



## САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОКРЫТЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СВАРКИ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО**, **О. Г. ЛЕВЧЕНКО**, д-р техн. наук, **А. В. БУЛАТ**, канд. техн. наук,  
**О. Н. БЕЗУШКО**, **В. И. САМОЙЛЕНКО**, **В. В. МИСЕЧКО**, инженеры  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены результаты исследований гигиенических характеристик аэрозолей, образующихся при сварке покрытыми электродами высоколегированных хромоникелевых сталей. Показано, что они определяются содержанием легирующих элементов в стержне и покрытии электродов, видом электродного покрытия, способом раскисления-легирования металла шва и составом газошлакообразующей основы покрытия. Изменив эти факторы, можно снижать уровень выделений и токсичность сварочных аэрозолей.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, высоколегированные стали, покрытые электроды, сварочные аэрозоли, химический состав, токсичность

Дуговая сварка высоколегированных хромоникелевых сталей характеризуется загрязнением воздуха рабочей зоны сварочными аэрозолями (СА), содержащими вредные для организма человека вещества различных классов опасности (ГОСТ 12.1.005–88): I — шестивалентный хром и никель; II — марганец и фториды растворимые; III — трехвалентный хром и фториды нерастворимые. Минимизация выделений СА и наиболее токсичных компонентов в их составе является актуальной задачей, которую необходимо решать как на стадии разработки новых сварочных электродов, так и в процессе их использования.

Настоящая работа посвящена гигиенической оценке известных и новых марок покрытых электродов, предназначенных для сварки высоколегированных сталей, а также поиску способов снижения токсичности СА.

Отбор проб СА для гигиенической оценки электродов осуществляли в процессе наплавки валиков исследуемыми электродами на пластины из стали X18N10T. В качестве источника питания сварочной дуги использовали выпрямитель ВДУ-504. Наплавку выполняли постоянным током обратной полярности на оптимальных режимах. Улавливание СА осуществлялось с помощью специального укрытия, изолирующего зону сварки. При этом, согласно методическим указаниям [1, 2], СА осаждались на фильтры из ткани ФПП-15-1,5 при оценке уровней выделений и на фильтры АФА-ХА-18 для последующего химического анализа проб СА. Массу выделяющихся СА и их компонентов определяли весовым методом. Для этого отбирали не менее пяти проб СА. Резуль-

таты исследований подвергали статистической обработке [3].

Уровень выделений СА определяется двумя показателями: интенсивностью их образования  $V_a$  (г/мин) и их удельным выделением  $G_a$  (г/кг). Токсичность СА рассчитывали по методике МИС [4, 5] с использованием такого показателя, как предельно допустимая концентрация СА  $TLV_f$  (мг/м<sup>3</sup>):

$$TLV_f = \frac{100}{\frac{C_1}{TLV_1} + \frac{C_2}{TLV_2} + \dots + \frac{C_i}{TLV_i}},$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_i$  — содержание 1-го, 2-го, ...,  $i$ -го компонентов в СА, мас. %;  $TLV_1, TLV_2, \dots, TLV_i$  — предельно допустимая концентрация этих компонентов в воздухе рабочей зоны (показатель токсичности), мг/м<sup>3</sup>. Отметим, что с увеличением  $TLV_f$  токсичность СА снижается. В качестве общего критерия уровня выделения СА и их токсичности использовали такой показатель, как номинальное гигиеническое требование к воздухообмену  $NHL$  (м<sup>3</sup>/ч):

$$NHL = V_a / TLV_f$$

В соответствии с методическими указаниями [2] наличие в составе СА веществ, содержащих марганец, никель, титан, представлено в виде химических элементов, соединений хрома в пересчете на  $CrO_3$  и  $Cr_2O_3$ , и фторидов растворимых  $F_{\text{раств}}$  и нерастворимых  $F_{\text{нераств}}$  в пересчете на фтор. В связи с тем, что указанная в [2] методика не позволяет определить содержание всех компонентов СА, для приведения их состава к 100 % сделано следующее допущение: кроме выявленных компонентов, остаток СА представляют собой оксиды железа.

