ВЫКСУНСКИЙ ФИЛИАЛ НИТУ «МИСИС»
АО «ВЫКСУНСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ ИМ. А.А. БАЙКОВА РАН
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЮ

Международная конференция «Научно-практическая школа для молодых металлургов»

СБОРНИК СТАТЕЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Выкса 2024

ВЫКСУНСКИЙ ФИЛИАЛ НИТУ «МИСИС»
АО «ВЫКСУНСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ ИМ. А.А. БАЙКОВА РАН
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО МЕТАЛЛУРГИИ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЮ

Международная конференция «Научно-практическая школа для молодых металлургов»

СБОРНИК СТАТЕЙ КОНФЕРЕНЦИИ

Конференция посвящена
85-летию ИМЕТ РАН
18 – 22 сентября 2023 г.

Выкса 2024

УДК 669.01
ББК 34.3
Ф 97
Международная конференция «Научно-практическая школа для молодых металлургов»/ Сборник статей конференции: Выкса, 2024, 315 с.

В сборнике статей конференции опубликованы доклады Международной конференции «Научно-практическая школа для молодых металлургов», содержащие результаты фундаментальных исследований физико-химических свойств металлических и оксидных расплавов, термодинамики и кинетики реакций взаимодействия жидких металлов с газами и шлаками. В сборнике статей конференции представлены доклады молодых сотрудников академических институтов, государственных научных центров, высших учебных заведений и промышленных предприятий. Сборник предназначен для исследователей и практиков-металлургов, а также студентов старших курсов металлургических вузов.

Материалы опубликованы в авторской редакции.

Ответственный за выпуск: Шибанов К.С.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Сопредседатели:

ГРИГОРОВИЧ К.В., академик РАН, ИМЕТ РАН

СТЕПАНОВ П.П., к.т.н., директор по развитию технологий и продуктов АО «ОМК»

КУДАШОВ Д.В., к.т.н., директор ВФ НИТУ «МИСИС»

Члены оргкомитета:

ЗАЯКИН О.В., чл.-корр. РАН, ИМЕТ УрО РАН

ЭФРОН Л.И., д.т.н., АО «ВМЗ»

ПЫШМИНЦЕВ И.Ю., д.т.н., АО «РусНИТИ», ООО «ТМК НТЦ»

САФОНОВ В.М., д.т.н, ВФ НИТУ «МИСИС»

ПАВЛОВ А.В., д.т.н., НИТУ «МИСИС»

КОЖУХОВ А.А., д.т.н., СТИ НИТУ «МИСИС»

ДАГМАН А.И., к.т.н., ПАО «НЛМК»

ЕЛАНСКИЙ Д.Г., к.т.н., ВФ НИТУ «МИСИС», НИТУ «МИСиС»

КОМОЛОВА О.А., к.т.н., ИМЕТ РАН

МЯЛКИН И.В., к.х.н., ВФ НИТУ «МИСИС»

ГОРОВАЯ Т.Ю., ВФ НИТУ «МИСИС»

ШИБАНОВ К.С., ВФ НИТУ «МИСИС»

Оглавление

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛИТКОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ВЫСОКУЮ ИЗОТРОПНОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕЗ УХУДШЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ И ОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ, ПРИ ЭШП НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ С ВРАЩЕНИЕМ РАСХОДУЕМОГО ЭЛЕКТРОДА Алексеев И.А., Чуманов И.В, Сергеев Д.В..... 7

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ НА ЗАХВАТ ЧАСТИЦ ШОС В ГЛУБИНУ РАЗЛИВАЕМОГО СЛИТКА. АНАЛИЗ ОТБРАКОВКИ ТРУБ ПО ДЕФЕКТУ «НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ» В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ШИРИНЫ РАЗЛИВАЕМОГО СЛЯБА НА АО «ВМЗ» Андриянов Д.Н., Сафонов В.М. 14

СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ. ВЛИЯНИЕ СВАРОЧНОГО ФЛЮСА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ. СВАРКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ Байдимиров М.А. 22

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СФЕРИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ХРОМА Бакланова В.М., Басков Ф.А., Ромашов А.С., Логачева А.И. 30

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПРОГНОЗНЫЕ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ЧИСТЫХ СТАЛЕЙ Ботников С.А. 37

РАЗВИТИЕ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПАО «НЛМК» Дагман А.И., Лавров В.А. 47

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫХ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕГО ИЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ ИЗ СПЛАВА ЭП741НП ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОРОШКА, ПОЛУЧАЕМОГО МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ АТОМИЗАЦИИ Демченко А.А.[а], Хлыбов А.А.[б] 55

