

## Сварочные электроды с применением углеродосодержащего раскислителя и минерального сырья Украины

*Украинская инженерно-педагогическая академия*

Разработан состав покрытия ильменитовых электродов с использованием в качестве газошлакообразующих компонентов цеолита и мергеля, а в качестве дополнительного раскислителя - углерода в составе чугунного порошка. Разработанные электроды обладают высокими сварочно-технологическими свойствами, а наплавленный металл по механическим свойствам соответствует типу Э46 по ГОСТ 9466.

**Ключевые слова:** цеолит, мергель, углерод, чугунный порошок, раскисление, сварочно-технологические свойства, ильменит.

В настоящее время все шире проводятся исследования по поиску дешевого регионального сырья, пригодного для производства сварочных электродов. Это вызвано острым дефицитом ряда шихтовых материалов, а также трудностями с поставками многих видов сырья из стран СНГ [1].

Актуальным является поиск заменителей слюды мусковит, мрамора и магнезита при производстве ильменитовых электродов.

В качестве заменителя слюды мусковит представляют интерес для исследования природных минералов – цеолиты, залежи которых на Украине (около 1 млрд. т) сосредоточены в Закарпатской области (Хустский и Раховский районы).

Наиболее распространенными разновидностями природных цеолитов являются клиноптиолит и морденит. Их химические составы приведены в табл. 1.

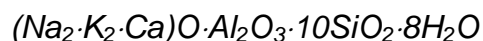
Таблица 1.

Содержание основных химических компонентов в составе природных цеолитов месторождений Закарпатья

Наименование составляющих	Массовая доля, %				
	В клиноптилолите			Ганичском месторожд.	Мордените Липчанском месторожд.
	Сокирницком (по сортам месторожд.)				
	А	Б	В		
Содержание цеолита в породе:	71–85	59–62	60–65	60–80	80–96
SiO <sub>2</sub>	70,97	72,04	69,97	71,18	64,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,1	12,35	14,33	12,79	12,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	0,89	0,99	1,6	1,22	1,78
CaO + MgO	4,12	4,23	4,10	1,48	4,26
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,014	0,028	0,020	0,036	0,070
K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	3,03	2,36	3,97	5,98	2,97
РЗМ иттриевой и цериевой групп	1,5	1,62	1,58	1,8	1,6

В природных цеолитах наряду с основными содержатся и сопутствующие минералы. Так, в цеолитизированном туфе сорта А Сокирницкого месторождения находится 10...15 % монтмориллонита (глинистого минерала), 2...10 % полевых шпатов, кварца и слюды, до 2 % карбонатов; в туфе сорта Б имеется 15...40 % глинистого минерала и 3...6 % полевых шпатов, кварца и слюды, а в туфе сорта В – соответственно 10...20 % глинистого минерала и 10...30 % полевых шпатов, кварца и слюды, поэтому цеолит сорта В наиболее песчанистый, по сравнению с остальными.

Типичная оксидная формула цеолита имеет вид



В отличие от слюды мусковит, представляющей собой алюмосиликат калия  $(K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2) \cdot H_2O$ , имеет такой химический состав:  $SiO_2$  40...45 %,  $Al_2O_3$ , 37...38,5 %,  $K_2O$  11...12 %;  $MgO$  0,5...1 %;  $S \leq 0,04$  %;  $P \leq 0,03$  %;  $H_2O \approx 4,5$ %, в цеолите содержится большее количество  $SiO_2$ , меньше  $Al_2O_3$ , кроме того, содержится  $CaCO_3$  10 %,  $Na_2O$  0,5 % и другие минералы.

Использование цеолита в покрытии обеспечивает эффект комплексного действия алюмосиликатов кальция, калия и натрия, что способствует повышению сварочно-технологических свойств электродов [2].

В процессе нагрева цеолита в интервале 200...1100°C происходит выделение имеющейся в его структуре кристаллизационной воды, что позволяет подавить процесс восстановления кремния и переход кремния в металл шва, что в свою очередь снижает склонность швов к водородной пористости.

Образующиеся в процессе плавления цеолита продукты на основе алюмосиликатов увеличивают вязкость шлака. Повышенное содержание оксида кремния в цеолите увеличивает напряжение сварочной дуги, что интенсифицирует процесс плавления электрода.

Цеолит изменяет коэффициент термического расширения (КТР) шлака и тем самым способствует его растрескиванию и самопроизвольному отделению.

Содержание в цеолите редкоземельных металлов, а также оксидов щелочных металлов снижает потенциал ионизации дуги, стабилизирует ее горение на переменном токе.