**Таблица 1. Конструктивные особенности покрытия электродов для ручной дуговой сварки высоколегированных коррозионностойких сталей и соединений разнородных сталей**

Марка электрода (диаметр, мм)	Тип электрода (ГОСТ 10052-75)	Вид электродного покрытия (ГОСТ 9466-75)	Способ раскисления-легирования металла шва	Газошлакообразующая основа покрытия
ОЗЛ-6 (3) АНВ-70Б (3) АНВ-70Б (4) FOX FF (4) FOX FFA (4)	Э-10Х25Н13Г2	Основной » » » Рутил-основной	Через электродный стержень и покрытие	CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub>
АНВ-66 (3) АНВ-66 (4) НИИ-48Г (4)	Э-10Х20Н9Г6С	Основной	Хромом и никелем через стержень и покрытие, марганцем через покрытие хромом, никелем и марганцем через стержень	CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub>
АНВ-17у (3) АНВ-17 (3) НЖ-13 (3) ЭА-400/10у (3)	Э-02Х19Н18Г5АМ3 Э-02Х19Н18Г5АМ3 Э-09Х19Н10Г2М2Б Э-07Х19Н11М3Г2Ф	Рутил-основной » Основной »	Через электродный стержень » »	TiO <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub>
АНВ-65у (3) ЦЛ-11 (3) INOX В 19/9Nb (3,25)	Э-08Х20Н9Г2Б	Основной » Рутил-основной	Через электродный стержень и покрытие	CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub>
ОЗЛ-8 (3) АНВ-57 (3) АНВ-29 (3)	Э-07Х20Н9	Основной » Рутил-основной	Через электродный стержень и покрытие Через электродное покрытие Через электродный стержень и покрытие	CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub> TiO <sub>2</sub> -CaF <sub>2</sub> -CaCO <sub>3</sub>

Примечание. Электроды НЖ-13 и ЭА-400/10у по своему назначению аналоги электродов АНВ-17.

Для удобства интерпретации результатов исследований характеристики электродов, приведенные в табл. 1, разделены по типу наплавленного металла, виду газошлакообразующей основы покрытия и способу раскисления-легирования металла шва.

Результаты определения химического состава, интенсивности и удельных выделений СА (табл. 2-4) показали, что суммарное содержание трех- и шестивалентного хрома, никеля, марганца и фторидов в составе СА повышается с увеличением содержания указанных элементов в составе электродов. Вместе с тем обнаружено, что, чем больше в наплавленном металле и соответственно в СА марганца (III класс опасности), тем меньше в составе СА канцерогенного шестивалентного хрома (I класс опасности). Это, по-видимому, можно объяснить восстанавливающим действием марганца по реакции:  $CrO_3 + 3Mn \rightarrow Cr_2O_3 + 3MnO$ . На примере электродов АНВ-17 и АНВ-17у видно, что при легировании металла шва марганцем только через электродный стержень, его содержание в СА достигает максимальных значений (соответственно 6,50 и 6,82 мас. %), а шестивалентного хрома — минимально (1,56 мас. %).

Анализ полученных результатов показал (табл. 2-4), что на уровень выделения фторидов существенное влияние оказывает вид электродного покрытия: у электродов с покрытием рутил-основного вида содержание фторидов, особенно нерастворимых, снижается. Например, при сварке электродами АНВ-2у, АНВ-17у, АНВ-17 содержание нерастворимых фторидов и показатели уровня их выделений минимальны.