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПГУ ДСП С ВНЕДРЕНИЕМ ПАРОИСПАРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ Евтушков А.В., Коноваленко С.В., Прицев М.И. 62

РАФИНИРОВАНИЕ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ ПОД Ar-H_2 ПЛАЗМЕННОЙ ДУГОЙ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ Еланский Д.Г. 65

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ МАРКИ 08Х18Н10Т Ем А.Ю., Комолова О.А., Григорович К.В. 68

АНАЛИЗ ОБРАЗОВАНИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДИНАМНОЙ СТАЛИ Жемков А.А.[а], Ем А.Ю.[а], Морозов А.О.[а], Румянцева С.Б.[а], Демин К.Ю.[а], Комолова О.А.[а], Григорович К.В.[а], Тимохин А.С.[б], Зырянов А.О.[б], Дагман А.И.[б] ... 76

ПОЛУЧЕНИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НОВЫХ НИОБИЙСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ Заякин О.В., Жучков В.И., Кель И.Н., Михайлова Л.Ю., Сычев А.В., Ренев Д.С. 83

УСТАНОВОК» И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ Лубяной Д.Д. [а], Фурса А.Н. [а], Чекменев Ю.А. [а], Чекменев А.Ю. [а], Проворов И.Б. [а], Маркидонов А.В. [б], Лубяной Д.А. [в] 180

СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО КИСЛОРОДА В ЖИДКОЙ СТАЛИ, КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ТРУБНЫХ МАРКАХ СТАЛИ Лукин А.С., Феоктистова А.С., Ворожева Е.Л., Сметанин К.С., Шифрин И.Н., Мурысев В.А., Сомов С.А., Тимаков Р.М... 187

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Матвеева М.А..... 194

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В НАПЛАВЛЕННОМ СЛОЕ, ИЗГОТОВЛЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА Михно А.Р. [а], Крюков Р.Е. [а], Козырев Н.А. [б], Сычев А.А. [а] 197

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СТАЛИ Морозов А.О. [а], Комолова О.А. [а], Ем А.Ю. [а], Жемков А.А. [а] , К.В. Григорович [а], Е.В. Якубенко [б], Т.И. Черкашина [б], А.И. Дагман [б]..... 205

СПОСОБЫ РАФИНИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ ПОД ДАЛЬНЕЙШЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ВИ ПЕЧАХ Осипов А.Н., Королев М.Р., Муруев С.В., Ильинский А.И. 216

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОКАТА Панковец И.А..... 222

ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА РЕЛЬСОВЫХ МАРОК СТАЛИ В ОАО «БМЗ - УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК» Писаренко И.О., Пивцаев И.В., Путеев В.С, Шатило В.А.... 230

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАФИНИРОВАНИЯ СТАЛИ ОТ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ Погодин А.М., Комолова О.А., Григорович К.В. 235

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА И ПОГОДЫ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПЛАНА ПЛАВОК НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ Подкур С.В., Котельников Г.И. 241

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕЛЕКТИВНОГО УДАЛЕНИЯ ЦИНКА И СВИНЦА ИЗ ПЫЛИ ДСП В ИНЕРТНОЙ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ АТМОСФЕРАХ Подусовская Н.В.[а,б], Комолова О.А. [а], Григорович К.В.[а], Павлов А.В.[б], Аксенова В.В.[б], Ем А.Ю.[а], Морозов А.О. [а]..... 251

ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ МАТЕРИАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТА И ЗАКАЧКИ CO_2 Ровбо А.С.[а], Голубев И.А.[а], Шапошников Н.О.[а], Пенигин А.В.[б]259

ПЕРЕРАБОТКА БЕЛЫХ ШЛАКОВ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БРИКЕТОВ НА ОСНОВЕ БЕЛЫХ ШЛАКОВ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ Рябова Ю.Л., Астахов Н.Н.262

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ СКОПЛЕНИЯ ШЛАМА УСТАНОВКИ ГОРЯЧЕ-

электродов разных химических составов, так и для создания композиций с применением порошковых присадок.

Список литературы

1. Кузеев, И.Р. Изменение механических свойств двухслойной стали 16ГС+08Х13 в процессе длительной эксплуатации / И.Р. Кузеев, Г.Е. Закирничный, Л.Ф. Закирова // МиТОМ. – 2009. – № 9. – С. 39–42.

2. Неверов В.В. Использование технологии наплавки износостойких сплавов короткими участками при упрочнении деталей металлургического оборудования. / В.В. Неверов, В.В. Карих // Сварочное производство. – 2005. – № 12. – С. 25–27.

