,24	0,82	0,12	19,12	26,22	0,22	0,10	0,13	0,025	30,22	0,48	0,14	0,005
ТА.6	8,90	0,70	0,13	15,54	16,94	0,18	0,084	0,057	0,16	55,89	0,58	0,13	0,013
ТА.7	12,31	0,072	0,24	6,27	31,52	0,14	0,077	0,022	0,024	48,06	0,17	0,13	0,034
А.1	42,59	1,43	0,33	16,13	34,89	0,23	0,074	0,063	0,16	3,07	0,35	0,11	0,0014
А.2	58,68	1,20	0,22	9,88	26,87	0,12	0,065	0,009	0,032	1,91	0,32	0,12	0,0014
А3	21,40	1,23	0,31	23,15	48,24	0,25	0,10	0,12	0,026	3,04	0,21	0,11	0,0014
А.4	47,02	0,38	0,44	12,20	34,14	0,027	0,095	0,026	0,028	3,34	0,28	0,15	0,0014
О.1	16,96	0,58	2,10	7,27	14,03	6,07	0,42	0,022	0,041	51,75	0,31	0,12	0,050
О.2	16,46	0,15	0,092	1,45	6,34	0,48	0,14	0,002	0,027	70,21	0,21	0,14	0,033

Анализ состава шлака и металла является подтверждением этого утверждения - в шлаке содержание FeO не более 8 %, содержание TiO_2 более 80 %, при этом содержание титана в металле не более 0,2 %. Протекание металлотермических процессов, особенно, в своей активной фазе, характеризуется значительными выбросами, при этом часть легковесных составляющих термитной смеси уносится горячими газовыми потоками. Легковесной составляющей в термитной смеси, состоящей из окалины и титана, является железная окалина. В алюмотермитной смеси легковесной составляющей является алюминиевый порошок. Следовательно, некоторое количество легковесной составляющей уносится горячими газовыми потоками и в металлотермических процессах не участвует. Степень полноты протекания титанотермического восстановления железа определяется количеством получаемых продуктов реакции (оксида титана TiO_2 и FeO) в шлаке и зависит от исходного количества железной окалины в титанотермитной смеси (рисунок 1).

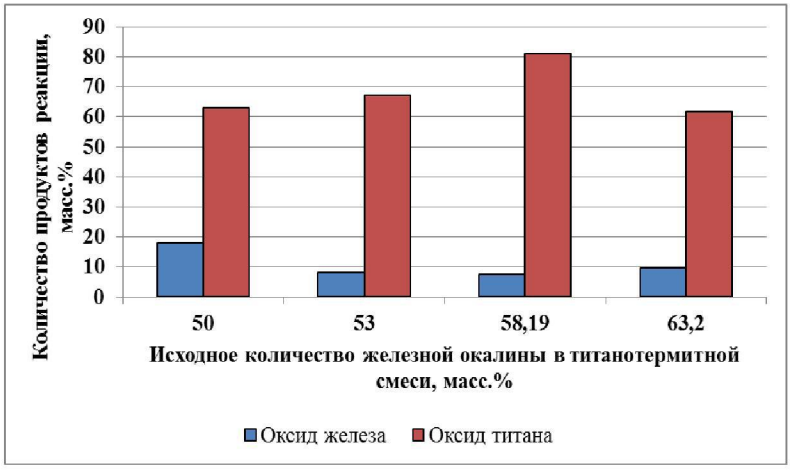

Рисунок 1 – Степень полноты протекания металлотермического восстановления железа в титанотермитной смеси

Степень полноты протекания алюминотермического восстановления железа также определяется количеством получаемых продуктов реакции (оксидов железа FeO и оксидов алюминия Al_2O_3) в шлаке и зависит от исходного количества железной окалины в алюминотермитной смеси (рисунок 2).

