

## Технология и организация судостроения и судоремонта

Научная статья

УДК 621.791.14:62-97

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/49-57>

Ю.К. Тюлькин, А.А. Карабцов, П.А. Никифоров, В.Н. Стаценко, А.Е. Тен

ТЮЛЬКИН ЮРИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ, директор, gm@dazel.ru

ЗАО «Дазэл»

КАРАБЦОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ – ведущий научный сотрудник

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН

НИКИФОРОВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ – к.т.н., доцент, старший научный сотрудник,

nikiforov.pa@dvfu.ru

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН

СТАЦЕНКО ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор, vladsta@mail.ru✉

ТЕН АРТЕМ ЕВГЕНЬЕВИЧ – магистрант, toema\_98@mail.ru

Политехнический институт

Дальневосточный федеральный университет

Владивосток, Россия

## Исследование состава обмазки покрытых электродов

**Аннотация:** Ручная дуговая сварка характеризуется высоким качеством сварных соединений. Особенно актуальным является применение этого способа сварки для выполнения ремонтных и восстановительных работ, связанных с исправлением дефектов сварки, возникающих при изготовлении и эксплуатации металлоконструкций. Цель настоящей работы – выявление основных компонентов обмазки электродов, оценка их качества и обоснование применения. В данной работе рассмотрена классификация сварочных электродов, состав обмазки, каждый элемент которой выполняет свою функцию – формирование поверхности наплавленного металла, шлака, зажигание дуги и др. Исследование состава обмазки электродов производится методами лабораторных рентгенофазового (с распределением по фазам) и рентгено-флуоресцентного анализов. При подготовке образцов электродов к анализам используются автоматический отрезной станок, станок для горячей запрессовки, шлифовально-полировальная машина. Произведен рентгенофазовый анализ обмазки сварочных электродов OMNIA 46 и KISWEL E309L.

**Ключевые слова:** ручная дуговая сварка, электроды, обмазка, рентгенофазовый анализ, рентген-флуоресцентный анализ

**Для цитирования:** Тюлькин Ю.К., Карабцов А.А., Никифоров П.А., Стаценко В.Н., Тен А.Е. Исследование состава обмазки покрытых электродов // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 1(50). С. 49–57. <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/49-57>

### Введение

Сегодня сварка является основным способом соединения металлоконструкций. Более 95% стальных конструкций выполняется с соединениями по технологии сварки при изготовлении и более 60% на монтаже. Вместе с тем сохраняется большой объем использования ручной дуговой сварки покрытыми электродами. Особенно актуален этот способ сварки для выполнения ремонтных и восстановительных работ, связанных с исправлением дефектов сварки, возникающих при изготовлении и эксплуатации металлоконструкций. Широкая универсальность этого метода заключается в том, что простой заменой электрода можно быстро перенастроиться

на сварку других материалов и иных сварных конструкций, осуществлять сварку в различных пространственных положениях и т.п.

Рынок сварочных материалов заполнило огромное количество различных сварочных электродов как отечественного, так и зарубежного производства. Если в прежние времена выбор типа электродов среди огромного количества выпускаемых в стране определялся тем, что для каждой отрасли разрабатывались и выпускались свои марки электродов (для судостроения, машиностроения, строительства и др.) и одновременно предлагались основные положения по технологии сварки типовых конструкций, то с переходом от плановой к рыночной экономике появилось много производителей сварочных материалов для широкой номенклатуры сварных конструкций. При этом сократилось инженерно-технологическое сопровождение сварочных работ, ответственность за выбор материалов в каждом конкретном случае снизилась до уровня рабочих сварщиков, которые не имели специальных теоретических знаний. Наряду с этим определение качества электродов сводилось к их сварочно-технологическим характеристикам, таким как лёгкость зажигания и устойчивость горения дуги, качество формирования поверхности сварных швов, лёгкость удаления шлаковой корки и т.п.

Предприятия, занимающиеся сварочным производством, находятся перед выбором: приобретать электроды, произведенные известными фирмами, или же использовать более дешёвые аналоги, имеющие некоторые отличия в качестве. Поскольку для большинства типов электродов их эксплуатационные и технологические свойства определяются составом электродного покрытия (обмазки), то разработка методики анализа состава электродного покрытия современными лабораторными средствами не только представляет большой научный интерес, но и имеет важное практическое значение.

В настоящей работе предлагается провести лабораторные исследования и разработать методику анализа состава электродного покрытия.

### Характеристика электродов

В состав защитных покрытий, наносимых на электроды, входят различные компоненты, выполняющие определённые функции [1, 8].

1. Газообразующие компоненты при сгорании создают газовую защиту, которая предохраняет расплавленный металл от кислорода и азота воздуха. Для фтористо-кальциевых покрытий низководородистых электродов к ним относятся неорганические вещества, такие как мрамор  $\text{CaCO}_3$  и магнезит  $\text{MgCO}_3$ . Органические компоненты – крахмал, древесная мука – используются при сварке неответственных сварных конструкций, так как органика является источником водорода.