Таблица 2

Содержание основных химических компонентов в составе природных мергелей месторождений Украины, %

Наименование минерала	Потери при прокалке, %	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	CaO	MgO	$K_2O$	$Na_2O$
Глинистый минерал Мергель Амвросиевский произв. № 1	35,16	13,49	3,19	1,44	42,26	2,26	0,6	0,53
произв. № 2	35,23	15,77	2,67	1,37	43,29	0,6	0,64	0,47
Мергель Бахчисарай	34,66	17,58	2,29	1,1	42,15	0,81	0,57	0,49
	30,9	20,15	6,03	2,42	37,14	1,73	0,95	0,8

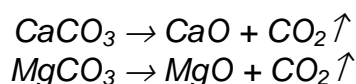
Наличие в цеолите карбоната кальция (примерно 10 %) выполняет роль газошлакообразующего компонента, улучшающего газовую защиту сварочной ванны за счет выделения  $\text{CO}_2$ .

К недостаткам цеолита следует отнести отсутствие эффекта пластифицирования обмазочной массы, которым обладает слюда мусковит, поэтому при его использовании необходимо дополнительно вводить в состав шихты такие пластификаторы, как глина, тальк, КМЦ, сода и др.

Представляет интерес использование в качестве заменителя мрамора и магнезита в электродных покрытиях природного минерала мергеля (табл. 2), являющего глинисто-карбонатную породу, содержащую 50...70 % карбонатных минералов (кальцита, доломита) и 25...50 % глинистых минералов.

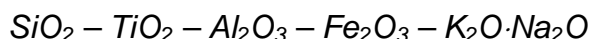
Использование мергеля позволяет комплексно вводить карбонаты и алюмосиликаты, что обеспечивает повышение сварочно-технологических свойств электродов.

В процессе нагрева мергеля в зоне сварочной дуги происходит ступенчатая диссоциация при температурах примерно 500 и 900°C с выделением углекислого газа по реакциям



Выделяющийся углекислый газ обеспечивает газовую защиту расплавленного металла, что способствует повышению механических характеристик металла шва. Образующиеся основные оксиды  $\text{CaO}$  и  $\text{MgO}$  способствуют обессериванию расплавленного металла, улучшают отделимость шлаковой корки.

Содержащийся в мергеле глинистый минерал системы



улучшает пластичность обмазочной массы, отделимость шлака, формирование металла шва, а также повышает стабильность горения дуги благодаря наличию щелочных металлов K и Na.

Недостатком ильменитовых электродов является большое количество образующегося в процессе сварки шлака, затрудняющего сварку тавровых и угловых соединений, ухудшенная отделимость шлака, особенно при сварке тавровых соединений и в узкую разделку, недостаточно высокие пластические свойства и ударная вязкость наплавленного металла, особенно при низких температурах.

Задачей данной работы явилось создание электрода с ильменитовым видом покрытия для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей с повышенными сварочно-технологическими свойствами, высокой производительностью и высоким качеством сварных швов. Поставленная задача решалась путем изменением шлаковой и газовой системы защиты металла шва компонентами электродного покрытия, а также изменением раскислительной системы покрытия ильменитовых электродов за счет использования в качестве раскислителя углерода, входящего в состав чугунного порошка.

Для усовершенствования газошлаковой системы покрытия в его состав, содержащий ильменитовый концентрат, тальк, ферромарганец и глину,

дополнительно ввели цеолит, мергель, древесную муку и углерод в составе чугунного порошка. На основании расчета по формуле [3]

$$(\% \text{Ч.П.})_{\text{max}} = \frac{0,12 \dots 0,137 \frac{(\% \text{FeMn})}{(\% \text{Ильм})}}{0,006}$$

определено, что при содержании в покрытии электродов 15...18% FeMn и 40...50% ильменитового концентрата (как наиболее часто используемых количеств в ильменитовых электродах) оптимальным с точки зрения обеспечения в наплавленном металле 0,06...0,12 % [C] будет содержание в покрытии электродов 7...12 % чугунного порошка.

Для оптимизации сварочно-технологических свойств и механических характеристик наплавленного металла было изготовлено и испытано пять вариантов электродов диаметром 4 мм на проволоке св08А с различным содержанием используемых компонентов.

Для сварки использовались пластины из стали Вст3сп. Сварка проводилась в нижнем положении в соответствии с требованиями ГОСТ 9466.

Механические свойства наплавленного металла исследовались на образцах в соответствии с ГОСТ 6996.

В результате испытаний установлено, что введение перечисленных компонентов в приведенных количествах и общем соотношении в покрытии обеспечило получение сверхсуммарного эффекта, выразившегося в улучшении сварочно-технологических свойств электродов, химического состава и механических характеристик наплавленного металла.

