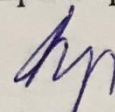


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи



Михайлов Кирилл Александрович

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Направление подготовки
15.04.01 «Машиностроение»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Коротченко
Лариса Никитовна

Проверено

27.06.2022 Зачтено Библиотека

2022

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольском-на-Амуре
государственном университете».

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технология сварочного и
металлургического производства»
ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-
Амуре государственного
университета»,
Клешнина Оксана Николаевна

Консультант

Аспирант, старший преподаватель
кафедры «Технология сварочного и
металлургического производства»
ФГБОУ ВО «Комсомольского-на-
Амуре государственного
университета»,
Старцев Егор Андреевич

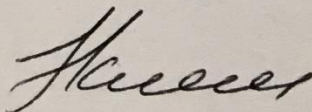
Рецензент

кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник
ИМиМ ДВО РАН,
г. Комсомольск-на-Амуре,
Жилин Сергей Геннадьевич

Защита состоится «23» июня 2022 г. в 09:00 часов на заседании
государственной аттестационной комиссии по направлению подготовки 15.04.01
«Машиностроение» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете
по адресу: Россия, 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, проспект
Ленина, 27, учебный корпус 2, аудитория 221.

Автореферат разослан 20 июня 2022 г.

Секретарь ГЭК
к.т.н., доцент



О.Н. Клешнина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

В настоящее время в сварочном производстве при формировании наплавки и покрытий восстанавливаемых деталей все больше появляется необходимость в использовании сварочных материалов, отвечающих требуемым свойствам. При создании подобных сварочных материалов, таких как флюсы, электроды и порошковые проволоки в основном всегда используют чистые оксиды и фториды с введением дополнительных легирующих элементов в состав этих материалов. Однако за счет повышения цен и сокращения минерально-сырьевой базы это с каждым годом становится все затратнее. Решению данной проблемы посвящены работы таких отечественных ученых как Верхотурова А.Д, Бабенко Э.Г, Макиенко В.М, Козырева Н.А., и др, и заключается оно в применении, в качестве основы для создания сварочных материалов, техногенных и минералогических отходов. На сегодняшний день необходимость утилизации и переработки минералогических и техногенных отходов металлургических предприятий является актуальной задачей, так как такие отходы имеют пагубное воздействие на окружающую среду и ухудшают экологическую обстановку.

Одним из распространенных и очень быстро развивающихся направлений при использовании сварочных материалов, в основе которых используются переработанные техногенные и минералогические отходы, является электродуговая наплавка порошковыми проволоками под флюсом. Такой процесс может обеспечить оптимальное соотношение свойств поверхности и объема материала детали.

В связи с этим проведение экспериментальных исследований при нанесении и формировании защитных свойств поверхностных слоев металлических деталей и изделий, с использованием порошковых проволок, созданных с использованием переработанных техногенных и минералогических отходов, актуально, и имеет большое научно-практическое значение.

Цель работы:

Целью данной работы является создание и разработка сварочной порошковой проволоки с применением техногенных отходов металлургических производств (шлаков) а так же исследование применения полученных порошковых проволок при электродуговой наплавке под слоем флюса.

Задачи исследования: В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Определить оптимальные составы наполнителей порошковых проволок, в основе которых используются техногенные отходы металлургических производств, и разработать их.
2. Исследовать физико-химические и структурные свойства наплавленных покрытий, сформированных порошковыми проволоками различного химического состава.
3. Определить эффективность применения порошковых проволок, в основе которых используются техногенные отходы металлургических производств.

Достоверность экспериментальных результатов и обоснованность выводов обеспечиваются корректностью постановки задач исследования, комплексным подходом к их решению с использованием современных методов и методик, анализом литературных данных и критическим сопоставлением установленных в работе

закономерностей фактам, полученным другими исследователями.

Научная новизна работы.

С использованием современных методов исследований получены новые знания о строении, структуре, химическом составе и физико-механических свойствах покрытий, наплавленных порошковыми проволоками электродуговым методом под слоем флюса.

Личный вклад автора состоит в постановке задачи исследования, в проведении экспериментальных исследований с последующим анализом и обработкой полученных данных.

Практическая ценность.

Углублены знания о физических процессах формирования структуры и свойств электродуговых покрытий, наплавленных с использованием порошковых проволок, разработанных с использованием переработанных техногенных отходов металлургических предприятий.