2. Шлакообразующие компоненты защищают расплавленный металл от воздействия кислорода и азота воздуха и частично очищают его, образуя шлаковые оболочки вокруг капель электродного металла; эти вещества составляют основу защитного покрытия. Для электродов с кислым (рудно-кислым) покрытием шлаковую основу создают марганцовые ( $\text{MnO}_2$ ), гематитовые ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и титановые руды или различные минералы: ильменитовый ( $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$  или  $\text{FeTiO}_3$ ) и рутиловый ( $\text{TiO}_2$ ) концентраты, полевой шпат, кремнезём, гранит, мел, плавиковый шпат и др. Наличие рутила в обмазке определяет широко распространённый тип электродов – рутиловые (Е-6013 по классификации AWS). Шлаковой основой покрытий основного, фтористо-кальцевого, типа низководородистых электродов являются карбонаты кальция (мрамор, известняк, доломит, магнезит), а также плавиковый шпат ( $\text{CaF}_2$ )

3. Легирующие элементы необходимы для придания металлу шва специальных качеств: жаростойкости, износостойкости, сопротивляемости коррозии и повышения механических свойств; к ним относятся кремний, марганец, титан, никель, хром и др.

4. Для раскисления расплавленного металла сварочной ванны применяются элементы, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо, например марганец, кремний, титан, алюминий, а также ферросплавы – ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, феррованадий, ферромolibден и т.д.

5. Для связки всех составляющих между собой и со стержнем электрода применяется калиевое или натриевое жидкое стекло, декстрин, желатин и др., придающие покрытию необходимую прочность.

6. Формовочные элементы (пластификаторы) придают покрытию пластичность при изготовлении сварочных электродов методом прессования. Для этой цели используют бетонит, каолин, декстрин, слюду, мусковит и другие компоненты.

7. Стабилизирующие элементы обеспечивают устойчивое горение электрической дуги, для чего в состав покрытия входят соли щелочных металлов: поташ ( $K_2CO_3$ ), селитра ( $KNO_3$ ), хромат калия ( $K_2CrO_4$ ), карбонат кальция ( $CaCO_3$ ), карбонат бария ( $BaCO_3$ ).

8. Для увеличения производительности в состав покрытия входит железный порошок, доля которого может достигать 60% от всей массы покрытия.

### Классификация электродов в зависимости от вида покрытия

В зависимости от вида покрытия электроды имеют определенную классификацию [1, 6, 8].

**А** – электроды с кислым покрытием (например, АНО-2, СМ-5 и др.). Эти покрытия состоят из оксидов железа, марганца, кремнезёма, ферромарганца. Такие электроды обладают высокой токсичностью из-за содержания оксида марганца, но при этом обладают высокой технологичностью.

**Б** – основное покрытие (электроды УОНИ-13/45, УП-1/45, ОЗС-2, ДСК-50 и др.). В состав этих покрытий не входят оксиды железа и марганца, используют мрамор, плавиковый шпат, кварцевый песок, ферросилиций, ферромарганец, ферротитан, замешанные на жидком стекле. При сварке электродами с основным покрытием получается сварной шов с высокой пластичностью. Данные электроды используются для сварки ответственных сварных конструкций [6].

**Р** – электроды с рутиловым покрытием (АНО-3, АНО-4, ОЭС-3, ОЗС-4, ОЗС-6, МР-3, МР-4 и др.). Основу покрытия данных электродов составляет рутил  $TiO_2$ , давший название этой группе электродов. Рутиловые электроды для ручной дуговой сварки менее вредны для здоровья, чем другие. При сварке металла такими электродами толщина шлака на сварном шве небольшая и жидкий шлак быстро твердеет. Это позволяет использовать данные электроды для выполнения швов в любом положении [4].

**Ц** – группа электродов с целлюлозным покрытием (ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОЗЦ-1 и др.). Компонентами для таких покрытий являются целлюлоза, органическая смола, тальк, ферросплавы и некоторые другие составляющие. Электроды с таким покрытием можно использовать для выполнения сварки в любом положении. Преимущественно они используются при сварке металлов малой толщины. Недостатком их является пониженная пластичность сварного шва.

### Техническое решение

Исследование состава обмазки электродов производится методами лабораторных микрорентгеноспектрального и рентгенофазового анализов [3, 5, 7]. При этом исследованию подвергается торец электрода. При подготовке образцов электродов к анализам используется следующее оборудование.

1. Автоматический отрезной станок MECATOME T210 (рис. 1а) – предназначен для резки образцов из материалов различной твердости, скорость вращения отрезного диска варьирует в диапазоне 300–6000 об/мин, имеется система охлаждения жидкостью «Трилон Б».