3. Чуманов В.И. Способ электрошлакового переплава /В.И. Чуманов, И.В. Чуманов, М.А. Порсев //Патент № 2241050 РФ, МПК С22В 9/18 (2006.01), 2003136720/02: заявл. 17.12.2003: опубл. 27.11.2004; заявитель ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ).

4. Чуманов В.И. Способ получения многослойных слитков электрошлаковым переплавом / В.И. Чуманов, Е.В. Рощин, И.В. Чуманов, Ю.Г. Кадочников //Патент № 2163269 РФ, МПК С22В 9/18 (2006.01): заявл. 08.06.1999: опубл. 20.02.2001.

5. Цыкуленко, А.К. Электрошлаковые технологии выплавки слитков. Жидкий металл или расходуемый электрод / А.К. Цыкуленко // Рецензии и научные дискуссии. – 2013. – № 2. – С. 55–58.

6. Чуманов И.В. Влияние вращения расходуемого электрода при электрошлаковом переплаве на анизотропию свойств получаемого слитка / И.В. Чуманов, М.А. Матвеева, Д.В Сергеев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – Т. 62. – №2. – 2019. – С. 91–96.

7. Чуманов, И.В. О возможности получения многослойных слитков электрошлаковым переплавом / И.В. Чуманов, М.А. Порсев // Электрометаллургия. – 2010. – № 4. – С. 13–17.

8. Селиверстов Д.А, Пятыдин Д.А., Чуманов И.В. К вопросу экономической целесообразности перевода печей ВДП в печи ЭШП на постоянном токе // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2007 №1. С. 24-26.

9. Чуманов В.И. Способ получения многослойных слитков электрошлаковым переплавом / В.И. Чуманов, Д.А. И.В, Чуманов, Д.В. Сергеев, М.А. Матвеева //Патент № 2761192 РФ, МПК B22D 23/10 (2006.01), B22D 7/02: 2021106058: заявл. 10.03.2021: опубл. 06.12.2021; заявитель ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ).

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В НАПЛАВЛЕННОМ СЛОЕ, ИЗГОТОВЛЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЛЮСА НА ОСНОВЕ ШЛАКА СИЛИКОМАРГАНЦА

Михно А.Р. [а], Крюков Р.Е. [а], Козырев Н.А. [б], Сычев А.А. [а]

а - ФГБОУ ВО «СибГИУ», г. Новокузнецк

б - ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва

Аннотация. В работе представлены результаты проведения автоматической наплавкой под слоем флюса стальной проволокой марки Св-08ГА на подложку из стали 09Г2С. В качестве сварочного флюса использован флюс на основе техногенного сырья от производства ферросиликомарганца (шлак силикомарганца). Проведено всестороннее изучение химического состава наплавленного слоя, его твердости и износостойкости, а также проведено исследование состава неметаллических включений наплавленного слоя. Проведен сравнительный анализ наплавленного образца под флюсом марки АН-348А.

Ключевые слова: наплавка, сварочный флюс, техногенные отходы, шлак силикомарганца, сканирующая электронная микроскопия, химический состав, неметаллические включения.

В настоящее время разработки новых сварочных флюсов и флюс-добавок активно занимаются Российские ученые. Так, например, ученые из Пермского края занимаются исследования применимости минерального сырья и техногенных образований Пермского

края для создания сварочных материалов. Ими предложен способ получения плавленого сварочного флюса из минерального сырья Уральского региона при помощи высококонцентрированных источников тепла (плазменная дуга). Приведены экспериментальные и теоретические исследования процессов взаимодействия плазменной дуги с минеральным сырьем. Изучены процессы получения требуемого строения зерна, фракционного и химического состава гранул под действием плазменной дуги [1-5].

Ученые из Дальневосточного федерального округа ведут разработку и исследование плавленно-керамического сварочного флюса из минерального сырья Дальневосточного региона для наплавки и восстановления изношенных деталей из низколегированных и углеродистых сталей. Выполнен анализ возможных физико-химических процессов в шлаковой системе на основе термодинамического расчета. Проведены экспериментальные исследования разработанного материала, изучены математические зависимости, позволяющие выбирать состав компонентов шихты, обеспечивающий высокое качество наплавляемых покрытий. Выполнены опытные работы по наплавке в целях определения сварочно-технологических свойств и качества наплавленного металла [6-8].