Апробация работы: Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на ежегодных научно – технических конференциях аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «КнАГУ» (2021-2022) гг.;

Публикации:

Основное содержание диссертационной работы отражено в 2 публикациях входящих в РИНЦ в сборниках КнАГУ, а также в 1 публикации входящей в список ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Материалы работы изложены на 108 страницах машинописного текста, содержат 38 таблиц и иллюстрированы 57 рисунками. Список литературы содержит 77 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, показана степень ее разработанности, определены цель и задачи исследований, сформулирована научная новизна работы, показана практическая значимость, представлена структура работы.

В первой главе, являющейся обзорной, проведён анализ литературных данных, исходя из которых описаны перспективы создания сварочных материалов из вторичного сырья, проведен обзор характеристики и создания, порошковых проволок для формирования покрытий и наплавов, были проанализированы тенденции развития, и прогнозирование рынка продукции порошковых проволок. В результате проведенного анализа сформулированы и определены основные задачи исследования.

Во второй главе представлено описание процесса разработки наполнителя порошковой проволоки из техногенных отходов металлургического предприятия, а так же сам процесс создания порошковой проволоки.

Основой в сварочных порошковых проволоках является наполнитель. Для создания основы наполнителя, в качестве шихты, был использован металлургический шлак металлургического предприятия «Амурметалл» по выплавке стали, средний химический состав шлака представлен в таблице 1.

В процентах

CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe/FeO	MnO
15,4-21,03	2,33-3,81	8,7-14,94	4,87	48,24-66,05	5,56-5,98

Основным процессом при переработке металлургического шлака является переплав используемой шихты. Данный процесс позволит снизить общее содержание железа будущего наполнителя и сбалансировать химический состав. Переплав шихты осуществлялся в индукционной плавильной установке ИТП 4-10. После переплава, полученная смесь была слита в изложницу и оставлена остывать на открытом воздухе в течение 12 часов. После остывания смесь была раздроблена и смешана с жидким стеклом в соотношении 80% шлак и 20% жидкое стекло.

Полученный состав прокален в электропечи СНОЛ 40/12 при температуре 450°C в течении 3 часов.

Полученный наполнитель так же был экспериментально опробован в качестве защиты сварного соединения в автоматической дуговой сварке. Химический состав полученного наполнителя представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав полученного наполнителя

В процентах

C	S	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe/FeO
0,308	0,048	41,7	15,7	4,11	9,29	23,87

Изготовление порошковой проволоки производилось на лабораторном станке, на базе лаборатории Дальневосточного государственного университета путей и сообщений.

Всего было изготовлено 6 видов порошковых проволок, в которых, в качестве наполнителей, использовали металлургический шлак и вторичный металлургический шлак (флюс) с добавлением графита в пропорциях 0%, 1.8% и 10% от массы основного материала. Добавление графита обусловлено тем, что он способствует формированию карбидных фаз, значительно повышающих твёрдость, прочность и износостойкость металла, а так же, исходя из термодинамических расчетов, он должен способствовать восстановлению оксидов железа из наполнителя.

В третьей главе описаны применяемое оборудование, методы и методики экспериментальных исследований.

Наплавку осуществляли сварочным трактором АДФ-1201 с использованием изготовленной порошковой проволоки на пластины из Ст3 в пять слоев для исключения перемешивания наплавляемого металла со сталью подложки. Режимы сварки: сила тока – 350-400 А, напряжение – 16-18 В, скорость сварки – 19-20 м/ч.

Химический состав наплавленных покрытий определяли оптико-эмиссионным методом на спектроанализаторе Q4 TASMAN 170 Bruker.

Исследование структуры производилось на инвертированном металлургическом микроскопе Nikon ECLIPSE MA200. Пробоподготовка образцов для исследования структуры осуществлялась на шлифовально-полировальном станке EcoMet 250 Pro. После полировки образцы подвергались травлению в 5%-ом спиртовом растворе HNO₃ до проявления структуры сварного соединения.

Исследование структуры и элементного химического состава материалов с использованием сканирующей электронной микроскопии велось на сканирующем

электронном микроскопе SEMS-3400N.

Исследование микротвердости в поперечном сечении сварного соединения велись на микротвердомере SHIMADZU HMV-2. Маркировалась поверхность валика с выделением трех зон, а именно начала, середины и корня наплавочного валика. Далее от поверхности маркеров делался отступ с интервалом 0.05-0.1 мм, Расстояние между маркерами варьировалось от 1 до 2 мм. Твёрдость измерялась путем проставления точек с интервалом 0.3-0.4 мм в два ряда, каждый из которых проходил по центру валиков с нагрузкой 1.961 Н.

Твердость наплавленных покрытий определяли на стационарном твердомере по методу Роквелла (HRB).

