



ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Бюллетень научно-технической и экономической информации

**С Днем
металлурга!**

Ferrous Metallurgy

Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information

Том 78 №7

2022



ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет (научно-исследовательский университет)»

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ научно-технической и экономической информации

Журнал включен в перечень научных изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
Регистрационный номер ПИ № 77-82438

Издается с 1944 года, ежемесячно

Том 78, № 7

2022

Челябинск,
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

ISSN 0135-5910 (Print)
ISSN 2619-0753 (Online)

ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

БЮЛЛЕТЕНЬ научно-технической и экономической информации

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор - СМЕРНОВ Л.А., академик РАН (Российская академия наук, ОАО "Уральский институт металлов", Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)

Зам. главного редактора - ВИННИК Д.А., профессор РАН, д-р. хим. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

Зам. главного редактора - БЕССОНОВ А.В., канд. экон. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

Зам. главного редактора - ЧУМАНОВ И.В., д-р техн. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

Зам. главного редактора - ГАМОВ П.А., канд. техн. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

АКСЕЛЬБРОД Л.М., канд. техн. наук (НИТУ «МИСиС», г. Москва)

АНДРЕЕВ К.П., канд. техн. наук (Уханьский Университет Науки и Технологии (WUST), Ухань, Китай)

БАБЕНКО А.А., д-р техн. наук (Институт металлургии УрО РАН (ИМет УрО РАН), Екатеринбург)

БАБИЧ А.И., д-р техн. наук (университет Ахена, Германия)

БЕЛОВ В.К., канд. физ.-мат. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

БРОДОВ А.А., канд. экон. наук (ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина", г. Москва)

БЫХОВСКИЙ Л.З., д-р техн. наук (ФГБУ ВИС, г. Москва)

ВЕДЕНЕВ А.В., канд. техн. наук (ОАО "Белорусский металлургический завод – управляющая компания холдинга "Белорусская металлургическая компания", г. Жлобин, Республика Беларусь)

ГОРДОН Я.М., д-р техн. наук (фирма Хатч, г. Торонто, Канада)

ДЕНИСОВ С.В., д-р техн. наук (ОАО ММК, г. Магнитогорск)

ДМИТРИЕВ А.Н., д-р техн. наук (Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург)

ЗОЛОТУХИН Ю.А., канд. техн. наук (АО ВУХИН, г. Екатеринбург)

ЖЕРЕБЦОВ Д.А., д-р. хим. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

ИБРАЕВ И.К., д-р техн. наук (Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Республика Казахстан)

КОВАЛЕК АННА, канд. техн. наук (Ченстоховский технологический университет, г. Ченстохова, Польша)

КОЖЕВНИКОВА И.А., д-р техн. наук (Череповецкий государственный университет, г. Череповец)

КОЗЫРЕВ Н.А., д-р техн. наук (Сибирский государственный университет, г. Новокузнецк)

КОСМАЦКИЙ Я.И., д-р. техн. наук (АО "Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности", г. Челябинск)

КУЛАКОВ Б.А., д-р. техн. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

ЛЯШЕНКО В.И., канд. техн. наук (ГП "УкрНИПИИпромтехнологии", Украина)

МИХАЙЛОВ Г.Г., д-р. техн. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

ОРЛОВ Г.А., д-р техн. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

ПРОТАСОВ А.В., канд. техн. наук (АО АХК ВНИИМЕТМАШ г. Москва)

РОЩИН В.Е., д-р. техн. наук (ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск)

СИДОРОВА Е.Ю., д-р экон. наук (НИТУ «МИСиС», г. Москва)

СМЕРНОВ А.Н., д-р техн. наук (Физико-технологический институт металлов и сплавов НАНУ, г. Киев, Украина)

СТОЛЯРОВ А.М., д-р техн. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

СТРАХОВ В.М., канд. техн. наук (АО ВУХИН, г. Екатеринбург)

ТАНДОН ПУНИТ, д-р философии (технические науки) (Индийский институт информационных технологий, проектирования и производства, Индия, г. Джабалпур)

ФИЛИППОВ Г.А., д-р техн. наук (ФГУП "ЦНИИчермет им. И.П. Бардина", г. Москва)