Оптимальный состав покрытия выбран для дальнейших более глубоких и обширных исследований.

Электроды с ильменитовым покрытием характеризуются мелкокапельным переносом расплавленного металла и устойчивым горением сварочной дуги. Они допускают сварку на постоянном и переменном токе. При этом обеспечиваются отличное формирование швов с плавным переходом к основному металлу, малая потери металла на разбрызгивание, легкая отделимость шлаковой корки, малую склонность металла шва к образованию подрезов и кристаллизационных трещин. Ильменитовые электроды с чугунным порошком предназначаются для сварки во всех пространственных положениях преимущественно в монтажных условиях.

Новые электроды можно применять наряду с универсальными рутиловыми (АНО-4, МР-3, ОЗС-4 и др.) и для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей. По производительности разработанные электроды равноценны рутиловым.

Склонность металла шва к образованию горячих трещин определялась при сварке жестких тавров [4] из стали БСт4кп по ГОСТ 380. Испытания показали, что по склонности к образованию кристаллизационных трещин электроды ИНСО-6 находятся на одном уровне с электродами АНО-4 и МР-3. По свойствам металла шва электроды ИНСО-6 находятся на уровне требований, предъявляемых к электродам типа Э-46 по ГОСТ 9467. Ударная вязкость металла шва выше, чем у электродов АНО-6.

Химический состав наплавленного металла соответствует полуспокойной стали и содержит: 0,06...0,1 % С; 0,6...0,8 % Мn; 0,08...0,18 % Si; Р и S не более 0,035 % каждого.

Благодаря меньшему содержанию ферромарганца и кремнезема в покрытии электроды ИНСО-6 характеризуются более благоприятными санитарно-гигиеническими характеристиками по сравнению с ильменитовыми электродами АНО-6 и находятся практически на одном уровне с рутиловыми [5]. Выделение небольшого количества  $CO_2$  обусловлено процессом обезуглероживания чугунного порошка.

### Выводы

1. Разработаны ильменитовые электроды с использованием в качестве раскислителя чугунного порошка и нового минерального сырья Украины.

2. Электроды обладают повышенным качеством металла шва и улучшенными сварочно-технологическими свойствами на уровне электродов с рутиловым видом покрытия. Механические свойства металла шва соответствуют типу Э-46 по гост 9467.

### Список литературы

1. Игнатченко, В.П. Состояние и тенденции развития производства сварочных материалов в странах СНГ [Текст] / В.П. Игнатченко, А.И.Бугай // Сб. докл. 1-й Международной конференции по сварочным материалам стран СНГ. – Краснодар, 22–26 июня 1998 г. – М., 1998. – С. 15–20.

2. Состав электродного покрытия: Пат. 22622. Украина, МКИ В 23К 35/36 / Н.Г. Ефименко, Н.А. Калин № 1233332; Заявлено 12.12.93; Опубл. 14.05.96, Бюл. № 11.

3. Ефименко, Н.Г. Расчет оптимального содержания углерода и марганца в электродных покрытиях ильменитового вида [Текст] / Н.Г. Ефименко, Н.А. Калин. // Автоматическая сварка. – 2001. - № 11. – С. 43-46.

4. Сварка в машиностроении [Текст] / справ. / под ред. А. И. Акулова – М.: Машиностроение, 1978 - т. 2. – 1978. – 462 с.

5. Закс, И.А. Санитарно-гигиенические характеристики электродов для дуговой сварки сталей (обзор). Ч. 1. Электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей [Текст] / И.А. Закс // Сварочное производство. – 1991. - № 8. – С. 31–33

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.И. Костюк, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

Поступила в редакцию 07.06.2013

## **Зварювальні електроди з використанням вуглецевміщуючого розкислювача і мінеральної сировини України**

Розроблено склад покриття ільменітових електродів з використанням якості газошлакоутворюючі компоненти цеоліту й мергелю, а якості додатковий розкислювач- вуглець у складі чавунного порошку. Розроблені електроди мають високі зварювально-технологічні властивості, а наплавлений метал за механічними властивостями відповідає типу Э46 за ГОСТ 9466.

**Ключові слова:** цеоліт, мергель, вуглець, чавунний порошок, розкислення, зварювально-технологічні властивості, ільменіт.

## **Welding electrodes using carbon-scavenger and mineral resources of Ukraine**

A composition of ilmenite electrode coatings using zeolite as a gazošlakooobrazuûših component and marl as well as additional carbon in deoxidizers-iron powder. Designed electrodes have high welding technological properties and mechanical properties of deposited metal is of the type È46 in accordance with GOST 9466.

**Keywords:** zeolite, marl, carbon, iron powder, deoxidation, welding technological properties, ilmenite.