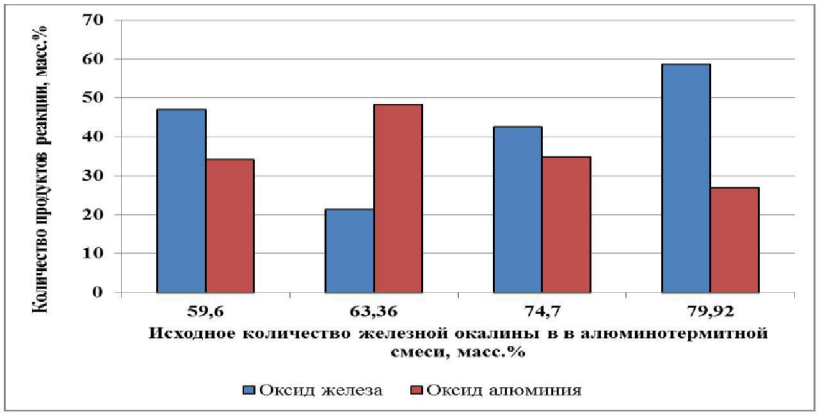

Рисунок 2 – Степень полноты протекания металлотермического

восстановления железа в алюминотермитной смеси

Добавление в состав титаноалюмотермитной смеси небольшого количества алюминиевого порошка обеспечивает полноту взаимодействия и восстановления окалины железа. При этом количество расплавленного металла увеличивается на 30-35 %.

Введение в состав термитной смеси в качестве флюса пыли газоочистки алюминиевого производства уменьшает газовыделение при протекании термических процессов. Помимо этого добавка углеродфторсодержащей флюсовой добавки повышает содержание углерода в получаемом металле и улучшает его физико-механические свойства.

Выводы

1. Разработана титанотермитная технология и определен состав титанотермитной смеси, обеспечивающие получение качественного металла.

2. Добавление в состав металлотермитной смеси небольшого количества алюминиевого порошка обеспечивает полноту взаимодействия и восстановления окалины железа, а также увеличивает количество расплавленного металла.

3. Введение в состав термитной смеси в качестве флюса пыли газоочистки алюминиевого производства уменьшает газовыделение при протекании термических процессов, увеличивает содержание углерода в получаемом металле и повышает его механические свойства.

Библиографический список

1. Подергин В.А. Металлотермические системы. – М.: Металлургия, 1992. – 271 с.

2. Соколов И.П., Пономарев Н.Л. Введение в металлотермию: Учебное пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1990. – 135 с.

3. Овчинников В.В. Термитная сварка: Издательство КноРус. 2004.–164 с.

4. Лякишев Н.П. Алюминотермия. М.: Металлургия, 1978. 424 с.

5. Самборук А. Р., Кузнец Е.А., Гурский И.О. Термитная сварка выводов электрохимической защиты/ Современные материалы, техника и технологии. Научно-практический рецензируемый журнал №6 (14), 2017. с. 118 – 122.

6. Каракич Е.А., Самборук А.Р., Майдан Д.А. Термитная сварка // Современные материалы, техника и технологии. Научно-практический рецензируемый журнал, №1 (34), 2021, с.63-67.

7. Термодинамические аспекты восстановления оксидов алюминия и титаном при термитной сварке / Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Ознобихина Н.В. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2021. Т. 77. № 12. С. 1291-1295.

8. Разработка состава титанотермитной смеси для сварки / Козырев Н.А., Усольцев А.А, Михно А.Р., Шевченко Р.А., Ознобихина Н.В. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2022. Т. 78. № 7. С. 625-630.

9. Термические константы веществ. Вып. V / Под ред. В.П. Глушко, В.А. Медведева и др. М.: Наука, 1971. 529 с.

10. Влияние введения в шихту для производства порошковой проволоки системы C-Si-Mn-Cr-V-Mo углеродфторсодержащей добавки и никеля / Н. А. Козырев, Д. А. Титов, С. Н. Старовацкая, О. Е. Козырева, В. М. Шурупов // Известия вузов. Черная металлургия. – 2014. – № 4. – С. 34–37.

УДК 669.017.16

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ОТЛИВОК В СПЛАВЕ 1570

Зорин И.А.[1], Дриц А.М.[1,2], Арышенский Е.В.[1], Коновалов С.В.[1,3]

[1]Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, г. Самара, Россия, zorin.ia@ssau.ru, arishenskiy.ev@ssau.ru
[2]АО «Арконик СМЗ», г. Самара, Россия, alexander.drits@arconic.com
[3]Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия, konovalov@sibsiu.ru

Аннотация: *Работа посвящена изучению влияния гафния на алюминиевый сплав 1570. Для этого в стальной кокиль были отлиты слитки из сплава 1570 в том числе с добавками гафния 0,1 %;0,2 %;0,5 %. При добавлении гафния выпадение наночастиц из пересыщенного твердого раствора при остывании слитка практически прекращается. Механические свойства в литом состоянии снижаются, это вероятно связанно с тем, что исчезают частицы $Al_3(Sc,Zr)$, образующиеся при остывании слитка, однако пластичность сплавов с гафнием значительно возрастает.*