2. Станок для горячей запрессовки MECAPRESS III (рис. 1б) – предназначен для заливки образцов эпоксидной смолой в форму высотой 10–20 мм, имеется сенсорная панель, на которой фиксируются параметры запрессовки: температура нагрева (от 120 до 200 °С), время нагрева и охлаждения, давление, тип и количество смолы, материал формы.

3. Шлифовально-полировальный станок MECATECH 234 (рис. 1в) – предназначен для обработки поверхности различных материалов с помощью шлифовальной бумаги и сукна, имеет варьируемую скорость вращения диска в диапазоне 20–700 об/мин, при шлифовке

применяется абразив с градацией 180, 240, 480, 800 и 1200 мкм, при полировке используется встроенный дозатор подачи алмазной пасты с градацией 6,3 и 1 мкм.

Для анализа состава обмазки выбраны два вида электродов для ручной дуговой сварки, имеющих в свободной продаже – OMNIA 46 и KISWEL E309L. Образцы электродов, готовые к лабораторным анализам, представлены на рис. 2.

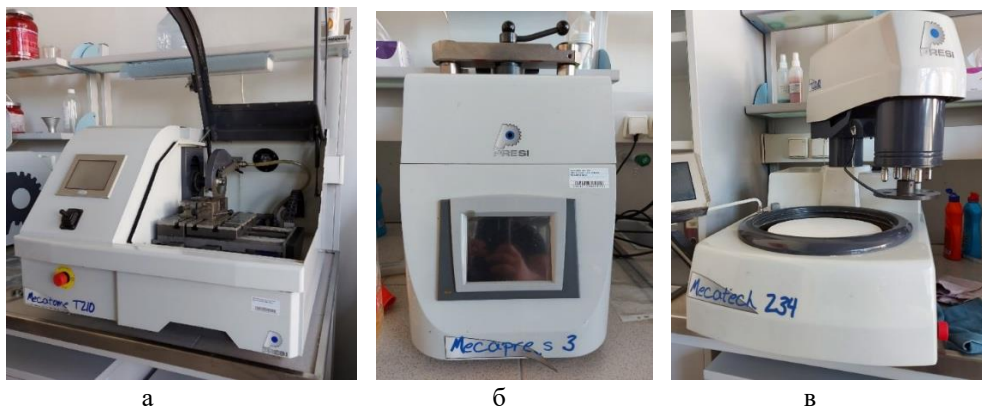


Рис. 1. Отрезной станок МЕКАТОМЕ T210 (а), станок для горячей запрессовки МЕКАПРЕСС III (б), полировальный станок МЕКАТЕХ 234 (в)

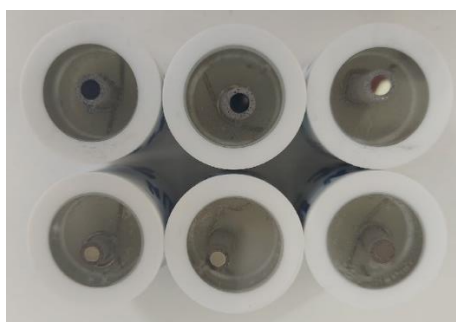


Рис. 2. Образцы электродов, подготовленные к лабораторным анализам

Для рентгенофазового анализа обмазки электродов с разделением ее элементов по фазам используется четырехканальный микроанализатор JXA 8100 производства компании «Jeol» (рис. 3а). Для рентген-флуоресцентного анализа используется сканирующий спектрометр S4 Pioneer производства компании «Bruker AXS», Германия (рис. 3б).

Исследование обмазки электродов проводится на полированном торце его образца, при этом состав определяется многократно в случайно выбранных точках. Количество этих точек в каждом образце достигало 50.



Рис. 3. Четырехканальный микроанализатор JXA 8100 (а), рентген-флуоресцентный сканирующий спектрометр S4 Pioneer (б)



Приведены результаты рентгенофазового анализа с разделением элементов обмазки по фазам для обмазки электродов OMNIA46 (табл. 1) – количество измерений до 20, а также результаты микрорентгеноспектрального анализа обмазки электродов OMNIA 46 (табл. 2). Аналогичные данные получены для обмазки электродов KISWEL E309L. Представлены графики спектральных данных результатов рентгенофазового анализа для обмазки электродов OMNIA46 и KISWEL E309L (рис. 4).