Разработкой сварочных флюс-добавок для повышения физико-механических свойств, снижению загрязненности сварного соединения неметаллическими включениями, снижения газонасыщенности сварного шва занимаются ученые из Сибирского федерального округа. Изобретение может быть использовано при электродуговой сварке под флюсом в качестве добавки к плавленым флюсам. Использование разработанного материала позволяет производить сварку нефтяных резервуаров северного исполнения и при этом обеспечивать получение требуемых механических свойств металлоконструкций [9-11].

Немаловажным является и проведение исследований о влиянии сварочных (наплавочных) материалов на структуру и свойства полученных металлоизделий [12-15]. Методами современного физического материаловедения исследованы структурно-фазовое состояние, дефектная субструктура и поверхность разрушения сварных швов из низкоуглеродистой легированной стали, полученных с применением углеродсодержащей добавки и без нее [16,17]. Исследованы и проведены испытания перспективных сварочных материалов и технологий на холоде с целью повышения надежности сварных конструкций ответственного назначения [18,19]. Выявлено, что при сварке под смесью флюсов окислительного АН-348А и слабоокислительного АН-67Б уменьшается содержание кислорода в сварных швах и соответственно снижается загрязненность сварных швов неметаллическими включениями, при этом увеличиваются механические свойства и повышается коррозионная стойкость сварных соединений [20].

Таким образом имеет большую перспективу и разработанный флюс на основе техногенного сырья из отходов производства ферросиликомарганца. Шлак силикомарганца является техногенным отходом металлургического производства при производстве Ферросиликомарганца марок МнС17, МнС22. При этом в настоящее время шлак силикомарганца используется как шлако-щебеночная продукция различных фракций для производства цементов, дорожного строительства, бетонов, минеральной ваты и т.д. Немаловажен и тот факт, что шлак от производства ферросиликомарганца, имеет в своем составе такие компоненты, которые в настоящее время, используются при производстве сварочных флюсов. При этом следует отметить, что все применяемые в настоящее время сварочные материалы базируются на использовании первородного сырья, а не отходов металлургического производства, что влияет на себестоимость изготавливаемой продукции, и в свою очередь вызывает научный интерес в применении этих отходов в качестве сварочных материалов.

В лабораторных условиях НПЦ «Сварочные процессы и технологии» проведена наплавка образцов под разработанным флюсом. Наплавка производилась на стальную подложку из низкоуглеродистой стали с использованием сварочного трактора AOTAI ASAW-1250. В качестве присадочного материала использовалась проволока сплошного

сечения Св-08ГА. Дополнительно была проведена наплавка сравнительного образа наплавленного под флюсом марки АН-348А.

Для проведения наплавки использовались флюсы, изготовленные из техногенного сырья от производства ферросиликомарганца с содержание MnO 12-16% Химический состав которых представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав флюса на основе шлака производства силикомарганца

Массовая доля элементов, %													
Флюс, содержание MnO	FeO	MnO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO	S	P	ZnO	C	F	TiO_2	Cr_2O_3
12-16%	0,55	16,41	28,34	41,45	6,64	1,50	0,22	0,021	0,013	0,028	0,18	0,15	0,047

После проведения наплавки проводилась вырезка исследуемых образцов наплавленного металла для проведения следующих испытаний: определение химического состава, твердости, износостойкости (методом «диск-колодка), исследование состава неметаллических включений (СЭМ исследования).

Химический состав исследуемых образцов приведен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав используемых флюсов

Флюс	Массовая доля элементов, %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	Mo	Al	S	P
На основе шлака SiMn	0,07	0,58	1,20	0,03	0,80	0,16	0,002	0,30	0,007	0,023	0,010
АН-348А	0,08	0,50	1,20	0,03	0,85	0,16	0,012	0,32	0,015	0,006	0,020

Результаты химического анализа наплавленных образцов близки по составу, единственным выявленным отличием, является повышенное содержание серы в наплавленных слоя изготовленных под разрабатываемым флюсом.

Результаты исследования твердости и износостойкости представлены в таблице 3.

Таблица 3. Твердость и износостойкость наплавленного слоя

Флюс	Среднее значение твердости, HB	Δm, г/оборот
На основе шлака SiMn	212	0,00012548
АН-348А	210	0,00018052

С использованием сканирующего электронного микроскопа (Лаборатория электронной микроскопии и обработки изображений «СибГИУ») были проведены исследования состава неметаллических включений наплавленных образцов.

Перед проведением оценки состава неметаллических включений наплавленных слоев были проведены исследования основного металла (подложки) из стали 09Г2С (рисунок 1, 2, таблица 4). Результаты которых указывают на не большую загрязненность стали неметаллическими включениями.

