

Винахід стосується електродугового зварювання металів, зокрема до покритих електродів для ручного дугового зварювання низьковуглецевих конструкційних сталей з тимчасовим опором на розрив до 450 МПа. Відомий електрод для ручного дугового зварювання сталі з покриттям на основі ільменіту марки ОММ - 5 (Крюковский Н.А. Производство электродов для дуговой сварки, МА-ШГИЗ, М., 1956. С. 278 (см. табл. 12 С. 16-19)). Покриття вказаного електроду містить (ваг. частини):

ільменітовий концентрат	37,0
марганцева руда	21,0
польовий шпат	13,0
феромарганець	20,0
органічні пластифікатори (крохмаль та декстрин)	8,0
сухий залишок водорозчинного силікату	12...14

Основною вадою вказаного електроду є незадовільні зварювально-технологічні властивості та санітарно-гігієнічні показники.

Високий вміст у покритті згаданого електроду оксидів марганцю (марганцева руда) та металічного марганцю (феромарганець) призводить до утворення в процесі зварювання великої кількості токсичного аерозолі. Причому найбільшу небезпеку для здоров'я зварників становить тверда складова зварювального аерозолі (ТСЗА) яка містить мілкодисперсні частинки з високою концентрацією високотоксичних сполук марганцю (Воронцова Е.И. К вопросу о действии на организм аэрозоля, образующегося при электросварке марганцевыми электродами. "Гигиена и санитария", №4, 1949г.) Тому використання вказаних електродів призводило до захворювання зварників професійними хворобами (Воронцова Е.И. Гигиена труда электросварщика. М., Медгиз, 1960).

Високий вміст у вищезгаданому покритті оксидів заліза (в ільменіті) та марганцю (в марганцевій руді) являється причиною незадовільних зварювально-технологічних властивостей електроду, а саме:

- висока текучість рідкого шлаку в процесі зварювання, що заважає контролювати зварювальну ванну;
- схильність до утворення підрізів вздовж зварного шва;
- велике розбризкування рідкого металу, що призводить до значних трудозатрат по зачистці готової зварної конструкції від бризок.

Вказаних вище вад в значній мірі позбавлений електрод з покриттям згідно патенту України №23849 А (прототип), яке містить (мас. %):

ільменітовий концентрат	36...45
доломіт	8...11
польовий шпат	11...15
мінеральні пластифікатори	8...14
органічні пластифікатори	1...4
феросплави на основі марганцю та кремнію	14...20
сухий залишок водорозчинного калій-натрієвого силікату	9...11

Цей електрод містить у покритті менше марганцю у вигляді його оксидів, оскільки в ньому відсутня марганцева руда. Це забезпечує менше виділення в навколишній простір в процесі зварювання токсичних сполук марганцю. Менша кількість оксидів заліза та марганцю сприяла поліпшенню зварювально-технологічних властивостей електроду. Зварювальний електрод з покриттям згідно патенту України №23849А по санітарно-гігієнічним показникам та зварювально-технологічним властивостям значно переважає електроди ОММ-5 та інші електроди з покриттям ільменітового виду. Однак він суттєво поступається перед електродом з покриттям рутилового виду, а саме:

- характеризується більш високими показниками розбризкування металу;
- при зварюванні утворює шпак, який не дозволяє добре контролювати зварювальну ванну, що може стати причиною зашлаковування металу шва;
- виділяє у навколишній простір більшу кількість небезпечного для організму зварювальника аерозолі, ніж електроди з рутиловим покриттям.

Завданням винаходу є удосконалення відомого складу покриття зварювального електроду за рахунок введення нового компоненту кварцового піску, та зміна співвідношення інших компонентів, що входять до його складу, з метою суттєвого покращення зварювально-технологічних та санітарно-гігієнічних показників електроду і максимального приближення їх до рівня показників електродів з покриттям рутилового виду.

Поставлене завдання вирішується шляхом введення в покриття ільменітового концентрату, карбонатів лужноземельних металів, польовошпатових матеріалів, кварцового піску, феросплавів на основі марганцю та кремнію, мінеральних та органічних пластифікаторів, залізного порошку, сухого залишку водорозчинного силікату при такому співвідношенні компонентів, мас. %:

ільменітовий концентрат	30...35
карбонати лужноземельних металів	7...11
польовошпатові матеріали	6...8
кварцовий пісок	9...11
феросплави на основі марганцю та кремнію	14...17
мінеральні та органічні пластифікатори	6...9
сухий залишок водорозчинного силікату	8...11
залізний порошок	решта

Коефіцієнт маси покриття електродів становить 35...55%.