Таблица 1

**Результаты рентгенофазового анализа обмазки электродов OMNIA46**

| №  | 2-theta (deg) | d (Å)      | Height (cps) | Int. I (cps deg) | FWHM (deg) | Size     | Phase name                                                                                                          |
|----|---------------|------------|--------------|------------------|------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 8.930(6)      | 9.894(7)   | 254(15)      | 70.8(16)         | 0.218(7)   | 381(12)  | Muscovite-2M1, (0,0,2)                                                                                              |
| 2  | 17.846(15)    | 4.966(4)   | 151(11)      | 35.5(18)         | 0.177(16)  | 475(43)  | Muscovite-2M1, (0,0,4), 01-070-6311@Wulfenite, tungstenian, (1,0,1)                                                 |
| 3  | 19.88(6)      | 4.461(14)  | 29(5)        | 6(2)             | 0.20(5)    | 422(107) | Muscovite-2M1, (1,1,-1), 01-080-2027@Vanadium Oxide, (1,-1,-2)                                                      |
| 4  | 20.962(7)     | 4.2344(14) | 77(8)        | 19.3(17)         | 0.202(19)  | 418(39)  | Quartz, (1,0,0)                                                                                                     |
| 5  | 22.0156       | 4.03409    | 31.758       | 7.55398          | 0.205471   | 411.381  | Vanadium Oxide, (0,1,2)                                                                                             |
| 6  | 22.563        | 3.93745    | 29.3309      | 6.99319          | 0.205471   | 411.769  | Muscovite-2M1, (1,1,2)                                                                                              |
| 7  | 25.620(12)    | 3.4742(16) | 393(18)      | 59(4)            | 0.112(13)  | 759(90)  | Muscovite-2M1, (1,1,-4), 01-080-2027@Vanadium Oxide, (1,1,1)                                                        |
| 8  | 26.867(7)     | 3.3156(9)  | 907(27)      | 295(5)           | 0.300(5)   | 284(5)   | Muscovite-2M1, (0,2,4), 01-080-2027@Vanadium Oxide, (2,-1,0), 01-085-0504@Quartz, (0,1,1)                           |
| 9  | 27.495(14)    | 3.2413(17) | 296(16)      | 66(3)            | 0.205(11)  | 416(23)  | Wulfenite, tungstenian, (1,1,2)                                                                                     |
| 10 | 27.85(2)      | 3.200(3)   | 158(11)      | 37(2)            | 0.211(19)  | 405(36)  | Muscovite-2M1, (1,1,4), 01-080-2027@Vanadium Oxide, (2,0,-2)                                                        |
| 11 | 29.517(5)     | 3.0238(5)  | 915(28)      | 162(3)           | 0.146(5)   | 588(19)  | Calcite, magnesium, syn, (1,0,4), 01-070-6311@Wulfenite, tungstenian, (0,0,4), 01-080-2027@Vanadium Oxide, (2,-2,0) |
| 12 | 29.86(4)      | 2.990(3)   | 71(8)        | 24(3)            | 0.23(4)    | 372(68)  | Muscovite-2M1, (0,2,5)                                                                                              |
| 13 | 30.97(5)      | 2.885(5)   | 38(6)        | 15(2)            | 0.34(6)    | 254(48)  | Vanadium Oxide, (2,-2,-2)                                                                                           |
| 14 | 31.296(10)    | 2.8557(9)  | 236(14)      | 48(2)            | 0.142(15)  | 608(65)  | Muscovite-2M1, (1,1,5)                                                                                              |
| 15 | 35.00(3)      | 2.562(2)   | 81(8)        | 27.1(15)         | 0.20(5)    | 426(97)  | Muscovite-2M1, (1,1,6), 01-080-2027@Vanadium Oxide, (0,1,-4)                                                        |
| 16 | 36.066(12)    | 2.4883(8)  | 246(14)      | 69(2)            | 0.16(2)    | 537(74)  | Muscovite-2M1, (0,0,8), 01-089-1304@Calcite, magnesium, syn, (1,1,0), 01-070-6311@Wulfenite, tungstenian, (2,0,2)   |
| 17 | 36.6116       | 2.45243    | 27.1874      | 6.83647          | 0.19083    | 457.969  | Muscovite-2M1, (1,3,-3), 01-085-0504@Quartz, (1,1,0)                                                                |
| 18 | 37.8888       | 2.37265    | 19.6191      | 4.98254          | 0.19083    | 459.692  | Muscovite-2M1, (1,3,3), 01-070-6311@Wulfenite, tungstenian, (1,1,4), 01-080-2027@Vanadium Oxide, (2,-3,-2)          |
| 19 | 38.497        | 2.33655    | 1.54375      | 0.393917         | 0.19083    | 460.538  | Vanadium Oxide, (0,1,4)                                                                                             |
| 20 | 39.503(12)    | 2.2793(7)  | 117(10)      | 26.9(17)         | 0.150(16)  | 589(65)  | Calcite, magnesium, syn, (1,1,3), 01-080-2027@Vanadium Oxide, (3,-2,-1), 01-085-0504@Quartz, (1,0,2)                |