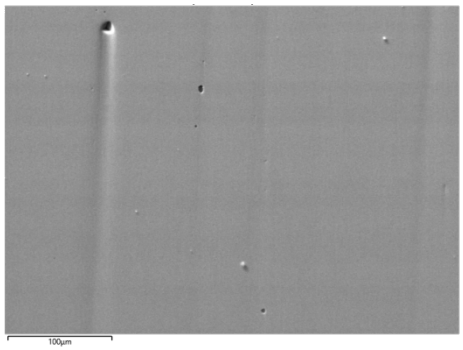

Рисунок 1. Поверхность подложки стали 09Г2С (СЭМ-изображение)

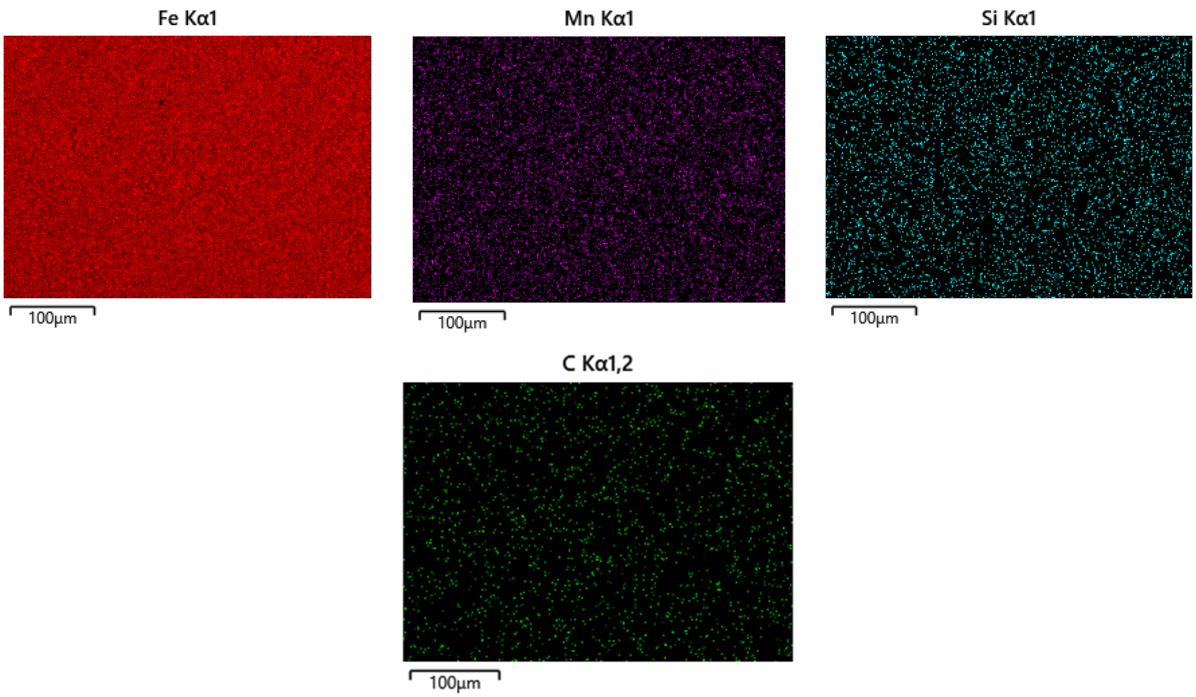

Рисунок 2. Фазовый анализ химического состава подложки стали 09Г2С (СЭМ-изображение)

Таблица 4. Суммарный спектр карты подложки стали 09Г2С

Суммарный спектр карты				
Элемент	Тип линии	Вес %	Сигма вес %	Атом. %
C	K-серия	4.08	0.29	16.46
Si	K-серия	0.28	0.03	0.48
Mn	K-серия	0.49	0.03	0.43
Fe	K-серия	95.15	0.29	82.63
Всего		100.00		100.00

При проведении анализа состава неметаллических включений (таблица 5), выявлено что в составе неметаллического включения в большей степени присутствуют следующие элементы: O, Al, Fe.

Таблица 5. Суммарный спектр карты. Химический состав неметаллического включения в подложке из стали 09Г2С

Элемент	Вес, %	Сигма вес, %	Атом. вес, %
C	4,50	0,52	9,91
O	23,79	0,26	39,38
Mg	4,87	0,08	5,31
Al	23,46	0,34	23,03
Si	0,36	0,03	0,34
S	2,53	0,04	2,09
Ca	4,14	0,05	2,73
Mn	1,71	0,04	0,82
Fe	34,41	0,27	16,32
Всего	100.00		100.00

После проведения оценки загрязненности подложки из стали 09Г2С неметаллическими включениями были проведены исследования загрязненности

наплавленных слоев, выполненных под исследуемыми флюсами. В качестве флюса сравнения был использован флюс марки АН-348А.