**Таблица 2. Химический состав (мас. %) СА**

Марка электрода (диаметр, мм)	CrO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	Ni	F <sub>раств</sub>	F <sub>нераств</sub>
ОЗЛ-6 (3)	4,01	4,30	2,36	0,90	5,57	4,50
АНВ-70Б (3)	4,23	6,53	3,10	0,50	5,83	4,90
АНВ-70Б (4)	—	—	—	—	—	—
FOX FF (4)	4,35	2,95	1,71	0,36	6,23	5,60
FOX FFA (4)	8,07	2,52	1,86	2,52	5,36	0,24
АНВ-66 (3)	3,45	4,52	4,16	0,50	6,96	3,41
АНВ-66 (4)	—	—	—	—	—	—
НИИ-48Г (4)	4,65	0,47	5,14	1,73	6,50	6,25
АНВ-17у (3)	1,56	4,40	6,50	1,70	5,23	1,26
АНВ-17 (3)	1,56	4,65	6,82	3,40	4,01	2,73
НЖ-13 (3)	5,23	1,68	2,42	1,83	4,43	5,86
ЭА-400/10у (3)	3,92	2,40	4,14	1,44	4,41	5,59
АНВ-65у (3)	3,56	4,66	3,86	0,50	6,21	4,67
ЦЛ-11 (3)	4,61	2,49	2,93	2,44	4,77	4,87
INOX В 19/9Nb (3,25)	5,10	1,32	2,84	1,43	6,27	3,78
ОЗЛ-8 (3)	3,80	4,25	3,30	0,49	4,94	5,70
АНВ-57 (3)	4,00	4,20	5,87	1,21	7,50	4,71
АНВ-29 (3)	2,90	4,21	4,03	1,26	5,94	1,66



Таблица 3. Интенсивность образования (г/мин) СА и их компонентов

Марка электрода (диаметр, мм)	СА	CrO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	Ni	F <sub>раств</sub>	F <sub>нераств</sub>
ОЗЛ-6 (3)	0,397	0,016	0,017	0,009	0,004	0,014	0,018
АНВ-70Б (3)	0,362	0,015	0,023	0,011	0,002	0,021	0,018
АНВ-70Б (4)	0,507	0,021	0,033	0,016	0,003	0,030	0,025
FOX FF (4)	0,458	0,020	0,014	0,008	0,0016	0,029	0,026
FOX FFA (4)	0,624	0,051	0,016	0,012	0,016	0,040	0,0015
АНВ-66 (3)	0,385	0,013	0,017	0,027	0,002	0,027	0,013
АНВ-66 (4)	0,550	0,019	0,025	0,023	0,003	0,038	0,019
НИИ-48Г (4)	0,462	0,021	0,003	0,028	0,001	0,036	0,034
АНВ-17у (3)	0,305	0,005	0,013	0,020	0,005	0,016	0,003
АНВ-17 (3)	0,369	0,006	0,017	0,025	0,013	0,015	0,010
НЖ-13 (3)	0,309	0,016	0,005	0,007	0,006	0,014	0,018
ЭА-400/10у (3)	0,343	0,013	0,008	0,014	0,005	0,015	0,019
АНВ-65у (3)	0,318	0,011	0,015	0,012	0,002	0,020	0,015
ЦЛ-11 (3)	0,257	0,012	0,006	0,007	0,006	0,012	0,013
INOX В 19/9Nb (3,25)	0,319	0,016	0,004	0,009	0,005	0,020	0,012
ОЗЛ-8 (3)	0,293	0,011	0,012	0,009	0,001	0,014	0,017
АНВ-57 (3)	0,400	0,016	0,017	0,023	0,005	0,030	0,019
АНВ-29 (3)	0,315	0,009	0,013	0,012	0,004	0,019	0,003