Погана контрольованість зварювальної ванни при використанні електродів з покриттям ільменітового виду пов'язана з високою текучістю шлаку, який утворюється в процесі зварювання при плавленні електродного покриття. Така висока текучість зумовлена вмістом великої кількості а ньому окислів заліза, що переходять у шлак при плавленні ільменітового концентрату. Зменшення текучості шлаку при зварюванні запропонованим електродом забезпечується за рахунок:

- зменшення вмісту ільменітового концентрату в покритті порівняно з прототипом, що призводить до зниження кількості окислів заліза у шлаку;
- введення в покриття значної кількості діоксиду кремнію, в першу чергу за рахунок використання кварцового піску (9-11 мас. %), а також польовошпатових матеріалів, що містять до 70% діоксиду кремнію;
- за рахунок вибору оптимального співвідношення в електродному покритті інших матеріалів.

Завдяки високому вмісту в шпаку, що утворюється при зварюванні запропонованим електродом, діоксиду кремнію, окисли заліза зв'язуються в комплексні сполуки, що зменшує текучість шлаку і дозволяє краще контролювати зварювальну ванну, зменшити випадки зашлаковування металу шва.

Обмеження вмісту в покритті окислів лужних та лужноземельних металів за рахунок вибору оптимального співвідношення компонентів покриття також сприяє обмеженню текучості шлаку.

Зменшення розбризкування розплавленого металу в процесі зварювання досягається завдяки зменшенню стиснення стовпа дуги парами води, які виділяються з мінералів-пластифікаторів, що містять кристалізаційну та конституційну вологу в своїй структурі, та газами; які утворюються при згоранні органічних пластифікаторів. Як видно з вище приведенного опису, в покритті запропонованого електроду таких матеріалів міститься в 1,5...2 рази менше, чим в покритті електроду прототипу (6...9 мас. % проти 9...18 мас. %).

Нарешті, більш сприятливі санітарно-гігієнічні показники запропонованого електроду зумовлені:

- зменшенням вмісту окислів заліза в покритті (завдяки зменшенню вмісту ільменітового концентрату), тобто його окислювального потенціалу;
- підвищенням кислотності шлаку, завдяки високому вмісту в ньому діоксиду кремнію.

Обидва згадані фактори сприяють зменшенню виділення ТСЗА та вмісту в ній високотоксичних сполук марганцю [див. Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов. (И.К. Походня, В.Н. Горленюк, С.С. Миличенко и др., под ред. И.К. Походни, Киев, Наукова думка, 1990, 224с. Глава третья, С. 134-152)].

Межі вмісту кварцового піску в покритті (9...11 мас. %) вибрані із умови необхідності забезпечення невисокої текучості розплавленого шлаку та можливості візуального контролю зварником зварювальної ванни з метою запобігання зашлаковування металу шва. Вміст кварцового піску пов'язаний з вмістом ільменітового концентрату в покритті. Максимальному вмісту останнього (35 мас. %) відповідає максимальний вміст кварцового піску (11 мас. %), мініимальному вмісту ільменітового концентрату (30 мас. %) відповідає мініимальний вміст кварцового піску (9 мас. %). Лише при таких умовах забезпечується оптимальний рівень текучості шлаку. При зниженні вмісту кварцового піску нижче 9 мас. % текучість шлаку зростає, що підвищує ймовірність зашлаковування металу шва. При підвищенні вмісту кварцового піску вище 11 мас. % в'язкість шлаку зростає настільки, що неможливо забезпечити задовільне формування металу шва при зварюванні на вертикальній площині.

Межі вмісту ільменітового концентрату в покритті (30...35 мас. %) вибрані із умови необхідності забезпечення оптимальної текучості рідкого шлаку, хорошого формування металу шва при зварюванні у різних просторових положеннях, та зменшення кількості аерозолу, що виділяється при зварюванні.

Зменшення вмісту ільменітового концентрату нижче 30 мас. % призводить до погіршення якості формування металу шва при зварюванні на вертикальній площині та стельовому положенні. При збільшенні вмісту ільменітового концентрату вище 35 мас. % зростає текучість шлаку, що призводить до погіршення формування металу шва, збільшення ймовірності зашлаковування металу шва та росту виділення зварювального аерозолу.