Результаты исследования (рисунок 3) указывают на достаточно высокую загрязненность стали неметаллическими включениями.

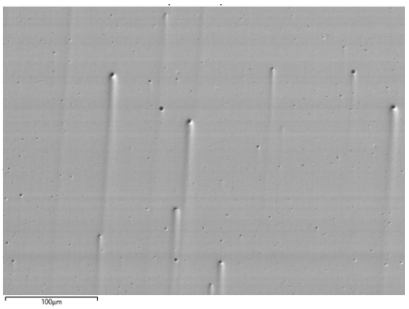

Рисунок 3. Поверхность наплавленного слоя выполненного с использованием флюса марки АН-348А

При проведении анализа химического состава неметаллических включений (таблица 6) наплавленного слоя под флюсом АН-348А выявлены в наибольшем объеме следующие компоненты: O, Mn, Si, Al, Fe.

Таблица 6. Суммарный спектр карты. Химический состав неметаллического включения в подложке из стали 09Г2С

Суммарный спектр карты				
Элемент	Тип линии	Вес %	Сигма вес %	Атом. %
O	K-серия	20.89	0.80	42.56
Al	K-серия	9.25	0.38	11.17
Si	K-серия	8.93	0.34	10.37
Ca	K-серия	0.42	0.09	0.34
Ti	K-серия	1.40	0.13	0.95
Mn	K-серия	10.05	0.30	5.96
Fe	K-серия	49.07	0.65	28.65
Всего		100.00		100.00

Исследования состава неметаллических включений образца изготовленного с использованием флюса из шлака от производства силикомарганца с содержанием MnO от 12 до 16 % (рисунок 4) показали, что, на поверхности наплавленного слоя присутствуют крупные неметаллические включения размером от 6 до 23,5 мкм (рисунок 5). При построении карт, спектров профилей ЭДС поверхности наплавленного слоя (рисунок 6), выявлено что данное неметаллическое включение состоит в основном из кремния и марганца, кальция и кислорода. Результаты полного анализа химического состава исследуемого включений представлены в таблице 7.

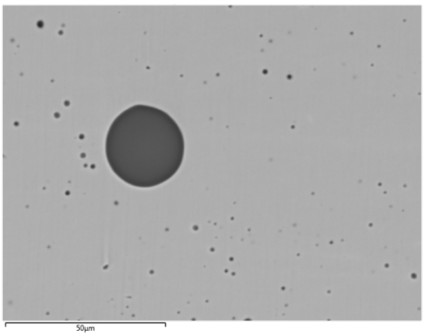

Рисунок 4. Поверхность наплавленного слоя выполненного с использованием флюса из шлака от производства силикомарганца с содержанием MnO от 12 до 16 %

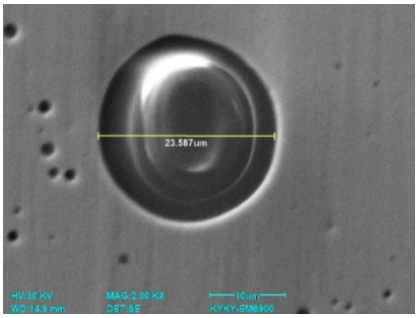

Рисунок 5. Размер неметаллического включения в наплавленном слое

Таблица 7. Химический состав неметаллического включения в наплавленном слое, изготовленный с использованием флюса из шлака от производства силикомарганца с содержанием MnO от 12 до 16 %

Элемент	Вес, %	Сигма вес, %	Атом. вес, %
C	3,47	0,23	7,25
O	34,45	0,13	54,02
Mg	0,17	0,02	0,17
Al	1,54	0,02	1,43
Si	19,51	0,07	17,42
S	0,83	0,02	0,65
Ca	4,85	0,02	3,04
Mn	29,34	0,09	13,40
Fe	5,84	0,04	2,62
Всего	100.00		100.00

