

УДК 621.791.75.03-52

Д.А.Семистенов, канд.техн.наук, Г.М.Короткова, канд.техн.наук, Т.В.Чермашенцева,  
канд.техн.наук

Тольяттинский государственный университет

E-mail: [office@tltsu.ru](mailto:office@tltsu.ru)

### **Особенности механизированной сварки с применением новой модели источника питания «Форсаж-502»**

Представлена новая модель инвертора «[Форсаж-502](#)», предназначенного для ручной дуговой и механизированной сварки плавящимся электродом в защитном газе.

*Ключевые слова:* инвертор «Форсаж-502», механизированная сварка, параметры, наплавка

Линейка инверторов, выпускаемая Государственным Рязанским приборным заводом, пополнилась новой моделью - «Форсаж-502», предназначенной как для ручной дуговой сварки, так и механизированной сварки плавящимся электродом в защитном газе.

Инвертор «[Форсаж-502](#)» - это источник питания постоянного тока. На рис. 1 приведена его функциональная схема.

Транзисторный преобразователь постоянного тока в переменный с внешним возбуждением формирует «ломаные» внешние вольт-амперные характеристики (ВАХ) с наклоном от 0,01 до 0,04 В/А (рис.2).

При настройке оборудования сварщик устанавливает напряжение дуги, относительно которого изменяется наклон ВАХ (см. рис. 2, кривые 1, 2). Выходное напряжение инвертора регулируется от 15 до 40 В через 0,1 В, что обеспечивает плавное регулирование напряжения внешней ВАХ, а следовательно, и тока инвертора. Инвертор «Форсаж-502» в комплекте с механизмом подачи электродной проволоки «Форсаж-МПм» при механизированной сварке позволяет регулировать следующие параметры:

**на инверторе «Форсаж-502»:**

- наклон внешней ВАХ  $\partial U / \partial I$  от 0,01 до 0,04 В/А;
- скорость нарастания тока КЗ  $di/dt$  от 60 до 160 кА/с;
- базовый ток  $I_b$  от 5 до 30 А;
- рабочее напряжение дуги  $U_d$  от 15 до 40 В;

**на механизме подачи электродной проволоки «Форсаж-МПм»:**

- скорость подачи электродной проволоки  $v_{пр}$  от 0,5 до 17,5 м/мин;
- диаметр электродной проволоки  $d = 0,8 \div 1,6$  мм.

Для оптимизации сварочных свойств процесса механизированной сварки инвертором «Форсаж-502» в комплекте с механизмом подачи проволоки «Форсаж-МПм» проведены исследования для всего диапазона регулируемых параметров оборудования и определены параметры режима сварки, обеспечивающие качество сварного соединения при минимальном разбрызгивании электродной проволоки.

К показателям сварочных свойств по ГОСТ 25616 - 83 относятся: стабильность процесса, разбрызгивание металла, качество формирования шва. По данным работы [1], технологические свойства процесса сварки включают еще такие параметры, как зажигание дуги и становление процесса сварки, пространственную устойчивость дуги, эластичность.

Сварочные свойства оценивали при наплавке на образцы пластин толщиной от 10 до 20 мм из стали 20 омедненной проволокой Св-08Г2С диаметром 0,8, 1,0, 1,2 и 1,6 мм,

расход углекислого газа 5-20 л/мин, вылет электрода  $l_{\text{выл}} = 7 \div 20$  мм, наплавку выполняли углом назад ( $\alpha = 15^\circ$ ).

При наплавке контролировали следующие параметры процесса:  $I_d$ ,  $U_d$ ,  $Q_{\text{защ}}$ ,  $v_{\text{св}}$ ,  $v_{\text{пр}}$ ,  $l_{\text{выл}}$ ,  $l_d$  (установочная),  $\alpha$ ,  $d_{\text{пр}}$ . Для контроля электрических параметров использовали цифровые амперметры, вольтметры и регистратор S-Recorder-2 с датчиком тока ДИТ-500-Н и напряжения ДНХ-01. Контроль расхода защитного газа осуществляли ротаметром EN FLOW 1.3-30 Linde.

### **Влияние наклона внешней ВАХ инвертора на сварочные свойства процесса**

Инвертор позволяет изменять наклон внешней ВАХ от 0,01 до 0,04 В/А (см. рис.2). При всех наклонах внешней ВАХ удается получить устойчивое равновесие системы инвертор - дуга (И-Д), когда коэффициент устойчивости системы  $K_y > 0$  ( $K_y = \partial U_d / \partial I_d - \partial U_u / \partial I$ ). В этом случае система при возмущениях по току  $I_d$  или по длине дуги  $l_d$  возвращает систему в исходное положение самостоятельно, обрабатывая возникшие отклонения.