ФИЛОСОФОВА Т.Г., д-р экон. наук (Исследовательский университет "Высшая школа экономики" НИУ ВШЭ), г. Москва)

ФРОЛОВ Ю.А., д-р техн. наук (ООО НПП "Уралэлектра", г. Екатеринбург)

ХАРИТОНОВ В.А., канд. техн. наук (Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск)

ЧИЖИКОВА В.М., д-р техн. наук (ООО "Управляющая компания "Румелко", г. Москва)

ШЕШУКОВ О.Ю., д-р техн. наук (Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург)

Ю ХАЙЛЯНГ, д-р философии (технические науки) (Колледж механики и электротехники Центрального Южного университета, г. Чанша, Китай)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)"

Адрес редакции:

454080, Челябинская обл., г. Челябинск, пр-т Ленина, д. 76

Тел./факс: +7 (351) 267-91-61

e-mail: gamovpa@susu.ru, bessonov@bk.ru

<https://chermetinfo.elpub.ru/jour>

FERROUS METALLURGY

BULLETIN of Scientific, Technical and Economic Information

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief - SMIRNOV L.A., *Academician of RAS (Russian Academy of Sciences, OJSC "Ural'sky Institute of Metals", Institute of Metallurgy Ural Branch of RAS, Ekaterinburg)*

Deputy Editor-in-Chief - VINNIK D.A., *Professor of RAS, HD (Chem) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

Deputy Editor-in-Chief - BESSONOV A.V., *PhD (Econ) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

Deputy Editor-in-Chief - CHUMANOV I.V., *HD (Tech) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

Deputy Editor-in-Chief - GAMOV P.A., *PhD (Tech) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

AKSELROD L.M., *PhD (Tech) (National Research technological University "MISiS", Moscow)*

ANDREEV K.P., *PhD (Tech.) (Wuhan University of Science and Technology (WUST), Wuhan, China)*

BABENKO A.A., *HD (Tech) (Institute of metallurgy Uro RAN (IMet Uro RAN), Ekaterinburg)*

BABICH A.I., *HD (Tech) (Aachen University, Germany)*

BELOV V.K., *PhD (Phys and Mathematic) (Magnitogorsk State technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

BRODOV A.A., *PhD (Econ) (FGUP "CNIChermert after I.P. Bardin", Moscow)*

BYKHOVSKY L.Z., *HD (Geo and Mineral) (FGBU VIMS, Moscow)*

VEDENEV A.V., *PhD (Tech) (OJSC "Balarus' steel-works – Managing company of Holding "Belarus' metallurgical company", Zhlobin, Balarus')*

GORDON Ya.M., *HD (Tech) (Hutch, Toronto, Canada)*

DENISOV S.V., *HD (Tech) (OJSC MMK, Magnitogorsk)*

DMITRIEV A.N., *HD (Tech) (Institute of Metallurgy Ural branch of RAS, Ekaterinburg)*

ZOLOTUKHIN Yu.A., *PhD (Tech) (JSC VUKHIN, Ekaterinburg)*

ZHEREBTSOV D.A., *HD (Chem) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

IBRAEV I.K., *HD (Tech) (Eurasia National University after L.N. Gumilev, Astana, Republic of Kazakhstan)*

KAWALEK ANNA, *PhD (Tech.) (Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland)*

KOZHEVNIKOVA I.A., *HD (Tech) (Cherepovets State University, Cherepovets)*

KOZYREV N.A., *HD (Tech) (Siberian State University, Novokuznetsk)*

KOSMATSKY Ya.I., *HD (Tech) (JSC "Russia Research and development Institute of Pipe Industry", Chelyabinsk)*

KULAKOV B.A., *HD (Tech) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

LYASHENKO V.I., *PhD (Tech) (GP "UkrNIPromtehnologii", Ukraine)*

MIKHAILOV G.G., *HD (Tech) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

ORLOV G.A., *HD (Tech) (Ural Federal University after the First President of Russia B.N. El'tsin, Ekaterinburg)*

