

## ТОКОПОДВОДЯЩИЕ МУНДШТУКИ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СВАРОЧНЫХ ГОРЕЛОК

**В. В. ДМИТРИК**, канд. техн. наук (Укр. инж.-пед. академия, Харьков),  
**С. И. ПРИТУЛА**, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описаны конструкция и составы порошковых материалов для изготовления токоподводящих мундштуков сварочных горелок полуавтоматов, автоматов и роботов, используемых при сварке в углекислом газе. Установлено, что использование разработанных токоподводящих мундштуков позволяет значительно уменьшить их износ, увеличить стабильность процесса сварки и снизить вероятность образования дефектов в сварных швах.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, токоподводящий мундштук, ресурс, износ, порошковые материалы

Токоподводящие мундштуки (ТМ) горелок полуавтоматов, автоматов и роботов, используемых для сварки в углекислом газе и смесях газов, являются наиболее изнашиваемыми деталями (рис. 1). В зависимости от параметров режима сварки, тока, скорости сварки, геометрии разделки кромок и толщины свариваемых изделий ресурс эксплуатации традиционных медных ТМ составляет 4...9 ч, а из латуни — на 50...70 % меньше.

В процессе эксплуатации ТМ подвергаются интенсивному механическому и электроэрозионному износу (рис. 2) [1, 2]. Преимущественно износ мундштуков происходит по участку контакта внутренней поверхности канала с поверхностью наклепанной электродной проволоки, подаваемой в зону горения дуги. Ролики подающего механизма обычно оставляют на поверхности электродной проволоки вмятины, риски и следы деформации, что также способствует износу ТМ. На поверхности электродной проволоки имеют место оксидные соединения и масляные пленки. В процессе сварки

такие пленки разрушаются, приводя к увеличению контактного сопротивления и износу ТМ.

Рассматривая пару ТМ–электродная проволока как звенья цепи, по которой течет сварочный ток в зону горения дуги, представим контактное сопротивление цепи  $R_k$  в виде

$$R_k = R_{\Pi} + R_{\text{нер}},$$

где  $R_{\Pi}$  — сопротивление, обусловленное поверхностными пленками, которые образуются на контактных поверхностях и препятствуют протеканию тока;  $R_{\text{нер}}$  — сопротивление, обусловленное наличием неровностей (шероховатостей) на контактных поверхностях.

Контакт поверхностей электродной проволоки и канала ТМ происходит преимущественно по участкам гребней (рис. 2). Соприкасающиеся металлические поверхности участков контакта в различной степени обеспечивают протекание тока. Допуская, что между двумя контактирующими поверхностями находится пленка, имеющая равномерную толщину  $d$  и удельное сопротивление  $\rho_{\Pi}$ , дополнительное сопротивление в цепи сварочного тока выразим формулой

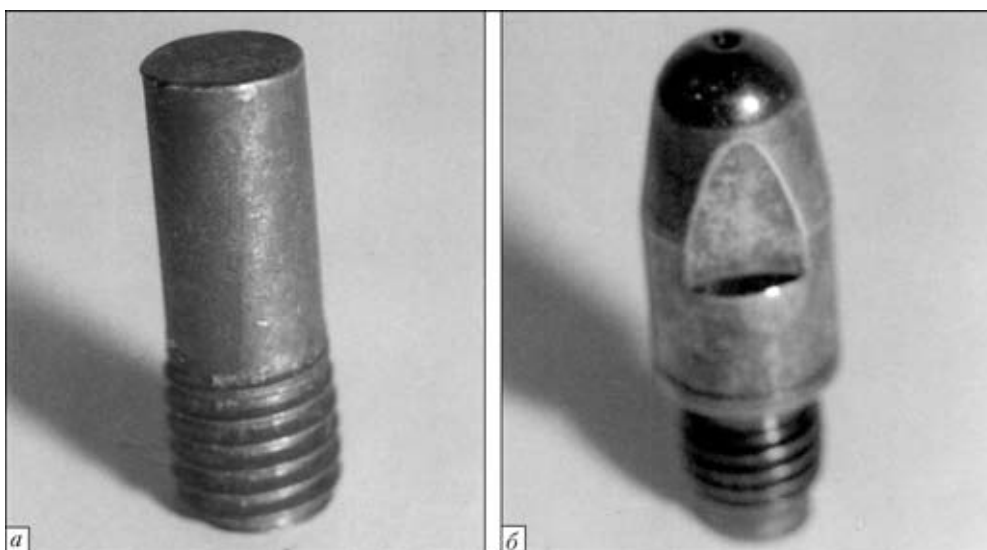


Рис. 1. Токоподводящие мундштуки из порошковых материалов: а — экспериментальный ( $\text{Cu} + \text{C} + \text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti}$ ); б — фирмы «Binzel»