Таблица 2

Результаты микрорентгеноспектрального анализа обмазки электрода OMNIA 46

| All results in weight, %   |       |     |      |      |       |       |      |       |       |       |      |       |       |        |
|----------------------------|-------|-----|------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|--------|
| Spectrum                   | O     | F   | Na   | Mg   | Al    | Si    | P    | K     | Ca    | Ti    | V    | Mn    | Fe    | Total  |
| Spectrum 1                 | 18,97 |     |      |      | 2,75  | 7,24  |      | 2,2   | 1,3   | 5,88  |      | 4,6   | 17,48 | 60,41  |
| Spectrum 2                 |       |     |      |      |       | 1,42  |      |       |       |       |      | 75,94 | 14,81 | 92,17  |
| Spectrum 3                 | 35,96 |     |      |      |       | 0,34  |      |       |       | 66,97 | 1,07 |       |       | 104,34 |
| Spectrum 4                 | 38,88 |     |      |      |       |       |      |       | 0,56  | 65,27 | 1,02 |       |       | 105,74 |
| Spectrum 5                 | 51    |     |      |      | 0,53  | 3,66  |      | 0,56  | 30,89 |       |      |       |       | 86,63  |
| белая мелкая               | 4,13  | 7,7 |      |      | 1,43  | 4,48  |      | 1,29  | 1,02  | 0,61  |      | 63,04 | 12,21 | 95,94  |
| Мусковит                   | 33,06 |     |      |      | 13,03 | 19,72 |      | 9,41  | 0,44  |       |      | 0,68  | 3,61  | 79,95  |
| Мусковит                   | 41,18 |     |      | 0,4  | 18,53 | 20,82 |      | 10,61 |       |       |      |       | 2,97  | 94,51  |
| Альбит                     | 17,39 |     | 3,41 |      | 5,84  | 17,91 |      | 0,23  |       |       |      |       |       | 44,77  |
| Fe-Mn сплав                |       |     |      |      |       | 0,58  | 1,13 |       |       |       |      | 83,15 | 13,75 | 98,61  |
| Spectrum 11                | 48,45 |     |      |      |       | 0,65  |      | 0,27  | 0,23  | 65,51 | 0,77 |       |       | 115,89 |
| Spectrum 12                | 60,48 |     |      | 0,5  | 2,81  | 16,44 |      | 3,59  | 17,14 | 0,73  |      |       |       | 101,7  |
| Spectrum 13                | 31,39 |     |      |      | 9,14  | 19,83 |      | 7,77  | 1,9   | 0,57  |      | 0,43  | 2,5   | 73,52  |
| Spectrum 14                | 46,8  |     | 0,66 | 0,62 | 2,72  | 23,23 |      | 5,99  | 0,97  | 2,02  |      | 0,57  | 0,4   | 83,99  |
| Spectrum 15                |       |     |      |      |       |       |      |       |       |       |      |       | 91,21 | 91,21  |
| Spectrum 16                | 48,18 |     |      |      |       | 43,31 |      |       |       | 1,56  |      |       | 0,44  | 93,48  |
| Spectrum 17                | 13,42 |     |      |      | 0,47  | 1,41  |      | 0,57  | 0,26  | 24,54 | 1,02 |       | 0,25  | 41,95  |
| Spectrum 18                | 57,73 |     |      |      | 0,39  | 5,81  |      | 1,74  | 29,71 | 0,68  |      |       |       | 96,06  |
| Spectrum 19                | 33,84 |     |      |      | 1,88  | 13,28 |      | 3,81  | 0,72  | 12,19 |      |       | 36,78 | 102,51 |
| Spectrum 20                | 51,44 |     |      | 0,5  | 12,12 | 27,75 |      | 9,58  | 0,54  | 0,51  |      |       | 2,46  | 104,91 |
| Ортоклаз                   | 43,27 |     | 0,83 |      | 11,29 | 30,32 |      | 15,95 |       |       |      |       |       | 101,66 |
| железо                     |       |     |      |      |       | 3,65  |      | 0,41  |       |       |      |       | 84,33 | 88,39  |