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований по наплавке разработанной порошковой проволокой с использованием переработанных техногенных отходов металлургического предприятия.

В процессе использования полученных сварочных материалов были получены 7 образцов с наплавленным покрытием. Внешний вид полученных образцов представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Наплавочные образцы полученные в ходе экспериментов


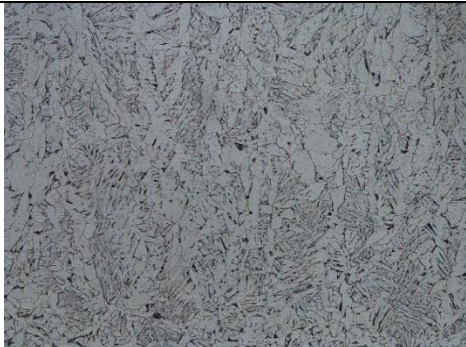




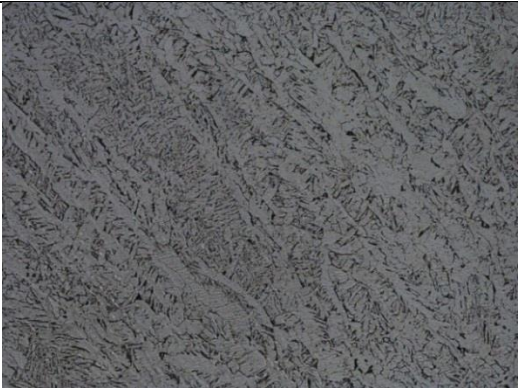

№	Сварочный материал	Образец
1	Проволока с флюсом	
2	Проволока с исходным шлаком	
3	Проволока с флюсом и добавлением 1,8% С	
4	Проволока с шлаком и добавлением 1,8% С	
5	Проволока с флюсом и добавлением 10% С	
6	Проволока с шлаком и добавлением 10% С	

Визуальный анализ поверхности наплавленных покрытий свидетельствует об их удовлетворительном качестве. Для образцов №2, №3 и №4, характерно большее количество пор, выходящих на поверхность, однако размер пор не является критичным и не относится к браковочным параметрам для наплавки.







Образец №3 является неудовлетворительным.

Микроструктура полученных образцов представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Микроструктура образцов

Образец №0	
1	
	
Образец №1	
	
Образец №2	
	
Образец №3	
	

Продолжение таблицы 4

1	
Образец №4	
	
Образец №5	
	
Образец №6	
	

При изучении микроструктуры полученных образцов (таблица 4) установлено, что верхний участок наплавленного металла имеет столбчатое строение, т.к. процесс кристаллизации произошел в направлении, обратном отводу тепла, вглубь жидкой ванны, и металл приобрел столбчатую структуру. Кристаллит состоит из отдельных дендритов, имеющих общую направленность. Группа дендритов, имеет четкую границу. В корне шва, ближе к переходной зоне, составляющие столбчатый кристаллит дендриты разветвлены минимально.

Так как наплавка выполнена в несколько проходов, то наложение каждого последующего шва оказало тепловое влияние на каждый нижний шов. В результате структура нижележащих швов стала мелкозернистой. Микроструктура: феррит и небольшое количество перлита. Полные и собранные снимки микроструктуры образцов приведены в Приложении Б.

В таблице 5 приведены результаты химического анализа.

Таблица 5 – Средний химический состав наплавленного металла

В процентах

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	V	Mo	Ti	Cu	Al	W	Nb	Co	Zn	Fe
Образец 0																
0.084	0.192	1.219	<0.150	0.047	0.033	0.036	<0.0050	<0.010	<0.0010	0.171	<0.0050	0.014	<0.0010	0.012	0.0023	98.02
Образец 1																
0.116	0.077	0.418	<0.150	0.061	0.112	0.064	<0.0050	<0.010	<0.0015	0.123	<0.0050	0.017	<0.0010	0.012	0.0042	98.82
Образец 2																
0.537	0.073	0.540	<0.150	0.061	0.112	0.078	<0.0050	<0.010	<0.0027	0.100	0.0011	0.024	0.0014	0.014	0.0097	98.34
Образец 3																
0.149	0.0122	0.732	<0.150	0.073	0.091	0.035	<0.0050	<0.010	<0.0014	0.072	<0.0050	0.014	<0.0010	0.011	<0.0020	98.53
Образец 4																
0.070	0.055	0.532	<0.150	0.053	0.065	0.035	<0.0050	<0.010	<0.0010	0.065	<0.0050	0.013	<0.0010	0.012	<0.0020	98.93
Образец 5																
0.274	0.176	1.020	<0.150	0.056	0.086	0.035	<0.0050	<0.010	<0.0010	0.068	<0.0050	0.013	<0.0010	0.012	<0.0020	98.09
Образец 6																
0.146	0.094	0.643	<0.150	0.056	0.084	0.039	<0.0050	<0.010	<0.0010	0.071	<0.0050	0.014	<0.0010	0.012	<0.0020	98.66