PROTASOV A.V., *PhD (Tech) (JSC AKhK BNIIMET-MASH, Moscow)*

ROSHCHIN V.E., *HD (Tech) (FSAEIHE SUSU (NRU), Chelyabinsk)*

SIDOROVA E.Y., *HD (Econ.) (National Research Technological University "MISiS", Moscow)*

SMIRNOV A.N., *HD (Tech) (Physico-Technology Institute of Metals and Alloys of NANU, Kiev, Ukraine)*

STOLYAROV A.M., *HD (Tech) (Magnitogorsk State technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

STRAKHOV Yu.A., *PhD (Tech) (JSC VUKHIN, Ekaterinburg)*

PUNEET TANDON, *PhD (Indian Institute of Information Technology, Design and Manufacturing, Jabalpur, India)*

FILIPPOV G.A., *HD (Tech) (FGUP "CNIChermert after I.P. Bardin", Moscow)*

FILOSOFOVA T.G., *HD (Econ.), (Research University "The Highest School of Economics" – NIU VShE, Moscow)*

FROLOV Yu.A., *HD (Tech) (OJSC NPP "Uralelectra", Ekaterinburg)*

KHARITONOV V.A., *PhD (Tech) (Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

CHIZHIKOVA V.M., *HD (Tech) (OJSC "Managing Company "Rumelco", Moscow)*

SHESHUKOV O.Yu., *HD (Tech) (Ural Federal University after the First President of Russia B.N. El'tsin, Ekaterinburg)*

STOLYAROV A.M., *HD (Tech) (Magnitogorsk State technical University after G.I. Nosov, Magnitogorsk)*

YU HAILIANG, *PhD (Tech.) (College of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha, China)*

Founders: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"South Ural State University (national research university)"

Editorial Addresses: 76, Lenin Avenue, Chelyabinsk, Russia, 454080

Tel/fax: +7 (351) 267-91-61

e-mail: gamovpa@susu.ru, bessonov@bk.ru

<https://chermetinfo.elpub.ru/jour>

СОДЕРЖАНИЕ

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ И В ИНСТИТУТАХ

Горнорудное производство

- Ганин Д.Р., Панычев А.А.* Обзор способов повышения магнитных свойств слабомагнитных железных руд 591

Сталеплавильное производство

- Чуманов И.В., Седухин В.В.* Анализ методик прогнозирования предельной концентрации азота в дуговых сталях 598
- Макровец Л.А.* Диаграмма состояния системы $Y_2O_3-SiO_2$ 605

Трубное производство

- Мишнев П.А., Адигамов Р.Р., Барабошкин К.А., Вархалева Т.С., Федотов Е.С., Карлина А.И.* Математические модели прогнозирования коррозионной стойкости сталей трубных марок в среде CO_2 611

Металлургическое оборудование и литейное производство

- Калганов М.В., Зайнуллин Л.А., Калганов Д.В., Дзюбайло Р.В.* Конструктивные особенности камеры нагрева печи отпуска мельничных шаров и расчетные тепловые режимы ее работы 620
- Козырев Н.А., Усольцев А.А., Михно А.Р., Шевченко Р.А., Ознобихина Н.В.* Разработка состава титанотермитной смеси для сварки 625
- Шикова И.И., Михайлов Г.Г.* Изучение причин появления «газовых отпечатков» на поверхности сварных швов. Краткое сообщение 631

ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ

- Статистика** 643

CONTENTS

AT ENTERPRISES AND IN INSTITUTES

Ore-Mining Industry

- Ganin D.R., Panychev A.A.* Review of ways to improve the magnetic properties of weakly magnetic iron ores

Steelmaking

- Chumanov I.V., Sedukhin V.V.* Analysis of methods for predicting the limiting nitrogen concentration in duplex steels
- Makrovets L.A.* $Y_2O_3-SiO_2$ system diagram

Production of Pipes and Tubes

- Mishnev P.A., Adigamov R.R., Baraboshkin K.A., Varkhaleva T.S., Fedotov E.S., Karlina A.I.* Mathematical models for prediction of corrosion resistance of pipe steel grades in CO_2 environment