Таблица 4. Удельные выделения (г/кг) СА и их компонентов

Марка электрода (диаметр, мм)	СА	CrO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	Ni	F <sub>раств</sub>	F <sub>нераств</sub>
ОЗЛ-6 (3)	17,16	0,68	0,73	0,40	0,15	0,61	0,77
АНВ-70Б (3)	13,58	0,57	0,88	0,42	0,07	0,79	0,66
АНВ-70Б (4)	13,40	0,57	0,88	0,42	0,07	0,78	0,66
FOX FF (4)	11,40	0,50	0,34	0,19	0,04	0,71	0,64
FOX FFA (4)	14,54	1,17	0,37	0,27	0,37	0,92	0,035
АНВ-66 (3)	12,98	0,45	0,59	0,93	0,06	0,90	0,44
АНВ-66 (4)	13,61	0,47	0,62	0,57	0,07	0,95	0,46
НИИ-48Г (4)	11,98	0,63	0,064	0,70	0,24	0,88	0,85
АНВ-17у (3)	10,47	0,17	0,46	0,68	0,17	0,55	0,09
АНВ-17 (3)	12,18	0,19	0,57	0,83	0,41	0,49	0,33
НЖ-13 (3)	10,63	0,56	0,18	0,26	0,19	0,47	0,62
ЭА-400/10у (3)	12,05	0,47	0,29	0,50	0,17	0,53	0,67
АНВ-65у (3)	10,81	0,38	0,50	0,42	0,05	0,67	0,50
ЦЛ-11 (3)	10,48	0,48	0,26	0,31	0,26	0,50	0,51
INOX В 19/9Nb (3,25)	11,85	0,60	0,16	0,34	0,17	0,74	0,45
ОЗЛ-8 (3)	10,44	0,40	0,44	0,34	0,05	0,52	0,59
АНВ-57 (3)	17,36	0,69	0,73	1,02	0,21	1,30	0,82
АНВ-29 (3)	11,39	0,33	0,48	0,46	0,14	0,67	0,06

Применение электродов одной и той же марки, но большего диаметра, а также увеличение сварочного тока приводят к более интенсивному образованию СА (см. табл. 2, электроды АНВ-70Б и АНВ-66 диаметром 3 и 4 мм).

Анализ результатов оценки токсичности СА по показателю  $TLV_f$  (табл. 5) показал, что для различных марок электродов его значения изменяются от 0,10 до 0,35 мг/м<sup>3</sup>. Максимальную токсичность имеют СА, образующиеся при сварке электродами марки FOXFFA ( $TLV_f = 0,10$  мг/м<sup>3</sup>), а минимальную — электродами АНВ-17у и АНВ-17 ( $TLV_f = 0,35$  мг/м<sup>3</sup>). Исходя из состава наплавленного металла это объясняется,

во-первых, более низким содержанием хрома в составе электродов АНВ-17у и АНВ-17, чем в составе электродов FOX FFA. Результаты химического анализа (см. табл. 2) подтверждают, что и в составе СА, образующихся при использовании электродов АНВ-17у и АНВ-17, содержание шестивалентного хрома, влияющего на токсичность аэрозолей, минимально. Кроме того, значимой закономерностью [6], определяющей переход легирующих элементов в СА, является способ раскисления-легирования металла шва. Он заключается в том, что легирование через электродный стержень обеспечивает более низкий, чем при легировании через электродное покрытие, переход

Таблица 5. Показатели токсичности  $TLV_f$  СА и воздухообмена  $NHL$ 

Марка электрода (диаметр, мм)	$TLV_f$ , мг/м <sup>3</sup>	$NHL$ , м <sup>3</sup> /ч
ОЗЛ-6 (3)	0,20	1780
АНВ-70Б (3)	0,20	1840
АНВ-70Б (4)	0,20	2570
FOX FF (4)	0,20	2340
FOX FFA (4)	0,10	5670
АНВ-66 (3)	0,20	1670
АНВ-66 (4)	0,20	2390
НИИ-48Г (4)	0,15	2700
АНВ-17у (3)	0,35	820
АНВ-17 (3)	0,35	1110
НЖ-13 (3)	0,15	1920
ЭА-400/10у (3)	0,20	1680
АНВ-65у (3)	0,20	1410
ЦЛ-11 (3)	0,15	1480
INOX В 19/9Nb (3,25)	0,15	1930
ОЗЛ-8 (3)	0,20	1340
АНВ-57 (3)	0,20	2060
АНВ-29 (3)	0,25	1220

указанных элементов в СА. При использовании электродов АНВ-17у и АНВ-17 легирование металла шва осуществляется через стержень, а FOX FFA — через стержень и покрытие.