Межі вмісту карбонатів лужноземельних металів в покритті (7...11 мас. %) вибрані із умови необхідності забезпечення достатнього газового захисту ванни розплавленого металу вуглекислим газом, який утворюється при дисоціації карбонату, від шкідливого впливу газів навколишньої атмосфери (азоту, кисню). При зниженні вмісту карбонатів лужноземельних металів нижче 7 мас. % не забезпечується надійний газовий захист розплавленого металу, в ньому зростає вміст кисню та азоту, що призводить до зниження механічних властивостей металу шва. При підвищенні вмісту карбонатів лужноземельних металів вище 11 мас. % зростає текучість рідкого шлаку за рахунок збільшення в ньому вмісту основних окислів (CaO , MgO), що погіршує формування металу шва, можливість контролю зварювальної ванни та збільшує ймовірність утворення дефектів металу шва типу "непроварів" та зашлаковувань.

Межі вмісту польовошпатових матеріалів (6...8 мас. %) вибрані із умови забезпечення необхідних фізико-хімічних властивостей, шлаку, що утворюється при плавленні покриття електроду, в першу чергу зменшення його текучості в розплавленому стані, а також забезпечення стабільного горіння дуги при зварюванні за рахунок наявності окислів лужних металів (K_2O , Na_2O), що в ньому містяться. При зниженні вмісту польового шпату в покритті нижче 6 мас. % кількості діоксиду кремнію, що він вносить наряду з кварцовим піском; не вистачає для зв'язування окислів заліза які містяться в шлаку комплексні сполуки-силікати, і в цьому випадку розплавлений шлак характеризується підвищеною текучістю, що призводить до погіршення формування металу шва та збільшення ймовірності утворення в ньому дефектів. Крім того, внаслідок зменшення в покритті вмісту окислів лужних металів погіршується стабільність горіння дуги. При підвищенні вмісту польового шпату більше 8 мас. % шлак в розплавленому стані стає занадто в'язким, що призводить до погіршення формування металу шва.

Межі вмісту феросплавів на основі марганцю та кремнію (14...17 мас. %) вибрані із умови забезпечення оптимального вмісту в наплавленому металі марганцю (0,50...0,70 мас. %) та кремнію (не більше 0,20 мас. %), при якому забезпечуються необхідні механічні властивості - тимчасовий опір на розрив 450...500 МПа, ударна в'язкість на рівні 100...140 Дж/см², відносне подовження металу шва не нижче 20%. Нижня межа вмісту феросплавів на основі марганцю та кремнію зумовлена необхідністю забезпечення заданого хімічного складу та механічних властивостей наплавленого металу, верхня межа-значним, зростанням міцності та зменшенням пластичності наплавленого металу внаслідок зростання в ньому вмісту кремнію і марганцю вище вказаних величин.

Межі вмісту мінеральних та органічних пластифікаторів (6...9 мас. %) вибрані із умови забезпечення необхідних технологічних властивостей обмазувальної маси (достатньо висока пластичність в процесі екструзії та міцність сирого покриття).

При зниженні вмісту мінеральних та органічних пластифікаторів нижче 6 мас. % не забезпечується необхідний рівень пластичності обмазувальної маси, що призводить до збільшення кількості бракованих електродів, а також примушує виконувати екструзію маси із Головки електроодобмазувального преса при занадто високому тиску масла в гідроциліндрі, що може викликати руйнування агрегату. При збільшенні вмісту мінеральних та органічних пластифікаторів вище 9 мас. % зростає розбризкування металу. Це зумовлено попаданням в атмосферу дуги великої кількості парів води та газів, які утворюються при нагріванні пластифікаторів та згорянні органіки, що відмічалось вище. Ці гази стискають стовп дуги, що призводить до росту напруги на дузі та зростанню розбризкування. Межі вмісту сухого залишку водорозчинного силікату (8...11 мас. %) вибрані головним чином із умови забезпечення необхідної консистенції та технологічних властивостей (пластичності, міцності в сирому стані та ін) обмазувальної маси, придатної для якісного нанесення покриття на дріт. При зниженні вмісту сухого залишку нижче 8 мас. % обмазувальна маса втрачає пластичність і стає непридатною для якісного виготовлення електродів. При підвищенні вмісту сухого залишку більше 11 мас. % обмазувальна маса стає занадто м'якою, що призводить до значного росту браку електродів в процесі їх виготовлення.

Введення в запропоноване покриття залізного порошку сприяє його більш рівномірному плавленню в процесі зварювання, стабілізації дугового розряду та зменшенню розбризкування металу (див. D.L Mathias, The use of Iron-Powder Electrodes in the USA, "Industry Information", №6, 1958). Межі вмісту залізного порошку в покритті складають 8...12 мас. % і залежать лише від вмісту в покритті всіх інших матеріалів разом взятих.