Metallurgical equipment and foundry practice

- Kalaganov M.V., Zainullin L.A., Kalaganov D.V., Dzyubailo R.V.* Design features of the heating chamber of the mill ball tempering furnace and calculated thermal modes of its operation
- Kozyrev N.A., Usol'tsev A.A., Mikhno A.R., Shevchenko R.A., Oznobikhina N.V.* Development of titanium-thermite mixture for welding
- Shikova I.I., Mikhailov G.G.* Studying the causes of the "gas porosity" appearance on surface of the welded joints. Brief report

EXPRESS INFORMATION

- Statistics**

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ТИТАНОТЕРМИТНОЙ СМЕСИ ДЛЯ СВАРКИ

Н. А. КОЗЫРЕВ¹, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора научного центра качественных сталей, n.kozyrev@chermet.net; А. А. УСОЛЬЦЕВ², канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии черных металлов; А. Р. МИХНО², аспирант Института машиностроения и транспорта; Р. А. ШЕВЧЕНКО², канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии черных металлов; Н. В. ОЗНОБИХИНА², ведущий специалист по информационному обеспечению и государственной регистрации НИР (ИО и ГР НИР)
 (¹ ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», Россия, г. Москва;
² Сибирский государственный индустриальный университет, Россия, г. Новокузнецк)

Аннотация. С целью повышения качества термитной сварки проведено исследование по замене порошка алюминия на порошок титана. В качестве исходных материалов для металлотермической смеси использовали железную окалину и порошкообразные материалы: порошок титана ПТС по ТУ 15–1958, порошок алюминиевый ПА-2 по ГОСТ 6058–73. В состав металлотермической смеси вводили пыль газоочистки алюминиевого производства. Химический состав металла определяли атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 по ГОСТ Р ИСО 14284–2009, состав шлака — рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре Shimadzu XRF-1800 по ГОСТ 28033–89. Разработан состав титанотермитной смеси, обеспечивающий получение плотного металла. Добавление в состав титанотермитной смеси некоторого количества алюминиевого порошка обеспечивает полноту взаимодействия и восстановления окалины железа, при этом количество расплавленного металла увеличивается. Введение в состав термитной смеси в качестве флюса пыли газоочистки алюминиевого производства уменьшает газовыделение при протекании термических процессов. Помимо этого, углеродфторсодержащая флюсовая добавка увеличивает содержание углерода в получаемом металле и повышает его механические свойства.

Ключевые слова: термит, термитная сварка, алюмотермия, титанотермия.

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

Doi: 10.32339/0135-5910-2022-7-625-630

DEVELOPMENT OF TITANIUM-THERMITE MIXTURE FOR WELDING

N. A. KOZYREV¹, HD (Tech.), Professor, Deputy Director of the Scientific Center for Quality Steels, kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru; A. A. USOL'TSEV², PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Ferrous Metallurgy; A. R. MIKHNO², Postgraduate Student, Institute of Mechanical Engineering and Transport; R. A. SHEVCHENKO², PhD (Tech.), Associate Professor, Department of Ferrous Metallurgy; N. V. OZNOBIKHINA², Leading Specialist in Information Support and State Registration of R&D (IO and GR R&D)
 (¹ GNTs FGUP "TsNIIchermet im. I.P. Bardina", Russia, Moscow;
² Siberian State Industrial University, Russia, Novokuznetsk)

Abstract. The influence of reducing metals on the metallurgical processes of thermite welding has been studied. Iron scale and powdery materials were used as starting materials for the metallothermic mixture: titanium powder PTS according to TU 15–1958, aluminum powder PA-2 according to GOST 6058–73. Aluminum gas purification dust was introduced into the composition of the metallothermic mixture. The chemical composition of the metal was determined by the atomic emission method using the DFS-71 spectrometer according to GOST R ISO 14284–2009, the slag composition was determined by the X-ray fluorescence method on the Shimadzu XRF-1800 spectrometer according to GOST 28033–89. The composition of the titanothermite mixture has been developed, which ensures the production of dense metal. The addition of a small amount of aluminum powder to the composition of the titanium-thermite mixture ensures the completeness of the interaction and reduction of iron scale, at the same time, the amount of molten metal increases. The introduction of aluminum gas purification dust into the thermite mixture as a flux reduces gas emission during thermal processes. In addition, the addition of a carbon-fluorine-containing flux additive increases the carbon content in the resulting metal and improves its mechanical properties.