На рис.3 приведены образцы, полученные при механизированной сварке плавящимся электродом в  $\text{CO}_2$  проволокой диаметром от 0,8 до 1,6 мм. Отличные показатели сварочных свойств (стабильность процесса, разбрызгивание металла, качество формирования шва) для указанного диапазона проволок получены при наклоне внешней ВАХ инвертора 0,01-0,04 В/А и скорости нарастания тока короткого замыкания  $di/dt = 60 \div 160$  кА/с.

Полученные результаты (рис.3) показывают, что хорошее формирование сварных соединений обеспечивается на наклонах 0,01-0,04 В/А, при этом для большего наклона требуется большее напряжение дуги. Однако рекомендуемый наклон характеристики 0,04 В/А, так как он обеспечивает более плавный переход к основному металлу.

С уменьшением диаметра электродной проволоки скорость нарастания тока КЗ  $di/dt$  следует увеличивать до 160 кА/с, что приводит к повышению стабильности и незначительному снижению провара. Полученные данные не противоречат мнению авторов работ [1, 2], которые объем расплавленной капли электродной проволоки связывают со скоростью нарастания тока КЗ и наклона ВАХ, влияющего на разбрызгивание металла.

### **Наплавка в вертикальном и потолочном положениях**

Результаты исследований опробованы при сварке в вертикальном и потолочном положениях сварщиком 6-го разряда ЗАО «Механомонтаж» С.В.Пенским, двукратным победителем регионального конкурса сварщиков «Лучший сварщик Средне-Волжского региона» в 2006 и 2008 гг. Отмечено, что хорошее формирование и высокая стабильность обеспечиваются при скорости нарастания тока 160 кА/с для проволок диаметром 0,8 (рис.4, а, б) и 1,0 мм.

Показатели сварочных свойств для образцов на рис.4 оцениваются отлично.

В ходе проведения экспериментов установили, что повышение стабильности и увеличение провара при наплавке проволокой диаметром 0,8 мм достигаются при увеличении базового тока до 30 А.

### **Технологические возможности при автономном регулировании параметров**

#### **инвертора $di/dt$ , $\partial U / \partial I$**

Известно, что для трансформаторных сварочных источников на разбрызгивание оказывает влияние индуктивность сварочного выпрямителя, которая формирует наклон внешней ВАХ [1, 2]. Однако в инверторе «Форсаж-502» наклон ВАХ формируется независимо от скорости нарастания тока короткого замыкания (аналог индуктивности в сварочной цепи). Определив соотношение этих параметров, можно влиять на

технологические свойства процесса: стабильность процесса сварки, разбрызгивание металла, качество формирования шва.

Результаты исследования динамических характеристик процесса сварки  $i(t)$ ,  $u(t)$  (рис.5, а,б) проволокой диаметром 1,6 мм показали, что колебания частоты коротких замыканий изменяются в пределах 25-30 Гц, что свидетельствует о стабильности процесса сварки [1-3] при минимальном разбрызгивании (см. рис.5, а).

Для сравнения на рис. 5, б приведены динамические характеристики процесса сварки  $i(t)$ ,  $u(t)$  проволокой того же диаметра при максимальном разбрызгивании металла. Динамические характеристики процесса сварки фиксируют колебания частоты коротких замыканий от 14 до 30 Гц.

Кроме динамических характеристик для исследования стабильности процесса механизированной сварки диаметром 1,6 мм сняты динамические характеристики  $i = f(u)$  (рис.6, а, б).

В динамической характеристике  $i=f(u)$  (см. рис.6, а) ярко представлены две области с параметрами  $i_1, u_1$  и  $i_2, u_2$ , характеризующие качественное формирование шва, минимальное разбрызгивание металла и отличные показатели сварочных свойств. Область в динамической характеристике с параметрами  $i_2, u_2$  характеризует зону сосредоточенных параметров КЗ без обрыва дуги.

Для сравнения на рис. 6, б приведены зависимости с максимальным разбрызгиванием металла. Видно, что обозначенная параметрами  $i_3, u_3$  область размыта:  $i_3 > i_2$ . Кроме того, область КЗ не ярко выражена и характеризуется нулевыми значениями напряжения, что свидетельствует о разбрызгивании металла.

Приведенные результаты исследований показали, что автономное регулирование  $di/dt$ ,  $\partial U / \partial I$  в инверторе «Форсаж-502» расширяет область параметров режима, позволяющего формировать качественные соединения при минимальном разбрызгивании металла.

## Выводы

1. Хорошее формирование сварных соединений обеспечивается на наклонах ВАХ 0,01-0,04 В/А, при этом рекомендуемый наклон 0,04 В/А обеспечивает более плавный переход к основному металлу.
2. В зависимости от диаметра применяемой проволоки за счет оптимизации параметров  $U_d$ ,  $\partial U / \partial I$ ,  $dI/dt$  в большинстве исследуемых процессов и различных пространственных положениях сварки обеспечивается низкое разбрызгивание металла.