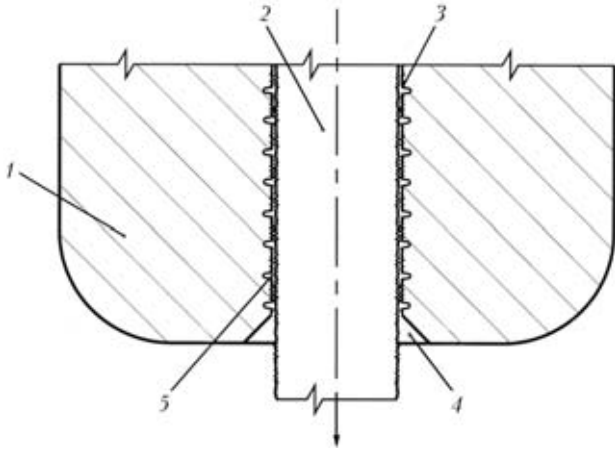


Рис. 2. Схема ТМ с электродной проволокой, подаваемой в зону горения дуги (стрелка): 1 — тело ТМ; 2 — электродная проволока; 3 — участок контакта цилиндрического канала ТМ с электродной проволокой; 4 — конусообразное отверстие, образующееся на торцевом участке канала ТМ; 5 — поверхность цилиндрического канала ТМ

$$R_{\text{п}} = \frac{\rho_{\text{п}} d}{F},$$

где  $F$  — поверхность физического контакта соприкасающихся поверхностей канала ТМ и электродной проволоки.

Вместо  $\rho_{\text{п}}$  и  $d$  подставим эмпирически определяемую величину  $\sigma$  (Ом·мм), обозначающую удельное поверхностное сопротивление, поскольку при наличии аналогичных поверхностных пленок их сопротивление зависит преимущественно от толщины  $d$ . Для контактирующих цилиндрических поверхностей ТМ и электродной проволоки сопротивление  $R_{\text{п}}$  представим в виде

$$R_{\text{п}} = \frac{\sigma}{2\pi R h},$$

где  $R$  — радиус окружности контакта (усредненный);  $h$  — высота цилиндрического контакта.

Интенсивному износу способствует оплавление участков гребней ТМ (рис. 2), а также их частичный отрыв, что происходит в результате электроэрозионной коррозии.

Вследствие износа цилиндрический канал ТМ приобретает в поперечном сечении овальную форму. На нижнем участке он имеет конусообразную форму (рис. 3). Овальная форма канала обеспечивает увеличение контактного сопротивления, уменьшает площадь контактирующих поверхностей (ТМ и электродной проволоки), вызывает отклонение электродной проволоки от оси свариваемого шва и «блуждание» дуги. Эти факторы снижают стабильность процесса сварки и вызывают образование дефектов в швах.

Уменьшением износа ТМ занимались многие исследователи. Для их изготовления предлагали различные технические решения [3–11], а также новые конструкционные материалы [12–17]. Для уменьшения износа перспективным является использование ТМ из порошковых материалов. В состав материала композиции ТМ [12] в определенном процентном соотношении вводили медь (ос-



Рис. 3. Изношенный токоподводящий мундштук из экспериментального порошкового материала

нова), углерод, нитрид кремния, оксид алюминия и титан. Указанные компоненты смешивали до получения равномерного содержания ингредиентов по объему. Затем смесь при температуре 800...900 °С подвергали спеканию. Спеченный материал калибровали при давлении  $P_{\text{к}} = 400...500$  МПа. Полученный материал имел пористость 3...7 %. Его форма соответствовала геометрии серийных ТМ (см. рис. 1) и не требовала последующей механической обработки, за исключением сверления отверстия для прохождения электродной проволоки и шлифования ТМ с целью уменьшения шероховатости. Входящие в состав предложенной композиции материала оксиды алюминия и нитрида кремния разрушают оксидные пленки на поверхности движущейся электродной проволоки. Графит образует твердую смазку между трущимися поверхностями канала ТМ и электродной проволоки. Входящие в порошковый материал ингредиенты обеспечивают ТМ уменьшение  $R_{\text{п}}$  на 18...22 %, а также низкую степень износа и увеличение ресурса эксплуатации (рис. 4).