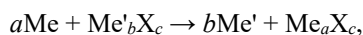
Keywords: thermite, thermite welding, alumothermy, titanothermy.

For citation: Kozyrev N.A., Usol'tsev A.A., Mikhno A.R., Shevchenko R.A., Oznobikhina N.V. Development of titanium-thermite mixture for welding. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii* = *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2022, vol. 78, no. 7, pp. 625–630. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2022-7-625-630

Применение термитных смесей для выполнения сварочных операций 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 с различными присадочными соединениями — элементами металлического происхождения. В качестве металла-восстановителя 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, например алюмотермия.

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



где Me — металл-восстановитель; Me' — восстанавливаемый металл; X — неметалл.

Из существующих основных способов металлотермического восстановления железа из его оксидов различают алюминотермию, магниетермию и силикотермию [2–10].

При алюмотермитных сварочных 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, которая вызывает разбрызгивание 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 [11]. В работе [11] проводился термодинамический анализ металлотермических реакций с алюминием и титаном. По восстановительной способности титан не уступает алюминию, а в случае реакции с оксидами железа даже превосходит, особенно в области температуры более 2000 К.

Перспективным направлением при разработке металлотермических смесей для сварки является применение металлов-восстановителей, обеспечивающих получение качественного сварного шва [7–12]. 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.

Целью настоящей работы является разработка состава титаноалюмотермитной смеси, обеспечивающей высокие физико-механические свойства сварного шва.

Материалы и методы исследования

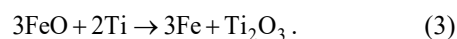
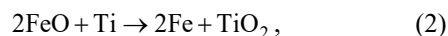
В качестве исходных материалов использовали железную окалину и порошкообразные материалы: порошок титана ПТС по ТУ 15–1958 (титан — 99,6 %, примеси — не более 0,4 %), порошок алюминиевый ПА-2 по ГОСТ 6058–73 (алюминий — 99 %, примеси — не более 1 %). В состав металлотермической смеси вводили углеродфторсодержащую добавку (пыль газоочистки алюминиевого производства) [13].

Химический состав металла определяли атомно-эмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 по ГОСТ Р ИСО 14284–2009, состав шлака — рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре Shimadzu XRF-1800 по ГОСТ 28033–89.

Взвешивание производили на электронных весах Shimadzu модели AUX120. Термитную смесь получали путем добавления всех составляющих в специальную емкость и перемешивания. Полученную смесь засыпали в смеситель и в течение 30–40 мин осуществляли перемешивание порошков термитной смеси. После смешивания порошков до однородной массы термитную смесь ссыпали в металлические контейнеры для проведения сушки. Сушку термитной смеси производили для удаления влаги, которая может отрицательно сказаться на полученном результате.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что у титана есть пять оксидов (TiO , Ti_2O_3 , Ti_3O_5 , Ti_4O_7 , TiO_2), для которых имеются и описаны термодинамические свойства [12]. Рассмотрим наиболее вероятные из них:



В данной работе проводили исследование состава металлотермических смесей для протекания металлургических процессов горения смеси. Химический состав железной окалины приведен в табл. 1, компонентный состав термитной смеси — в табл. 2.

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНОЙ ОКАЛИНЫ

TABLE 1. THE CHEMICAL COMPOSITION OF IRON OXIDE

Массовая доля элементов, %												
FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	V ₂ O ₅	Cr ₂ O 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

TABLE 2. COMPONENT COMPOSITION OF THERMITE MIXTURE

Обозначение	Окалина железа, %	Порошок титана ПТС, %	Порошок алюминиевый ПА-2, %	Углеродфторсодержащая добавка, %
2.1	58,19	41,81	—	—
2.2	50,00	50,00	—	—
2.3	63,20	36,80	—	—
2.4	53,00	46,98	—	—
2.5	81,29	18,71	13,08	—
2.6	69,27	30,73	5,57	—
2.7	58,20	41,80	21,50	—
A1	74,70	—	25,30	—
A2	79,92	—	20,08	—
A3	63,36	—	30,64	—
A4	59,60	—	40,40	—
3.1	64,90	28,85	6,25	—
3.2	58,08	41,92	—	4,70