Ключевые слова: *Алюминиевые сплавы, легирование малыми добавками переходных элементов, микроструктура, интерметаллиды, электронная микроскопия.*

STUDIES OF THE EFFECT OF HAFNIUM ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF CASTINGS IN ALLOY 1570

Zorin I.A.[1], Drits A.M.[1,2], Aryshensky E.V.[1], Konovalov S.V.[1,3]

[1]Samara National Research University, Samara, Russia, zorin.ia@ssau.ru, arishenskiy.ev@ssau.ru
[2]AO "Arconic SMZ", Samara, Russia, alexander.drits@arconic.com
[3]Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia, **konovalov@sibsiu.ru**

Annotation: *The issue is devoted to the study of the effect of hafnium on aluminum alloy 1570. For this purpose, ingots from alloy 1570 were cast in a steel*

РЕЦИКЛИНГ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ
Годик Л.А., Фейлер С.В., Фейлер Д.Т., Романенко Ю.Е. ***104***

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ LD-КОНВЕРТИРОВАНИЯ В ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНО РАБОТАЮЩИХ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КОНВЕРТЕРАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА
Бондар В.И., Мельник С.Г. ***109***

ФУТЕРОВКА СТАЛЕРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОГНЕУПОРНЫМ МАТЕРИАЛАМ И УСЛОВИЯМ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ
Плохих П.А., Алексеева В.А., Вожол Н.А., Плохих П.А. ***118***

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОКИСЛЕННОСТЬ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА
Сущенко А.В. ***127***

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЕЙНОГО ФЛЮСА НА ОСНОВЕ СМЕСИ КРЕМНЕФТОРИДА И ФТОРИДА НАТРИЯ
Аслонов А.А., Ахмадшоев И.Ш., Наимов Н.А., Рузиев Дж.Р., Сафиев Х. ***137***

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТИТАНОТЕРМИИИ
Усольцев А.А., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Михно А.Р., Князев С.В. ***142***

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ОТЛИВОК В СПЛАВЕ 1570
Зорин И.А., Дриц А.М., Арышенский Е.В., Коновалов С.В. ***149***

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАФНИЯ И ЭРБИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ ЛИТЕЙНОЙ ЗАГОТОВКИ В ВЫСОКОМАГНИЕВОМ АЛЮМИНИЕВОМ СПЛАВЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫМ СКАНДИЕМ
Арышенский В.Ю., Арышенский Е.В., Рагазин А.А.,
Бахтегареев И.Д., Коновалов С.В.[1,2] ***156***

О ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ
Якушевич Н.Ф., Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В.,
Безрукова Е.С., Ноздрин Е.В. ***162***

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ВАННЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ
Якушевич Н.Ф., Полях О.А., Ноздрин И.В., Аникин А.Е.,
Ядыкина М.А., Комрони М. ***168***

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБРАЗОВАНИЯ ФЕРРОШПИНЕЛЕЙ
Строкина И.В., Полях О.А., Ноздрин И.В., Сюльдина С.А., Комрони М. ***175***

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ
Полях О.А., Ноздрин И.В., Строкина И.В., Якушевич, Н.Ф., Хорощенко А.А., Комрони М. ***180***

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНОЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО ПРОДУКТА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
Бурдонов А.Е., Новиков Ю.В., Шонходоев З.Ч., Хвостанцева Д.С., Максименко О.А. ***187***

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОКСИДНОГО ВОЛЬФРАМОВОГО СЫРЬЯ В СТРУЙНОМ ПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ
Ноздрин И.В., Полях О.А., Лепихов В.С., Аникин А.Е., Комрони М. ***196***

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КОНВЕРТЕРНОЙ ПЛАВКЕ
Сафонов С.О., Лопатина А.О. ***205***

Научное издание

МЕТАЛЛУРГИЯ: ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО

«Металлургия – 2022»

Труды XXIII Международной научно-практической конференции

Часть 1

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор Г.А. Морина
Компьютерная верстка Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 16.11.2022 г.
Формат бумаги 60х84 1/16. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 22,8 Уч.-изд. л. 25,2 Тираж 300 экз. Заказ № 295

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