Экспериментально установлено, что целесообразно наносить на поверхность медных и керамических ТМ многослойные термостойкие покрытия путем ионного осаждения на установках типа «Булат». Такие покрытия имеют небольшую толщину (15...25 мкм). Их термостойкость составляет 1000...1800 °С. Они предотвращают приваривание металла проволоки к металлу канала мундштука и примерно на 50...70 % уменьшают прилипание брызг расплавленного металла к нижнему торцевому участку ТМ [2, 15]. Ресурс эксплуатации ТМ с термостойкими покрытиями на 15...20 % больше, чем аналогичных без покрытия.

Токоподводящие мундштуки горелок полуавтоматов, поставляемых фирмой «Binzel» (ФРГ) (см. рис. 1), также изготавливают из порошковых материалов. На их поверхности имеется термостойкое никелевое покрытие, нанесенное гальваническим способом.

Фирма «Binzel» является лидером производства сварочных горелок с мундштуками, характеризующимися высокой износостойкостью. Апробация

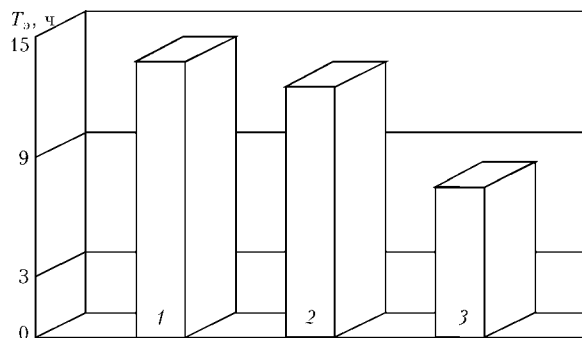


Рис. 4. Ресурс эксплуатации ( $T_3$ ) для горелок автоматов при сварке в  $\text{CO}_2$  на штатных режимах: 1 — экспериментальный; 2 — фирмы «Binzel»; 3 — серийный (медный)

предложенных нами ТМ показала, что их эксплуатационные характеристики являются также высокими [5, 12]. Преимущество ТМ фирмы «Binzel» заключается в небольшой шероховатости их поверхности и относительно высокой степени адгезии никелевого покрытия к рабочей поверхности ТМ. Последняя, однако, существенно ниже (рис. 4), чем у предложенных в работе многослойных термостойких покрытий, получаемых путем ионного осаждения на установке типа «Булат» [15]. Несомненным преимуществом ТМ фирмы «Binzel» является их геометрия, более оптимальная, чем у других ТМ (см. рис. 2). Разработанный состав порошковых материалов [1, 12, 15] характеризуется увеличенной длительностью эксплуатации (рис. 4).

Установлено, что на поверхность ТМ из порошковых материалов целесообразно наносить многослойные термостойкие покрытия, имеющие завершающий слой типа  $\text{ZrN}$ ,  $\text{TiN}$  и  $\text{SiC}$ . Это позволяет предотвращать приваривание брызг расплавленного металла к их рабочей поверхности.

Перспективной является разработка мундштуков и сопел с термостойким покрытием на основе легированного карбида кремния [16], выполняемых обычно двухслойными. Первый, переходной, слой состоит из смеси кремния, углерода и меди, второй, рабочий, представляет собой нанокристаллическую форму кубического карбида кремния. Микротвердость при нагрузке на пирамидку 20 г составляет 30 ГПа; термостойкость покрытия — 2300 °С. Использование ТМ с покрытием  $\text{SiC}$  позволило на 30... 50 % уменьшить количество брызг, налипающих на их рабочую поверхность. При нанесении на поверхность ТМ термостойких покрытий следует предотвращать попадание компонентов, входящих в их состав, на поверхность канала (см. рис. 2), поскольку наличие таких компонентов увеличивает контактное сопротивление. Термостойкие покрытия предотвращают забрызгивание торцевого участка ТМ, что снижает интенсивность образования конусообразного канала на участке выхода электродной проволоки.

Design and powder materials composition of current-conducting nozzles used in  $\text{CO}_2$  welding torches of semi-automatic and automatic devices and robots are described. It is shown that application of the developed current-conducting nozzles allows their wear to be substantially decreased, stability of the welding process to be raised, and probability of formation of defects in the welds to be reduced.