Химический состав металла приведен в табл. 3. Готовые составы термитной смеси засыпали в специальную огнеупорную реакционную камеру, в которой имеется огнеупорная воронка для облегчения стекания жидкого металла, и поджигали термитной спичкой. Важной процедурой термитной сварки является процесс ее под-

жога (инициализация горения). Для облечения поджога иногда применяют специальные смеси, в состав которых добавляют стружку металлического магния. Для сбора расплавленного металла использовали металлическую (разборную) изложницу, в которую металл попадал из воронки.

ТАБЛИЦА 3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МЕТАЛЛА

TABLE 3. THE CHEMICAL COMPOSITION OF METAL

№	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	W	V	Mo	Al	Nb	S	P
2.1	—	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
2.2	—	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
2.3	—	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
2.4	—	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
2.5	—	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
2.6	—	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
2.7	—	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
A1	—	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
A2	—	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
A3	—	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
A4	—	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
3.1	—	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
3.2	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

В результате горения и протекания металлотермических процессов в нижней части огнеупорной (реакционной) камеры происходит сте-

чение и скопление расплавленного металла. Химический состав шлака приведен в табл. 4.

ТАБЛИЦА 4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ШЛАКА

TABLE 4. THE CHEMICAL COMPOSITION OF SLAG

№	Массовая доля элементов, %												
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	S	P	CuO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃
2.1	7,48	0,13	0,44	6,68	1,97	0,017	0,51	0,042	0,078	0,031	0,091	81,10	0,16
2.2	18,21	0,11	0,25	3,99	2,69	0,030	0,074	0,0032	0,16	0,13	0,13	62,83	0,25
2.3	9,79	0,41	0,73	16,17	9,79	0,11	0,23	0,12	0,18	0,0013	0,17	61,82	0,29
2.4	8,27	0,078	0,59	15,57	7,21	0,038	0,27	0,11	0,18	0,052	0,040	67,15	0,16
2.5	22,24	0,82	0,12	19,12	26,22	0,22	0,10	0,13	0,14	0,005	0,025	30,22	0,48
2.6	8,90	0,70	0,13	15,54	16,94	0,18	0,084	0,057	0,13	0,013	0,16	55,89	0,58
2.7	12,31	0,072	0,24	6,27	31,52	0,14	0,077	0,022	0,13	0,034	0,024	48,06	0,17
A1	42,59	1,43	0,33	16,13	34,89	0,23	0,074	0,063	0,11	0,0014	0,16	3,07	0,35
A2	58,68	1,20	0,22	9,88	26,87	0,12	0,065	0,009	0,12	0,0014	0,032	1,91	0,32
A3	21,40	1,23	0,31	23,15	48,24	0,25	0,10	0,12	0,11	0,0014	0,026	3,04	0,21
A4	47,02	0,38	0,44	12,20	34,14	0,027	0,095	0,026	0,15	0,0014	0,028	3,34	0,28
3.1	16,96	0,58	2,10	7,27	14,03	6,07	0,42	0,022	0,12	0,050	0,041	51,75	0,31
3.2	16,46	0,15	0,092	1,45	6,34	0,48	0,14	0,002	0,14	0,033	0,027	70,21	0,21

Горение термитной смеси протекало активно и сопровождалось большими выбросами. Из химического состава шлака (см. табл. 4) следует, что металлотермическая реакция взаимодействия железной окалины с титаном происходит с образованием TiO₂ по формуле (2). Для полного взаимодействия FeO (2 моля FeO = 144 г) требуется 1 моль титана (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 (см. табл. 2), а также 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 титана. Анализ состава шлака и металла является подтверждением этого утверждения — в шлаке содержится не более 8 % FeO, более 80 % TiO₂, при этом содержание титана в металле составляет не более 0,2 %. Протекание металлотермических процессов, особенно в своей активной фазе, характеризуется значительными выбросами, при этом часть легкоосесных составляющих термитной смеси уносится горячими газовыми потоками. В термитной смеси легкоосесной составляющей,

