

## СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СВАРОЧНЫМ ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ

Козлов И.К.

Одним из важнейших составляющих сварочного производства являются источники питания. Качество сварного шва напрямую зависит от их сварочных свойств. Применительно к источникам питания подход «цена-качество» сварки необъективен. Необходимо учитывать надежность аппаратов, условия эксплуатации, требования к питающей сети, в том числе при работе от генераторов.

Широкие технологические возможности, наличие синергетики, удобство пользователя, и в то же время наличие защиты от несанкционированного доступа к регуляторам – эти требования уже обязательны для современного производства.

Стандартом ISO 9001 сварка определена, как «специальный процесс, где результаты не могут быть полностью проверены последующим осмотром и испытанием изделия». «Необходимо требовать непрерывного контроля параметров процесса, чтобы гарантировать, что указанные требования выполнены». Рекомендовано иметь систему, которая регистрирует критические параметры процесса, в первую очередь энергетические и хранит информацию таким образом, что это может быть восстановлено».

Это предъявляет дополнительные требования к источникам питания, в первую очередь касающиеся доступности оборудования для испытаний при сертификации и аттестации, а так же наличия встроенных систем контроля и диагностики.

Мировое производство оборудования для дуговой сварки в 2006 году достигло 3 млрд. долларов, из них около 70% приходится на так называемые инверторные источники питания, причем их доля, как наиболее перспективных, с каждым годом увеличивается

Практически все мировые лидеры в области сварочного производства ориентированы преимущественно на разработку и производство инверторных источников питания.

Традиционные источники характеризуются очень высокой индуктивной нагрузкой, реактивной мощностью, которая не связана с выполнением полезной работы, а расходуется на создание электромагнитных полей тем самым, создавая дополнительную нагрузку на силовые линии питания.

Приводимые в различных источниках данные по экономии электроэнергии существенно разнятся от 10-15% до 1,2-1,8 раз.

Проведенные исследования свидетельствуют о существенной экономии энергопотребления в случае с применением инверторных источников питания, как с точки зрения активной энергии примерно на 25-30%, так и ее реактивной составляющей практически более чем в 10 раз. Снижение полной потребляемой мощности и соответственно токов составляет порядка 100%, что означает снижение нагрузки сети, расходов на токоподводящий кабель и электrorаспределительную аппаратуру. Ток в первичной цепи источников ВД506 и инвертора МС501М соответственно составляют 27 и 14 А, при одинаковом сварочном токе 200 А. Нет необходимости в расходах на приобретение компенсации реактивной мощности, ввиду ее крайне низкого значения. Окупаемость инверторных источников питания при сварке, только за счет экономии электроэнергии, в том числе при нахождении источника в режиме холостого хода, примерно за год компенсирует его более высокую стоимость.

Если в начале 80-х годов прошлого века переход на инверторную технику был в основном обусловлен существенной экономией электропотребления и снижения массы и габаритов, то в настоящее время, развитие инверторной технологии и микропроцессорной техники, обеспечивают возможность оптимизации и формирования сколь угодно сложных циклов сварки и форм внешней характеристики, тотального контроля за формированием, отрывом и переносом в сварочную ванну каждой капли присадочного металла и процессом плавления основного металла.

Инверторные источники с микропроцессорным управлением имеют возможность работы в системе синергетики с многочисленными программами, занесенными в память, которые облегчают эксплуатацию источников питания и делают их пригодными для использования не очень опытным персоналом. Системы с синергетикой поддерживают постоянные условия сварки даже при значительных колебаниях длины дуги и вылета при сварке труднодоступных участков шва. Система в соответствии с программным обеспечением подстраивает процесс сварки так, чтобы дуга всегда наилучшим образом соответствовала условиям в текущий момент времени.

С принятием закона «О техническом регулировании» обязательными требованиями к продукции и процессам являются требования безопасности, защиты окружающей среды, неведение потребителя в заблуждение, вопросы электромагнитной совместимости.

Остальные требования переведены в статус документов для добровольного применения. Международный стандарт ГОСТ Р МЭК 60974-1-2004 «Источники питания для дуговой сварки» является основным документом.

В нем введено понятие максимального эффективного значения первичного тока источника питания с учетом ПН, номинально первичного тока  $I_1$  и тока холостого хода  $I_0$

$$I_{эф} = \sqrt{I_1^2 * ПН + I_0(1 - ПН)}$$

Установлено, что допустимые номинальные значения напряжения холостого хода не должны превышать соответственно 48 и 80 В (среднеквадратичного значения переменного тока) для сред с повышенной опасностью и без повышенной опасности. Для механизированных горелок допускается значение до 100 В среднеквадратичного значения.