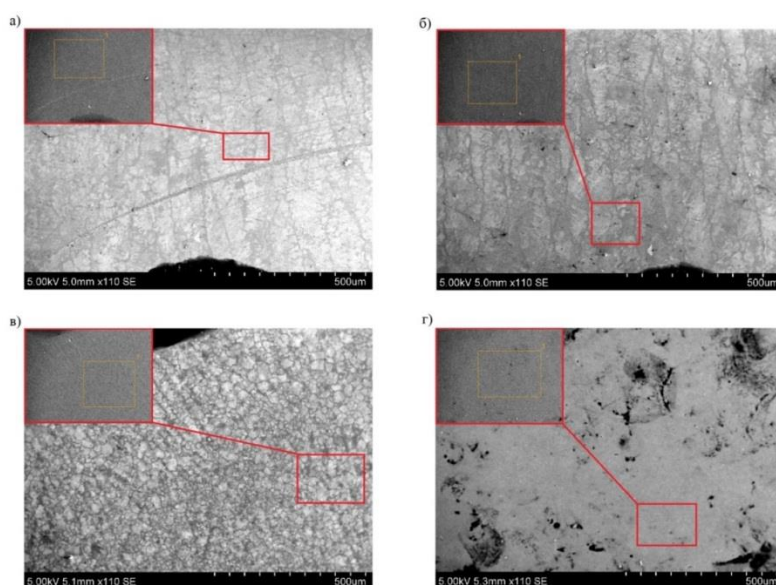


Рисунок 1 – Макроструктура образца 5

а – верхняя зона наплавки валика; б – средняя зона наплавки валика;
в – нижняя зона наплавки валика; г – зона основного металла пластины

Таблица 6 – Образец 5

Замер №	C	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Mo	W
1	2.22	0.09	0.14	0.00	0.13	1.41	95.04	0.00	0.37	0.02	0.23	0.35
2	1.62	0.34	0.08	0.06	0.27	1.39	95.43	0.63	0.00	0.00	0.00	0.18
3	1.50	0.19	0.15	0.00	0.05	1.99	95.66	0.31	0.00	0.00	0.00	0.16
4	2.00	0.33	0.00	0.14	0.00	0.91	96.07	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00

В процессе изучения химического состава поверхностей наплавленного металла и внутренних поверхностей образцов, установлено, что химический состав практически не отличается от основного металла. Не смотря на добавление графита в состав наполнителей, содержание углерода в составе поверхности наплавленного металла почти не повышается. Однако в образце 5 можно увидеть (таблица 6) повышение содержания углерода. Можно сделать вывод о том, что используемые наполнители, за исключением образца 5, не легируют наплаваемый металл, но и не обедняют его.

Таблица 7 – Результаты измерения твердости

Твердость по Роквеллу, шкала HRB			
№ Образца	Замер №1	Замер №2	Замер №3
Образец 0	83,5	80	80
Образец 1	77	76	78,5
Образец 2	66,5	68	71
Образец 3	81,5	81	79,5
Образец 4	73	75,5	75
Образец 5	96	92	93
Образец 6	75,5	73,5	74

При исследовании твердости поверхности наплавленных покрытий (таблица 7), установлено, что полученная твердость эквивалентна твердости материала Ст3. Так как твердость материала Ст3 по HB = 131 МПа, то твердость по шкале HRB = 72,7.

Как уже было отмечено, при добавлении графита в состав наполнителей, содержание углерода в составе металла почти не повысилось, за исключением образца №5. Это так же отображается на его твердости, так как она выше, чем у остальных исследуемых образцов.