Таким образом, разработка и применение для сварочных горелок ТМ из порошковых материалов на основе меди и термостойких покрытий их рабочей поверхности являются технически целесообразными, поскольку позволяют увеличить ресурс их эксплуатации, повысить стабильность процесса сварки, уменьшить вероятность образования дефектов в металле швов и снизить потребность в них.

1. Дмитрик В. В. Повышение эксплуатационных характеристик горелок для сварки в углекислом газе и его смесей // Автомат. сварка. — 1998. — № 2. — С. 42–45.
2. Дмитрик В. В. Стабилизация режимов автоматической сварки перлитных сталей // Свароч. пр-во. — 1999. — № 5. — С. 11–14.
3. А. с. 1357166 СССР, МКИ В 23 К 9/12. Токоподводящий мундштук / Д. А. Дудко, В. А. Лебедев, В. П. Никитенко, А. Н. Юденко. — Оpubл. 07.12.87; Бюл. № 45.
4. Заявка 61-193783 Японии, МКИ В 23 К 9/26. Наконечник для сварки в защитном газе / Мацуи Сигэаки, Накаяма Сигэру, Окада Коити. — Оpubл. 28.08.86.
5. Данильченко Б. В., Дмитрик В. В., Притула С. И. Способы уменьшения забрызгивания сопел и токоподводящих мундштуков сварочных горелок // Свароч. пр-во. — 1995. — № 9. — С. 22–24.
6. Заявка 61-216867 Японии, МКИ В 23К 9/26. Керамический токоподводящий мундштук и способ его изготовления / Амасака Тадао, Ивота Мисао, Фудзикава Кадзуми. — Оpubл. 26.09.86.
7. Заявка 62-38774 Японии, МКИ В 23 К 9/26. Наконечник сварочной горелки / Икэхата Тэцуо, Маэда Масанори. — Оpubл. 19.02.87.
8. Заявка 63-154270 Японии МКИ В 23 К 9/26. Токоподводящий мундштук для дуговой сварки / Амасака Тадао, Ивота Мисао, Фудзикава Кадзуми. — Оpubл. 27.06.88.
9. Заявка 61-46375 Японии, МКИ В 23 К 9/26. Наконечник горелки для сварки (в защитных газах) / Хираива Хироши, Гокодзи Исао. — Оpubл. 06.03.86.
10. А. с. 1265022 СССР, МКИ В 23 К 9/12. Токоподводящий мундштук / Р. И. Гаркалюк, В. Ф. Мошкин, В. А. Атаманчук и др. — Оpubл. 23.10.86; Бюл. № 39.
11. Заявка 61-245978 Японии, МКИ В 23 К 9/26, С 23 С 4/06. Токоподводящий мундштук / Амасака Тадао, Ивота Мисао, Фудзикава Кадзуми. — Оpubл. 01.11.86.
12. А. с. 1816609 РФ, МКИ В 23 К 35/30. Материал для токоподводящих мундштуков к сварочным горелкам / В. В. Дмитрик, Д. И. Момот, Н. В. Грицай, С. М. Вилков, Н. П. Воличенко. — Оpubл. 23.05.93; Бюл. № 19.
13. Henderson S. New generation ceramics in the hot seat. But do the benefits outweigh the costs? // Metal Construction. — 1987. — 19, № 3. — P. 120–122.
14. А. с. 1316773 СССР, МКИ В 23 К 35/30. Материал для токоподводящих наконечников / А. Я. Борисов, С. Е. Виноградов, Я. Н. Киселев и др. — Оpubл. 15.06.87; Бюл. № 22.
15. Дмитрик В. В., Пузиков В. М., Семенов А. В. К разработке термостойких покрытий сопел и мундштуков сварочных горелок // Свароч. пр-во. — 1993. — № 7. — С. 25–27.
16. Семенов А. В., Дмитрик В. В., Пузиков В. М. Разработка и использование покрытия с повышенной термостойкостью на основе карбида кремния для защиты от забрызгивания сварочных горелок // Сб. тез. стенод. докл. междунар. конф. «Современные проблемы сварки и ресурса конструкций» (Киев, 2003). — Киев, 2003. — С. 72–73.
17. Дмитрик В. В., Притула С. И. Применение термостойких покрытий в сварочном оборудовании // «Сварка и родственные технологии — в XXI век»: Тез. докл. междунар. конф. (Киев, окт. 1998). — Киев: ИЭС им. Патона, 1998. — С. 37–38.