## Список литературы

1. *Ленивкин В.А., Дюргеров Н.Г., Сагиров Х.Н.* Технологические свойства дуги в защитных газах /Под ред. Н.Г.Дюргерова. М. : НАКС, 2011. 367 с.
2. *Потаповский А.Г.* Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение, 1974. 239 с.
3. *Семистенов Д.А., Короткова Г.М.* Исследование эксплуатационных характеристик инвертора «Форсаж-302» при механизированной сварке // Сварочное производство. 2012. №4. С.42-45.

## Подрисуночные подписи

Рис.1. Функциональная схема инвертора «Форсаж -502» (*БИК* – блок измерения; *ВхВ* – входной выпрямитель;  $\Phi$  – фильтр; *УУ* – устройство управления; *ВВ* – высокочастотный выпрямитель; *ТП* – транзисторный преобразователь; *ИБП* – импульсный блок питания механизма подачи проволоки и подогревателя газа; *МИП* – цифровые индикаторы выходных параметров тока и напряжения)

Рис. 2. Внешние вольт-амперные характеристики инвертора: 1 -  $\partial U / \partial I = 0,4 \text{ В/А}$ ; 2 -  $\partial U / \partial I = 0,1 \text{ В/А}$ ; 3 -  $U_{\text{д}}=15+0,05I$

Рис.3. Внешний вид образцов при МАG-сварке в нижнем положении: а – образец 96,  $d_{\text{пр}}=0,8 \text{ мм}$ ,  $U_{\text{д}}=20 \text{ В}$ ,  $v_{\text{пр}}=9 \text{ м/мин}$ ,  $dU/dI=0,01 \text{ В/А}$ ,  $dI/dt=60 \text{ кА/с}$ ; б – образец 18,  $1,0 \text{ мм}$ ,  $21 \text{ В}$ ,  $7,3 \text{ м/мин}$ ,  $0,04 \text{ В/А}$ ,  $110 \text{ кА/с}$ ; в – образец 24,  $1,0 \text{ мм}$ ,  $21 \text{ В}$ ,  $7,3 \text{ м/мин}$ ,  $0,25 \text{ В/А}$ ,  $160 \text{ кА/с}$ ; г – образец 90,  $1,2 \text{ мм}$ ,  $30 \text{ В}$ ,  $17,5 \text{ м/мин}$ ,  $0,04 \text{ В/А}$ ,  $60 \text{ кА/с}$ ; д – образец 124,  $1,6 \text{ мм}$ ,  $28 \text{ В}$ ,  $7,3 \text{ м/мин}$ ,  $0,04 \text{ В/А}$ ,  $60 \text{ кА/с}$

Рис. 4. Внешний вид образцов при сварке в вертикальном (а,в) и потолочном (б,г) положениях: а - образец 153,  $d_{\text{пр}}=0,8 \text{ мм}$ ,  $U_{\text{д}}=18 \text{ В}$ ,  $v_{\text{пр}}=5,6 \text{ м/мин}$ ,  $dU/dI=0,04 \text{ В/А}$ ,  $dI/dt=60 \text{ кА/с}$ ; б - образец 155,  $0,8 \text{ мм}$ ,  $18 \text{ В}$ ,  $5,6 \text{ м/мин}$ ,  $0,04 \text{ В/А}$ ,  $160 \text{ кА/с}$ ; в - образец 160,  $1,6 \text{ мм}$ ,  $25 \text{ В}$ ,  $5,6 \text{ м/мин}$ ,  $0,04 \text{ В/А}$ ,  $60 \text{ кА/с}$ ; г - образец 166,  $1,6 \text{ мм}$ ,  $25 \text{ В}$ ,  $5,6 \text{ м/мин}$ ,  $0,04 \text{ В/А}$ ,  $60 \text{ кА/с}$

Рис.5. Динамические характеристики процесса механизированной сварки  $i(t)$ ,  $u(t)$  проволокой диаметром  $1,6 \text{ мм}$ : а - образец 135,  $U_{\text{д}}=28 \text{ В}$ ,  $v_{\text{пр}}=7,3 \text{ м/мин}$ ,  $dU/dI=0,01 \text{ В/А}$ ,  $dI/dt=60 \text{ кА/с}$ ; б - образец 137,  $28 \text{ В}$ ,  $7,3 \text{ м/мин}$ ,  $0,01 \text{ В/А}$ ,  $160 \text{ кА/с}$

Рис. 6. Динамические характеристики дуги  $i=f(u)$  при механизированной сварке проволокой диаметром  $0,8 \text{ мм}$  (данные за  $1 \text{ с}$ ): а, б - см. рис. 5