Межі коливання величини коефіцієнту маси покриття (35...55%) вибрані із умови забезпечення надійного газозлакового захисту металу зварювальної ванни від газів навколишньої атмосфери (азоту, кисню) та необхідного комплексу зварювально-технологічних властивостей електроду (стабільного процесу зварювання, доброго формування металу шва, відсутності в ньому непроварів, підрізів та ін.). При коефіцієнті маси покриття менше 35% не забезпечується надійний захист-металу зварювальної ванни, в ньому зростає вміст кисню, зменшується нижче заданих норм вміст марганцю, що призводить до погіршення механічних властивостей металу шва. Крім того при зварюванні на низьких режимах (низька сила зварювального струму), наприклад, при зварюванні на вертикальній площині процес зварювання протікає не стабільно внаслідок примерзання каплі металу, що утворюється на торці електроду, до виробу. Цей дефект пов'язаний з надто малим розміром "чохла", який утворюється на торці електроду при малій товщині покриття (малий коефіцієнт маси покриття), внаслідок чого капля не встигнувши відірватися від електрода перекидає міждуговий простір 1 примерзає до виробу.

При коефіцієнті маси покриття більше 55% в процесі зварювання утворюється настільки багато шлаку, що він погіршує формування металу шва, особливо на вертикальній площині та в-стельовому положенні, та підвищує ймовірність утворення таких дефектів як підрізи та зашлаковування.

Перевірка винаходу виконувалась таким чином:

На стрижні із зварювального дроту марки Св-08А по ГОСТ 2246-70 діаметром 4 мм наносили покриття. При приготуванні обмазувальної маси використовували калій-натрійове рідке скло з модулем 2,97 та густиною 1445 кг/м³, кількість рідкого скла, яке добавляли до сухої шихти становило 22...29%. Електроди після виготовлення сушилися при температурі 180±10°C впродовж 1 години. Склад покриття електрода-прототипу та запропонованого приведені в табл. 1, причому варіанти 01...03 містять компоненти в кількості, що заявляються формулою винаходу, а варіанти 04...08 містять компоненти в кількості, що виходить за межі формули винаходу.

В процесі виготовлення електродів було встановлено, що електроди варіанту 08 з сухим залишком на рівні 7%, що еквівалентно добавці в обмазувальну масу приблизно 18...18,5% рідкого скла, виготовити практично неможливо, оскільки така маса має дуже низьку пластичність і нанести її на дріт на існуючих електроодобмазувальних агрегатах неможливо. Електроди варіантів 01...07 (табл. 1) були виготовлені, просушені і піддані випробуванням. Випробування електродів проводили при зварюванні перемінним струмом, сила зварювального струму становила 180...190А. В ході випробувань визначали хімічний склад та механічні властивості наплавленого металу (табл. 2), визначали коефіцієнт набризкування та оцінювали зварювально-технологічні властивості електродів (формування металу шва, схильності електродів до зашлаковування металу шва, яка залежить від текучості шлаку) (табл. 3), визначали санітарно-гігієнічні показники електродів - інтенсивність та питомі виділення ТСЗА (табл.4).

Механічні властивості наплавленого металу оцінювали по показникам тимчасового опору на розрив і відносному подовженню, які визначали на візрях типу II по ГОСТ 6996 при випробуваннях на статичне розтягування при температурі +20°C, та по величині ударної в'язкості, яка визначалась при випробуваннях на ударний вигин візрів типу VI по ГОСТ 6996 (надріз по Менаже) при температурі +20°C.

Хімічний склад наплавленого металу визначали згідно вимог ГОСТ 9466-75.

Як видно з результатів випробувань зварювальні електроди варіантів 01...03 забезпечують заданий рівень хімічного складу та механічних властивостей наплавленого металу.

Результати оцінки зварювально-технологічних властивостей електродів (див. табл. 3) показали, що лише варіанти 01...03 одночасно забезпечують добре формування металу шва, незначну схильність електроду до зашлаковування металу шва та мінімальну величину коефіцієнту набризкування, і переважають по комплексу цих показників як прототип, так і електроди з покриттям 04...07.

Як видно з даних, приведених у табл. 4, по рівню санітарно-гігієнічних показників варіанти 01...03 також переважають як прототип, так і електроди з покриттям 04...07.

Розглянуті результати випробувань дозволяють зробити висновок про правильність вибраних меж вмісту компонентів в покритті запропонованого зварювального електроду.