| Осн масса к.п.ш. со слюдой | 28,06 |     |      | 0,63 | 7,8   | 15,7  |      | 7,42  | 0,39  | 0,47  |      |       | 2,7   | 63,17  |
| All results in atomic %    |       |     |      |      |       |       |      |       |       |       |      |       |       |        |
| Spectrum                   | O     | F   | Na   | Mg   | Al    | Si    | P    | K     | Ca    | Ti    | V    | Mn    | Fe    |        |
| Spectrum 1                 | 55,07 |     |      |      | 4,73  | 11,97 |      | 2,61  | 1,5   | 5,7   |      | 3,89  | 14,54 |        |
| Spectrum 2                 |       |     |      |      |       | 2,97  |      |       |       |       |      | 81,41 | 15,62 |        |
| Spectrum 3                 | 61,1  |     |      |      |       | 0,33  |      |       |       | 38    | 0,57 |       |       |        |
| Spectrum 4                 | 63,5  |     |      |      |       |       |      |       | 0,37  | 35,61 | 0,52 |       |       |        |
| Spectrum 5                 | 77,33 |     |      |      | 0,47  | 3,16  |      | 0,35  | 18,7  |       |      |       |       |        |
| белая мелкая               | 11,14 | 17  |      |      | 2,28  | 6,88  |      | 1,42  | 1,1   | 0,55  |      | 49,56 | 9,45  |        |
| Мусковит                   | 57,72 |     |      |      | 13,49 | 19,61 |      | 6,72  | 0,31  |       |      | 0,35  | 1,8   |        |
| Мусковит                   | 59,27 |     |      | 0,38 | 15,81 | 17,07 |      | 6,25  |       |       |      |       | 1,23  |        |
| Альбит                     | 51,88 |     | 7,08 |      | 10,32 | 30,44 |      | 0,28  |       |       |      |       |       |        |
| Fe-Mn сплав                |       |     |      |      |       | 1,14  | 2    |       |       |       |      | 83,3  | 13,55 |        |
| Spectrum 11                | 68,1  |     |      |      |       | 0,52  |      | 0,15  | 0,13  | 30,75 | 0,34 |       |       |        |
| Spectrum 12                | 75,23 |     |      | 0,41 | 2,07  | 11,65 |      | 1,83  | 8,51  | 0,3   |      |       |       |        |
| Spectrum 13                | 59,15 |     |      |      | 10,21 | 21,28 |      | 5,99  | 1,43  | 0,36  |      | 0,23  | 1,35  |        |
| Spectrum 14                | 70,58 |     | 0,69 | 0,62 | 2,44  | 19,95 |      | 3,7   | 0,59  | 1,02  |      | 0,25  | 0,17  |        |
| Spectrum 15                |       |     |      |      |       |       |      |       |       |       |      |       | 100   |        |
| Spectrum 16                | 65,55 |     |      |      |       | 33,57 |      |       |       | 0,71  |      |       | 0,17  |        |
| Spectrum 17                | 57,28 |     |      |      | 1,19  | 3,42  |      | 1     | 0,44  | 34,98 | 1,37 |       | 0,31  |        |
| Spectrum 18                | 77,94 |     |      |      | 0,32  | 4,47  |      | 0,96  | 16,01 | 0,31  |      |       |       |        |
| Spectrum 19                | 57,38 |     |      |      | 1,89  | 12,83 |      | 2,64  | 0,49  | 6,91  |      |       | 17,87 |        |
| Spectrum 20                | 64,48 |     |      | 0,41 | 9,01  | 19,81 |      | 4,91  | 0,27  | 0,22  |      |       | 0,88  |        |
| Ортоклаз                   | 58,21 |     | 0,78 |      | 9,01  | 23,23 |      | 8,78  |       |       |      |       |       |        |
| железо                     |       |     |      |      |       | 7,87  |      | 0,63  |       |       |      |       | 91,5  |        |
| Осн масса к.п.ш. со слюдой | 60,78 |     |      | 0,89 | 10,02 | 19,38 |      | 6,58  | 0,34  | 0,34  |      |       | 1,67  |        |