Поскольку электроды одной марки, например АНВ-66, разных диаметров (3 и 4 мм) имеют одинаковый показатель токсичности  $TLV_f$  (табл. 5), но различные показатели уровней выделений  $V_a$  и  $G_a$ , то для более корректной сравнительной гигиенической оценки целесообразно пользоваться обобщенным показателем токсичности и уровня выделений СА —  $NHL$  [4, 5]. Поэтому этот показатель (табл. 5) для электродов одной марки (АНВ-66) диаметром 3 мм составляет 1670 м<sup>3</sup>/ч, а при диаметре 4 мм имеет более высокое значение — 2390 м<sup>3</sup>/ч. Для электродов АНВ-17у и АНВ-17, имеющих одинаковую относительную токсичность ( $TLV_f = 0,35$  мг/м<sup>3</sup>), показатель  $NHL$  меньше для электродов первой марки (1110 м<sup>3</sup>/ч), чем для второй (820 м<sup>3</sup>/ч).

Таким образом, учитывая все гигиенические показатели изученных электродов, можно сделать вывод, что среди испытанных электродов лучшими гигиеническими характеристиками отличаются электроды типа АНВ-17у.

Results of investigation of hygienic characteristics of aerosols forming in coated-electrode welding of high-alloy chromium-nickel steels are presented. It is shown that they are determined by the content of alloying elements in the electrode rod and coating, type of electrode coating, method of deoxidizing-alloying of weld metal and composition of gas-slag forming base of the coating. By changing these factors it is possible to lower the level of evolutions and toxicity of welding aerosols.

## Выводы

1. Новые электроды марок АНВ-17у, АНВ-65у, АНВ-70Б и АНВ-66 по гигиеническим характеристикам находятся на уровне лучших отечественных и зарубежных аналогов.

2. При сварке высоколегированных хромоникелевых сталей наилучшими гигиеническими характеристиками отличаются электроды с покрытием рутил-основного вида при легировании металла шва через стержень.

3. Повышение массовой доли марганца в составе электродных стержней способствует снижению в СА содержания канцерогенного шестивалентного хрома (I класс опасности), что обусловлено его восстановлением марганцем до трехвалентного состояния (III класс опасности).

4. С увеличением диаметра электродов и соответственно сварочного тока интенсивность образования СА повышается.

5. Выбор и разработка новых марок электродов для сварки высоколегированных сталей должны осуществляться на основе обязательной первичной гигиенической оценки по методике МИС с учетом показателей химического состава, уровней выделений и токсичности образующихся СА.

6. Обязательными условиями применения электродов для сварки высоколегированных хромоникелевых сталей является наличие систем местной и общеобменной механической вентиляции. Приведенные результаты гигиенической оценки электродов следует учитывать при выборе и расчете производительности систем вентиляции.

1. МУ 1927–78. Методические указания. Гигиеническая оценка сварочных материалов и способов сварки, наплавки и резки металлов. — М.: Минздрав СССР, 1980. — 15 с.
2. МУ 4945–88. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы). — М.: Минздрав СССР, 1990. — 150 с.
3. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики / Пер. с англ. В. С. Занадворова; под ред. Е. М. Четыркина. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 344 с.
4. Criteria for classification of MMA welding electrodes regarding fume. — S.I., S.a. — 13 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II-E-820–77; Doc. II-E-256–78).
5. Magnusson E. J., Rosendahl C. H. Studies of the possibilities of classifying welding electrodes according to fume generation. — S.I., S.a. — 7 p. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. II-E-301–80).
6. Головатюк А. П., Липодаев В. Н., Захаров Л. С. Сравнительная гигиеническая оценка электродов для сварки высоколегированных сталей // Автомат. сварка. — 1976. — № 3. — С. 61–63.

Поступила в редакцию 12.06.2007