состоящей из окалины и титана, является железная окалина, в алюмотермитной смеси — алюминиевый порошок. Следовательно, некоторое количество легкоосесной составляющей уносится горячими газовыми потоками и в металлотермических процессах не участвует. Степень полноты протекания титанотермического восстановления железа определяется количеством получаемых продуктов реакции (оксида титана TiO₂ и FeO) в шлаке и зависит от исходного количества железной окалины в титаноалюмотермитной смеси (рис. 1).



Рис. 1. Степень полноты протекания металлотермического восстановления железа в титанотермитной смеси

Fig. 1. The degree of completeness of the metallurgical reduction of iron in a titanium-thermite mixture

Степень полноты протекания аллюминотермического 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 аллюминотермитной смеси (рис. 2).

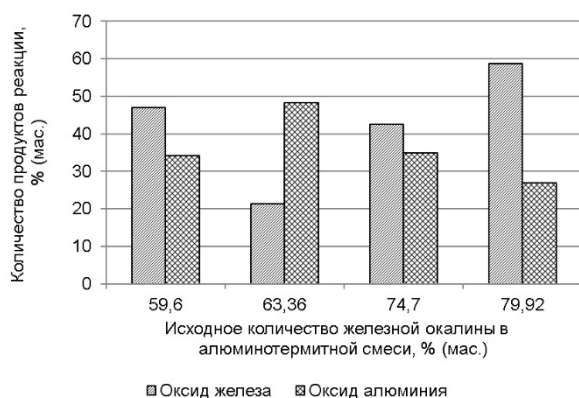


Рис. 2. Степень полноты протекания металлургического восстановления железа в аллюминотермитной смеси

Fig. 2. The degree of completeness of the metallurgical reduction of iron in the aluminothermic mixture

Добавление в состав титаноаллюминотермитной смеси небольшого количества аллюминиевого порошка обеспечивает полноту взаимодействия и восстановления окалины железа, при этом ко-

личество расплавленного металла увеличивается на 30–35 %.

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

Выводы

1. Разработан состав титаноаллюминотермитной смеси, обеспечивающий получение качественного сварного шва.

2. Добавление в состав титаноаллюминотермитной смеси небольшого количества аллюминиевого порошка обеспечивает полноту взаимодействия и восстановления окалины железа, при этом количество расплавленного металла увеличивается на 30–35 %.

3. Введение в состав термитной смеси в качестве флюса пыли газоочистки аллюминиевого производства уменьшает газовыделение при протекании термических процессов. Помимо этого, углеродфторсодержащая флюсовая добавка повышает содержание углерода в получаемом металле шва и улучшает его физико-механические свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Подергин В.А. Металлотермические системы. — М.: Металлургия, 1992. — 271 с.
2. Соколов И.П., Пономарев Н.Л. Введение в металлургию: учебное пособие для вузов. — М.: Металлургия, 1990. — 135 с.
3. Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К. Извлечение металлов из отходов производства // *Perspective innovations in science, education, production and transport*. 2014. — 99 с.
4. Овчинников В.В. Термитная сварка. Издательство КноРус. 2004. — 164 с.
5. Коненков В.И. Аллюминотермитная сварка // *Евразия. Вести*. 2003. № 9. С. 22.
6. Лякишев Н.П. Аллюминотермия. — М.: Металлургия, 1978. — 424 с.
7. Андреев К.К. Термическое разложение и горение взрывчатых веществ. — М.: Наука, 1966. — 340 с.
8. Самборук А. Р., Кузнец Е.А., Гурский И.О. Термитная сварка выводов электрохимической защиты // *Современные материалы, техника и технологии*. Научно-практический рецензируемый журнал. 2017. № 6 (14). С. 118–122.
9. Самборук А. Р., Кузнец Е.А., Гурский И.О. Исследование влияния рецептурных факторов медной термитной смеси на процесс приварки выводов электрохимической защиты // *Современные материалы, техника и технологии*. Научно-практический рецензируемый журнал. 2017. № 6 (14). С. 123–128.
10. Каракич Е.А., Самборук А.Р., Майдан Д.А. Термитная сварка // *Современные материалы, техника и технологии*. Научно-практический рецензируемый журнал. 2021. № 1 (34). С. 63–67.
11. Бендре Ю.В., Горюшкин В.Ф., Козырев Н.А., Шевченко Р.А., Ознобихина Н.В. Термодинамические аспекты восстановления оксидов алюминием и титаном при термитной сварке // *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2021. Т. 77. № 12. С. 1291–1295.
12. Термические константы веществ. Вып. V / Под ред. В.П. Глушко, В.А. Медведева и др. — М.: Наука, 1971. — 529 с.
13. Козырев Н.А., Титов Д.А., Старовацкая С.Н., Козырева О.Е., Шурупов В.М. Влияние введения в шихту для производства порошковой проволоки системы C-Si-Mn-Cr-V-Mo углеродфторсодержащей добавки и никеля // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2014. № 4. С. 34–37.