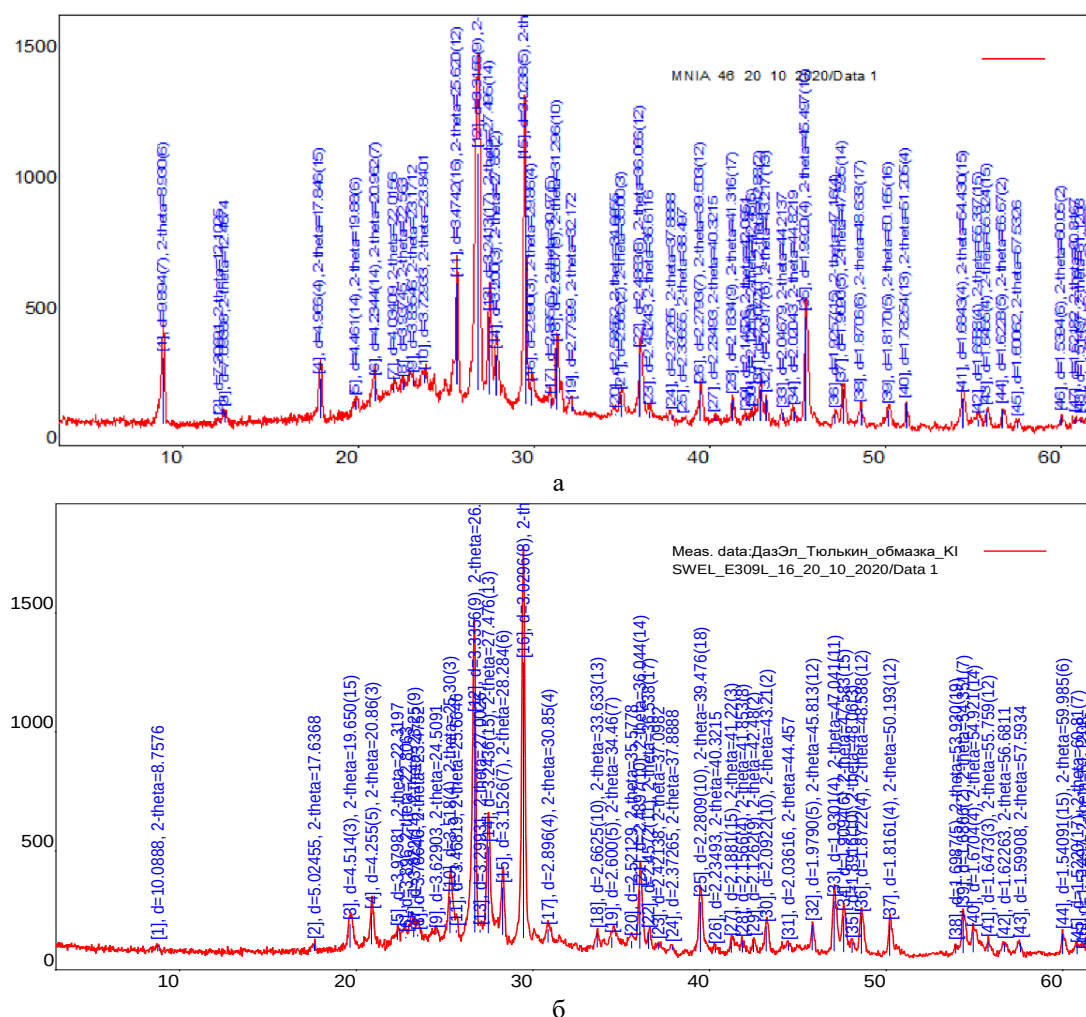


Рис. 4. Результаты рентгенофазового анализа, графики спектральных данных:  
а – обмазка OMNIA46; б – обмазка KISWEL E309L

### Анализ результатов исследования

По данным рентгенофазового анализа электродов OMNIA-46 получено небольшое содержание в образце натрия и калия, связующим компонентом является не жидкое стекло, а органическое соединение типа декстрина. Силикатную основу обмазки составляют кварц (Spectrum 16) и мусковит или слюда (Spectrum 13, 19), в небольших количествах присутствуют полевые шпаты – альбит (Spectrum 18) и ортоклаз (Spectrum 20). Из других минеральных компонентов – рутил (Spectrum 3, 11, 17), мел (Spectrum 4, 12) и фторсодержащие соединения (возможно, калиевый криолит и флюорит). Металлические добавки – высокопроцентный ферромарганец (Spectrum 2, 5), железо (Spectrum 15) и низкопроцентный ферросилиций (возможно, чугун) [2].

По данным рентгенофазового анализа электродов KISWEL E309L определили, что связующей средой в данной обмазке скорее всего является жидкое стекло. Минеральные добавки – мел (возможно, с небольшой примесью доломита), рутил, мусковит (слюда), кварц, ортоклаз (полевой шпат). Фторсодержащие добавки – вероятно, флюорит или криолит. Металлические добавки – высокопроцентный феррохром, а также почти чистые хром и никель.

### Заключение

По результатам исследования в обмазке электродов OMNIA-46 обнаружено присутствие рутила ( $\text{TiO}_2$ ), что указывает на рутиловый тип покрытия, а большой запас раскислителей позволяет предположить, что основной областью применения электродов является выполнение ремонтных работ без предъявления высоких требований к подготовке свариваемых кро-

мок. К сожалению, на данном этапе мы не можем определить количество и типы органических веществ в сварочной обмазке и подтвердить целлюлозную составляющую, но по результатам последующих исследований сможем вычислить из общей массы.

Сварочные электроды KISWEL E309L по результатам микрорентгеноспектрального анализа предположительно имеют рутиловый тип покрытия исходя из содержания в обмазке  $\text{TiO}_2$ . Содержание никеля (Ni) подтверждает универсальность электродов, позволяющую сваривать нержавеющие стали не только между собой, но и в комбинации с чёрными металлами. В качестве цементирующей массы в покрытии используется жидкое стекло.

В дальнейших исследованиях будут проводиться:

- рентген-флуоресцентный анализ колотой обмазки, спрессованной в гранулы для оценки общего состава веществ и элементов;
- микроструктурный анализ на электронном микроскопе для получения данных элементного состава, а также картирование по составу обмазки;
- осмотр поверхности обмазки на электронном зондовом микроскопе для получения общей картины.