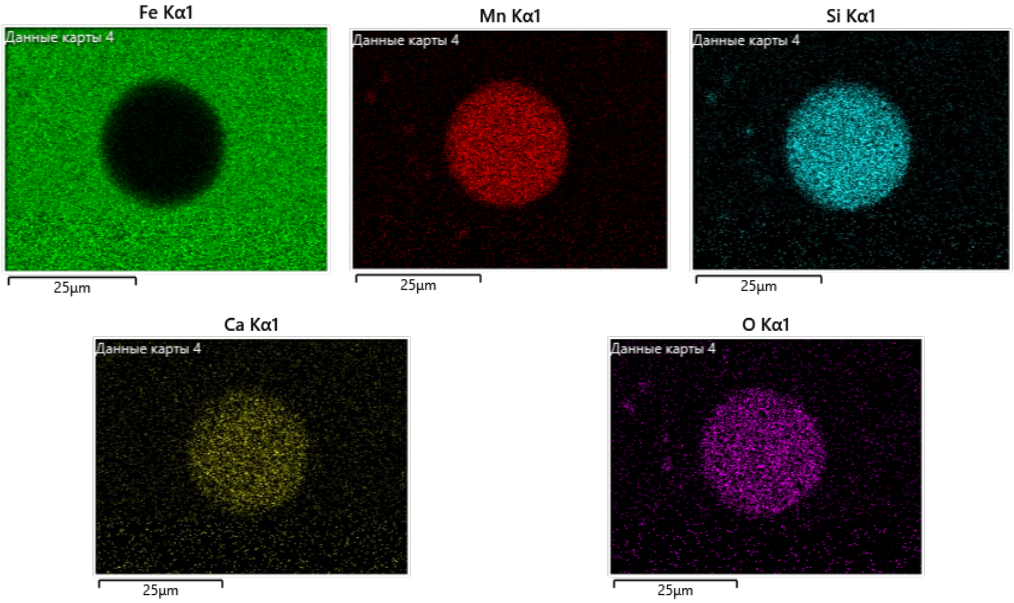

Рисунок 6. Накопление карт, спектров профилей ЭДС поверхности наплавленного слоя выполненного с использованием флюса из шлака от производства силикомарганца с содержанием MnO от 12 до 18 %

Выводы

Анализ полученных результатов указывает на то, что при использовании флюсов на основе шлака силикомарганца увеличивается загрязненность наплавленного слоя неметаллическими включениями. При этом стоит отметить что при повышении содержания

кремния и марганца в наплавленном металле заметно увеличиваются концентрации оксидов этих элементов в составе оксидных включений. Анализ состава неметаллических включении указывает на то, что они в основном состоят из оксидных соединений кремния, марганца, и в некоторых случаях кальция, что в свою очередь способствует увеличению твердости и износостойкости наплавленных слоев по сравнению с флюсом сравнения (АН-348А). Стоит так же отметить, что размер выявленных неметаллические включений достигает порядка 6 – 25 мкм.

Список литературы

1. Исследование микроструктуры и содержания неметаллических включений в металле валиков из углеродистой стали наплавленных под электрогранулированным флюсом / С. В. Наумов, А. О. Артемов, М. Ф. Карташев, А. Н. Юрченко // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: Тезисы докладов 79-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 19–23 апреля 2021 года. Том 1. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – С. 172.

2. Патент № 2716344 C1 Российская Федерация, МПК B23K 35/40, B23K 35/362. способ получения гранулированного сварочного флюса: № 2019107319: заявл. 14.03.2019: опубл. 11.03.2020 / С. В. Наумов, А. О. Артемов, Ю. Д. Щицын [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пермский национальный исследовательский политехнический университет".

3. Особенности формообразования гранул плавленого сварочного флюса для наплавки углеродистых сталей при плазменном гранулировании / С. В. Наумов, А. О. Артемов, М. Н. Игнатов, К. И. Белоусов // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2018): Сборник научных трудов VII Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 26–30 ноября 2018 года / Под редакцией А.Н. Яковлева. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2018. – С. 40-41.

4. Карташев, М. Ф. Газы и сера в расплавах сварочных флюсов из петрургического сырья Урала / М. Ф. Карташев, С. В. Наумов // Сварка. Реновация. Триботехника : тезисы докладов VIII Уральской научно-практической конференции, Нижний Тагил, 02–03 февраля 2017 года / ответственные редакторы В. А. Коротков, В. Ф. Пегашкин; Министерство образования и науки РФ ; ФГАОУ ВО «УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», Нижнетагильский технологический институт (филиал). – Нижний Тагил: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2017. – С. 49-54.

5. Игнатова, А. М. Разработка шлаковой основы для сварочных материалов из минерального и техногенного сырья Урала / А. М. Игнатова, М. Н. Игнатов, С. В. Наумов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2015. – № 10(1390). – С. 67-79.

6. Патент № 2757824 C1 Российская Федерация, МПК B23K 35/362. Плавлено-керамический флюс для наплавки : № 2020133582 : заявл. 12.10.2020 : опубл. 21.10.2021 / В. М. Макиенко, А. В. Атеняев, Д. Г. Перваков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный университет путей сообщения".