Результаты исследования микротвердости приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты измерения микротвердости

№ Валика	1 точка	2 точка	3 точка	4 точка	5 точка
1	2	3	4	5	6
Образец 0					
1 валик	134	153	154	162	152
2 валик	150	160	154	154	155
3 валик	179	163	183	160	156
4 валик	183	187	162	161	176
Образец 1					
1 валик	121	124	129	120	134
2 валик	132	133	132	138	142
3 валик	142	140	139	142	155
4 валик	142	152	162	146	144

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
5 валик	155	161	162	157	150
Образец 2					
1 валик	137	158	162	136	130
2 валик	155	157	149	151	139
3 валик	152	150	163	142	146
4 валик	157	151	147	154	147
5 валик	151	150	154	140	160
Образец 3					
1 валик	165	151	149	136	140
2 валик	144	138	146	149	141
3 валик	136	147	137	136	147
4 валик	137	143	138	144	142
5 валик	140	158	157	160	158
Образец 4					
1 валик	177	176	126	136	130
2 валик	125	131	135	138	147
3 валик	147	146	138	144	143
4 валик	134	126	133	131	156
5 валик	139	144	148	148	148
Образец 5					
1 валик	205	224	209	205	238
2 валик	283	262	249	230	223
3 валик	215	226	242	212	206
4 валик	301	274	270	232	220
5 валик	229	217	241	228	202
Образец 6					
1 валик	177	192	130	138	173
2 валик	177	154	157	156	159
3 валик	163	162	171	174	148
4 валик	146	158	157	157	158

В результате исследования микротвердости было выявлено, что значение микротвердости наплавленных валиков равномерно распределено на каждом из валиков до основного металла. Значения микротвердости повышается при переходе от валика к валику, так как каждый валик оказывает термическое влияние на последующий, и не превышают 177 HV. Значение микротвердости образца №5 превышают значения, полученные в остальных образцах.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ литературы показал, что сварочные порошковые проволоки являются наиболее эффективным материалом для формирования наплавов и покрытий для восстановления различных деталей и изделий. Совокупность физико-химических и эксплуатационных свойств формируемых наплавов и покрытий при этом играют важную роль. Одним из перспективных направлений в создании технологий формирования качественных покрытий и наплавов является применение порошковых проволок, содержащих в качестве наполнителей переработанные техногенные отходы металлургических производств (шлаков). Однако широкое распространение этого

направления сдерживается отсутствием данных о зависимостях и закономерностях влияния элементов содержащихся в техногенных отходах на структуру и свойства получаемых покрытий.

2. В результате исследований микроструктуры установлено, что верхний участок наплавленного металла имеет столбчатое строение, т.к. процесс кристаллизации произошел в направлении, обратном отводу тепла, вглубь жидкой ванны, и металл приобрел столбчатую структуру. Кристаллит состоит из отдельных дендритов, имеющих общую направленность. Группа дендритов, имеет четкую границу. В корне шва, ближе к переходной зоне, составляющие столбчатый кристаллит дендриты разветвлены минимально. Так как наплавка выполнена в несколько проходов, то наложение каждого последующего шва оказало тепловое влияние на каждый нижний шов. В результате структура нижележащих швов стала мелкозернистой. Микроструктура: феррит и небольшое количество перлита.

3. В процессе изучения химического состава поверхностей наплавленного металла и внутренних поверхностей образцов, установлено, что химический состав практически не отличается от основного металла. Не смотря на добавление графита в состав наполнителей, содержание углерода в составе поверхности наплавленного металла почти не повышается. Однако в образце №5 можно увидеть повышение содержания углерода. Можно сделать вывод о том, что используемые наполнители, за исключением образца №5, не легируют наплавляемый металл, но и не обедняют его.

4. В результате исследований физических свойств, установлено, что полученная твердость и микротвердость эквивалентна твердости материала Ст3. Значения твердости и микротвердости образца №5 превышают значения остальных образцов.

5. Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод, что образец №5, полученный соответствующей проволокой (наполнитель: флюс + 10% графита) имеет самые лучшие структурные, а также физико-химические параметры по сравнению с остальными полученными образцами.

Список работ опубликованных по теме диссертации

1. Старцев Е.А., Бахматов П.В., Михайлов К.А., Соболев Б.М. Влияние экспериментального наполнителя для порошковой сварочной проволоки на процесс дуговой наплавки // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 3 (51). С. 107-109.

2. Михайлов К.А., Бахматов П.В., Старцев Е.А., Патентный анализ. Тенденций развития и прогнозирование рынка продукции самозащитных порошковых проволок // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 7-11 февраля 2022 г. / редкол. : Э. А. Дмитриев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2022. – 550 с.

3. Михайлов К.А., Клешина О.Н, Бахматов П.В., Старцев Е.А., Особенности применения сварочной порошковой проволоки с экспериментальными наполнителями при послойной наплавке // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы V Всерос. нац. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 11-15 апреля 2022 г. : в 4 ч. / редкол. : Э. А. Дмитриев (отв. ред.) [и др.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2022. – Ч. 1.