По данным этих исследований можно будет провести сравнение составов обмазок электродов известных производителей с более дешёвыми аналогами и рекомендовать их применение в различных отраслях промышленного производства, а также будет разработана методика по анализу и проверке обмазки сварочных электродов; полученные результаты будут сравниваться с данными, заявленными производителями.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Акулов А.И., В.П. Алехин, Ермаков С.И. и др. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки. 2-е изд. испр. и доп. / под ред. А.И. Акулова. Москва: Машиностроение, 2003. 560 с.
2. Асеев В.А., Золотарев В.М., Никоноров Н.В. Приборы и методы исследования наноматериалов фотоники. Санкт-Петербург: Изд-во Университета ИТМО, 2015. 130 с.
3. Ковба Л.М., Трунов В. К. Рентгенофазовый анализ. 2-е изд. испр. и доп. Москва: Изд-во МГУ, 1976. 231 с.
4. Пат. 2497646 Российская Федерация. В23К 35/36. Минеральный сплав для покрытий сварочных электродов / М.Н. Игнатов, А.М. Игнатова, С.В. Наумов; Пермский нац. исслед. политехн. ун-т. № 2012125407/02; заявл. 19.06.12; опубл. 10.11.13. 2 с.
5. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск: Наука, 1994. 264 с.
6. Смирнов И.В. Сварка специальных сталей и сплавов. 2-е изд., испр. и доп. Санкт-Петербург: Лань, 2012. 272 с.
7. Трушин В.Н., Андреев П.В., Фаддеев М.А. Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. 89 с.
8. Щекин В.А. Технологические основы сварки плавлением. Изд. 2-е, перераб. Ростов-на-Дону: Инфра-Инженерия, 2021. 244 с.



Original article

<https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/49-57>

Tyulkin Yu., Karabtsov A., Nikiforov P., Statsenko V., Ten A.

YURI K. TYULKIN, Director, gm@dazel.ru  
CJSC "DAZEL"

ALEXANDER A. KARABTSOV, Leading Researcher

Far Eastern Geological Institute FEB RAS

PAVEL A. NIKIFOROV, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, nikiforov.pa@dvfu.ru

Institute of Automation and Control Processes FEB RAS

VLADIMIR N. STATSENKO, Doctor of Engineering Sciences, Professor, vladsta@mail.ru

ARTEM E. TEN, Master Student, toema\_98@mail.ru

Polytechnical Institute

Far Eastern Federal University

Vladivostok, Russia

### Investigation of the composition of coated electrodes' coating

**Abstract:** Manual arc welding is characterized by high quality of welded joints. The use of this welding method is particularly relevant for repair and restoration work related to the correction of welding defects that occur during the manufacture and operation of metal structures. The purpose of the present work is to identify the main components of the electrode coating, assess their quality and justify their use. This paper considers the classification of welding electrodes, the composition of the coating, each element of which performs its own function – the formation of the surface of the deposited metal, slag, ignition of the arc, etc. The composition of the electrode coating is studied using the methods of laboratory X-ray phase (with phase distribution) and X-ray fluorescence analyzes. When preparing electrode samples for analysis, an automatic cutting machine, a hot-pressing machine, and a grinding and polishing machine were used. X-ray phase analysis of the coating of welding electrodes OMNIA 46 and KISWEL E309L was carried out.

**Keywords:** manual arc welding, electrodes, coating, composition, X-ray phase analysis, X-ray fluorescence analysis

**For citation:** Tyulkin Yu., Karabtsov A., Nikiforov P., Statsenko V., Ten A. Investigation of the composition of coated electrodes' coating. FEFU: School of Engineering Bulletin. 2022;(50):49-57. (In Russ.). <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-1/49-57>

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

### REFERENCES

1. Akulov A.I., Alekhin V.P., Ermakov S.I. Technology and equipment for fusion welding and thermal cutting. Ed. A.I. Akulov and others. Moscow, Mashinostroenie, 2003. 560 p.
2. Aseev V.A., Zolotarev V.M., Nikonov N.V. Devices and methods for studying photonics nanomaterials. St. Petersburg, ITMO University Publishing House, 2015. 130 p.
3. Kovba L.M., Trunov V.K. X-ray phase analysis. Moscow, Publishing House of Moscow State University, 1976. 231 p.
4. Pat. 2497646 Russian Federation. B23K 35/36. Mineral alloy for coatings of welding electrodes / M.N. Ignatov, A.M. Ignatova, S.V. Naumov; Perm National Research Polytechnic University. No. 2012125407/02; decl. June 19, 2012; publ. November 10, 2013. 2 p.
5. Revenko A.G. X-ray spectral fluorescence analysis of natural materials. Novosibirsk, Nauka, 1994. 264 p.
6. Smirnov I.V. Welding of special steels and alloys. St. Petersburg, Lan, 2012. 272 p.
7. Trushin V.N., Andreev P.V., Faddeev M.A. X-ray phase analysis of polycrystalline materials. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University, 2012. 89 p.
8. Shchekin V.A. Technological foundations of fusion welding. Rostov-on-Don, Infra-Engineering, 2021. 244 p.