7. Разработка шлаковой основы легирующих флюсов с использованием минерального сырья Дальневосточного региона / Х. С. Ри, В. М. Макиенко, Т. В. Белоус [и др.] // Сварка и диагностика. – 2021. – № 3. – С. 39-44. – DOI 10.52177/2071-5234_2021_03_39.

8. Макиенко, В. М. Разработка шлаковой основы флюсов ильменито-флюоритного типа с использованием минерального сырья Дальневосточного региона / В. М. Макиенко, А. В. Атеняев, В. Б. Соколов // Вестник института тяги и подвижного состава. – 2021. – № 17. – С. 3-10.

9. Влияние углерод- и фторсодержащих добавок в составе флюсов на содержание неметаллических включений и свойства сварных швов / Н. А. Козырев, В. Ф. Игушев, Р. Е. Крюков [и др.] // Сварочное производство. – 2012. – № 12. – С. 3-6.

10. Исследование влияния введения углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67 на свойства металла сварных швов стали 09Г2С / Н. А. Козырев, В. Ф. Игушев, Р. Е. Крюков, А. В. Роор // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2013. – № 8. – С. 33-36.

11. Углеродсодержащие флюс-добавки для сварочных флюсов / Н. А. Козырев, Р. Е. Крюков, Н. Е. Крюков [и др.] // Сварочное производство. – 2016. – № 5. – С. 9-14.

12. Бобриков, Ю. В. Особенности выбора способа производства сварочного флюса / Ю. В. Бобриков, Г. В. Даровской // Современное развитие науки и техники : Сборник научных трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 01–03 декабря 2020 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 52-56.

13. Концептуальные основы создания современных технологий наплавки покрытий / Ю. Н. Сараев, В. П. Безбородов, М. В. Перовская [и др.] // Транспортное машиностроение. – 2022. – № 6(6). – С. 48-61. – DOI 10.30987/2782-5957-2022-6-48-61.

14. Модифицирование металла шва наноразмерными частицами карбида вольфрама и нитрида титана при двухдуговой сварке под флюсом / Н. П. Алешин, М. В. Григорьева, Н. В. Коберник [и др.] // Химия высоких энергий. – 2018. – Т. 52, № 5. – С. 426-431. – DOI 10.1134/S0023119318050029.

15. Малоактивируемые сварочные материалы для сварки корпусов экологически безопасных атомных реакторов из радиационно стойкой малоактивируемой стали марки 15Х2В2ФА-а / В. В. Рыбин, Г. П. Карзов, С. Н. Галяткин [и др.] // . – 2007. – № 3(51). – С. 71-80.

16. Структурно-фазовое состояние и поверхность разрушения сварных швов из низкоуглеродистой стали / Р. Е. Крюков, В. Е. Громов, Ю. Ф. Иванов [и др.] // Известия вузов. Физика. – 2022. – Т. 65, № 2(771). – С. 126-130. – DOI 10.17223/00213411/65/2/126.

17. Структурно-фазовое состояние и дефектная субструктура сварных швов из низкоуглеродистой стали / Р. Е. Крюков, Н. А. Козырев, В. Е. Громов [и др.] // Вопросы материаловедения. – 2021. – № 4(108). – С. 74-81. – DOI 10.22349/1994-6716-2021-108-4-74-81.

18. Научно-технические мероприятия, направленные на исследования и испытания перспективных сварочных материалов и технологий сварки на холоде / Ю. Н. Сараев, Н. И. Голиков, О. И. Слепцов [и др.] // Сварка в России-2020: Современное состояние и перспективы : Сборник трудов II Международной конференции в рамках IX Евразийского симпозиума по проблемам прочности и ресурса в условиях низких климатических температур "EURASTRENCOLD-2020", посвященной 50-летию образования ИФТПС СО РАН, Якутск, 14–17 сентября 2020 года / ФГБУН ФИЦ "Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук" Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН. Том 2. – Якутск: Дани-Алмас, 2020.

19. Голиков, Н. И. Климатические испытания сварочных материалов при отрицательных температурах / Н. И. Голиков, М. М. Сидоров, Ю. Н. Сараев // Сварочное производство. – 2019. – № 7. – С. 31-37.

20. Технологические аспекты использования различных флюсов при сварке судостроительных сталей / В. Ф. Игушев, В. И. Веревкин, И. В. Безсмолова, Е. М. Зеброва // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : Материалы международной научно-технической конференции: в 2-х частях, Петропавловск-Камчатский, 17–19 октября 2018 года / Ответственный за выпуск О.А. Белов. Том Часть 1. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2019. – С. 43-47.