Запропонований зварювальний електрод, призначений для зварювання конструкцій із низьковуглецевих сталей в усіх просторових положеннях перемінним та постійним струмом, має ряд технічних переваг у порівнянні з прототипом: кращі зварювально-технологічні властивості, забезпечує менше розбризкування металу та кращі санітарно-гігієнічні показники, що в цілому сприяє покращанню умов праці зварників, та забезпеченню більш високої якості та надійності зварних конструкцій.

Таблиця 1

Склад покриття прототипу та запропонованого електроду

Найменування компонентів покриття	Вміст компонентів у покритті, мас. %								Прототип
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	
Ільменітовий концентрат	35,0	33,0	30,0	36,0	29,0	32,0	33,0	33,0	36...45
Карбонати лужно-земельних металів	7,0	9,0	11,0	7,0	12,0	5,0	9,0	9,0	6...11
Феросплави на основі марганцю та кремнію	17,0	15,0	14,0	17,0	13,0	18,0	15,0	15,0	14...20
Мінеральні та органічні пластифікатори	6,0	8,0	9,0	6,0	8,0	5,0	10,0	8,0	9...18
Польовошлатові матеріали	8,0	7,0	6,0	8,0	9,0	7,0	5,0	7,0	11...15
Кварцовий пісок	11,0	10,0	9,0	8,0	12,0	10,0	10,0	9,0	відсутній
Залізний порошок	5,0	10,0	12,0	7,0	7,0	11,0	7,0	11,0	відсутній
Сушений залишок розчинного силікату	11,0	8,0	9,0	11,0	10,0	12,0	11,0	7,0	9...11

Таблиця 2

Механічні властивості та хімічний склад металу, наплавленого електродами в залежності від складу його покриття

Індекс покриття	Механічні властивості наплавленого металу			Хімічний склад наплавленого металу, мас. %				
	Тимчасовий опір розриву МПа	Відносне подовження, %	Ударна в'язкість при T=+20 °C	C	Mn	Si	S	P
D1	490	27,8	138	0,08	0,68	0,14	0,023	0,031
D2	478	28,3	132	0,08	0,62	0,11	0,021	0,029
D3	472	26,6	124	0,07	0,59	0,12	0,022	0,028
D4	485	23,8	118	0,07	0,64	0,13	0,022	0,032
D5	448	22,3	115	0,07	0,48	0,10	0,025	0,027
D6	510	19,8	108	0,09	0,74	0,15	0,020	0,034
D7	480	27,4	128	0,08	0,60	0,11	0,023	0,029
D8	Обмазувальна маса не пластична, виготовити електроди неможливо							
Прототип	464	26,0	120	0,07	0,61	0,11	0,021	0,027

Таблиця 3

Вплив складу покриття на розбризкування металу та зварювально-технологічні властивості електроду

Індекс покриття	Коефіцієнт розбризкування, %	Зварювально-технологічні властивості електроду	
		Оцінка схильності електроду до зашлаковування металу шва	Оцінка формування металу при зварюванні
D1	2,6 ± 0,4	незначна	добре
D2	2,7 ± 0,5	незначна	добре
D3	2,5 ± 0,6	незначна	добре
D4	2,5 ± 0,7	посередня	незадовільне
D5	2,8 ± 0,8	посередня	незадовільне
D6	2,3 ± 0,6	посередня	задовільне
D7	5,8 ± 0,7	незначна	задовільне
D8	—	Електроди неможливо було виготовити через погану пластичність обмазувальної маси	
Прототип	4,0 ± 0,7	посередня	задовільне

Таблиця 4

Вплив складу покриття на інтенсивність та питомі виділення твердої складової зварювального аерозолі (ТСЗА)

Індекс покриття	Інтенсивність виділення ТСЗА, г/хв.	Питомі виділення ТСЗА, г/кг
D1	$0,48 \pm 0,05$	$11,20 \pm 0,50$
D2	$0,46 \pm 0,05$	$10,60 \pm 0,48$
D3	$0,41 \pm 0,04$	$9,80 \pm 0,45$
D4	$0,64 \pm 0,07$	$12,80 \pm 0,70$
D5	$0,61 \pm 0,06$	$12,10 \pm 0,67$
D6	$0,59 \pm 0,06$	$12,00 \pm 0,65$
D7	$0,73 \pm 0,09$	$13,20 \pm 0,70$
D8	Електроди неможливо було виготовити через погану пластичність обмазувальної маси	
Прототип	$0,95 \pm 0,10$	$14,00 \pm 1,50$

Тверда складова зварювального аерозолі відбиралась на фільтри при зварюванні електродами $\varnothing 4,0$ мм, перемінний струм, сила струму 180-190 А.