Поступила 25 мая 2022 г.

REFERENCES

1. Podergin V.A. *Metallotermicheskie sistemy* [Metallothermic systems]. Moscow: Metallurgiya, 1992, 271 p. (In Russ.).
2. Sokolov I.P., Ponomarev N.L. *Vvedenie v metallotermiyu* [Introduction to Metallothermy]. Moscow: Metallurgiya, 1990, 135 p. (In Russ.).
3. Tokach Yu.E., Rubanov Yu.K. *Izвлечение металлов из отходов производства* [Extraction of metals from industrial waste]. *Perspective innovations in science, education, production and transport*, 2014, 99 p. (In Russ.).
4. Ovchinnikov V.V. *Termitnaya svarka* [Thermite welding]. Izdatel'stvo KnoRus, 2004, 164 p. (In Russ.).
5. Konenkov V.I. Aluminothermic welding. *Evrasiya. Vesti*, 2003, no. 9, p. 22. (In Russ.).
6. Lyakishev N.P. *Alyuminotermiya* [Aluminothermy]. Moscow: Metallurgiya, 1978, 424 p. (In Russ.).
7. Andreev K.K. *Termicheskoe razlozhenie i gorenie vzryvchatykh veshchestv* [Thermal decomposition and combustion of explosives]. Moscow: Nauka, 1966, 340 p. (In Russ.).
8. Samboruk A.R., Kuznets E.A., Gurskii I.O. Thermite welding of electrochemical protection leads. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. Nauchno-prakticheskii retsenziruemyi zhurnal*, 2017, no. 6 (14), p. 118–122. (In Russ.).
9. Samboruk A.R., Kuznets E.A., Gurskii I.O. Investigation of the influence of the formulation factors of the copper termite mixture on the welding process of electrochemical protection leads. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. Nauchno-prakticheskii retsenziruemyi zhurnal*, 2017, no. 6 (14), p. 123–128. (In Russ.).
10. Karakich E.A., Samboruk A.R., Maidan D.A. Thermite welding. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii. Nauchno-prakticheskii retsenziruemyi zhurnal*, 2021, no. 1 (34), p. 63–67. (In Russ.).
11. Bendre Yu.V., Goryushkin V.F., Kozyrev N.A., Shevchenko R.A., Oznobikhina N.V. Thermodynamic aspects of oxides reducing by aluminum and titanium at the thermit welding of rails. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2021, vol. 77, no. 12, pp. 1291–1295. (In Russ.).
12. *Termicheskie konstanty veshchestv. Vyp. V* [Thermal constants of substances. Вып. V]. V.P. Glushko, V.A. Medvedeva etc. ed. Moscow: Nauka, 1971, 529 p. (In Russ.).
13. Kozyrev N.A., Titov D.A., Starovatskaya S.N., Kozyreva O.E., Shurupov V.M. Influence of introducing a carbon-fluorine-containing additive and nickel into the charge for the production of C–Si–Mn–Cr–V–Mo flux-cored wire system. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*, 2014, no. 4, pp. 34–37. (In Russ.).

Received May 25, 2022