Для постоянного тока пиковые значения не должны превышать 113В и 141 В для механизированных горелок. Введено требование на наличие устройств снижения напряжения (VRD), снижающие напряжения холостого хода до 11-12 В эффективного значения за время не более 1 с, при условии когда сопротивление внешней сварочной цепи превышает 200 Ом.

Относительно актуальнейшего вопроса – пункт 16.3 вышеуказанного стандарта сформулирован как «Индикация регулирования тока или напряжения при допустимости установления шкалы в отвлеченных числах, с погрешностью не более 10% от максимального значения». На практике это означает, что устройства отображения, используемые в качестве аналоговых и цифровых индикаторов (дисплеев) поверке (калибровке) подлежат в случае, если они заявлены как средство измерений, что, по-видимому, не следует делать. Тем более, что форма сигнала даже в случае использования традиционных источников питания и режимов достаточно сложна, и без специальных методов обработки определить истинное значение параметров обычными измерительными приборами затруднительно.

Следует так же обратить внимание на измерение первичного тока. Особенностью энергопотребления инверторных источников является ярко выраженный импульсный характер первичного тока.

Обычно для измерения токов используются токоизмерительные клещи. Однако, если обхватить нулевой рабочий проводник обычными токоизмерительными клещами, может оказаться, что последние покажут неверный результат. Дело в том, что такие токоизмерительные клещи работают в частотном диапазоне 50 Гц и зарегистрировать высшие гармоники тока не могут, следовательно, они показывают только действующее значение основной гармоники тока. Фактическое действующее значение тока при этом может оказаться на 25-50 % выше и с большей степенью вероятности превысит длительно допустимый ток, выбранный по условиям термической стойкости проводов и кабельных линий.

Объяснение этому служит тот факт, что вольтметр, например В7-20, определяет средневыпрямленное значение с умножением полученного значения на коэффициент 1,11, что справедливо только в случае синусоидальной формы тока. В данном случае форма тока существенно отличается от синусоидальной. Поэтому необходимо применять измерительные инструменты и приборы с широким частотным диапазоном, регистрирующие истинное действующее значение измеряемого тока (с функцией True RMS). Измерение среднеквадратического значения токов по таким искаженным кривым с использованием измерителей с усреднением показаний может дать 50% занижение истинных результатов, после чего 14-амперный предохранитель регулярно сгорает, хотя по показаниям ток составляет всего лишь 10 А.

При необходимости измерения значений параметров процесса с учетом погрешности измерения, необходимо подключение внешних по отношению к машине сварочной соответствующих поверенных измерительных приборов, включенных в реестр средств измерений.

Наиболее достоверно оценить действительные значения параметров процесса, в том числе их изменение в процессе сварки, возможно только с применением регистраторов технологических процессов, обеспечивающих автоматическую запись параметров процесса с компьютерной обработкой.

Достаточно распространенным случаем является осуществление процесса сварки при существенном перекосе фаз или даже полном отсутствии питающего напряжения на одной из фаз. Источник при этом «делает вид», что он работает, горение сварочной дуги имеет место, только вот качественного сварного соединения при этом получить невозможно. Современные инверторные источники питания обеспечивают допуск по напряжению питающей сети  $\pm 15\%$ , при допуске перекоса фаз не менее 10%. Нелишне еще раз обратить внимание на жесточайшие требования по необходимости заземления, как сварочного аппарата, так и стола сварщика.

## **Технологические возможности источников питания для ручной дуговой сварки (ММА)**

Источник для ручной дуговой сварки должен обеспечить:

1. Комбинированную внешнюю характеристику со штыковым рабочим участком
2. Возможность плавной регулировки сварочного тока с кратностью не менее 5 А.
3. Регулировку параметра форсирования дуги от 0 до 0,5 от значения сварочного тока
4. Регулировку параметров ток и длительность горячего старта
5. Наличие опции АНТИСТИК, обеспечивающей прекращение питания сварочной цепи при отсутствии сварочной дуги более 0,5 с.
6. Наличие режима ограничения холостого хода.

Источник для механизированной сварки плавящимся электродом должен обеспечить:

1. Комбинированную внешнюю характеристику с наклоном рабочего участка менее чем  $7\text{В}/100\text{А}$
2. Возможность обеспечить режимы сварки короткой дугой, крупно капельный и в случае сварки в смеси газов струйный перенос металла
3. Возможность сварки в режиме пульс
4. Возможность регулирования динамических характеристик процесса с режима SOFT до режима HARD за счет изменения индуктивности источника (форсирование дуги).
5. Возможность коррекции характеристик в зависимости от диаметра сварочной проволоки, защитного газа.

6. Возможность сварки нержавеющей стали, алюминия и его сплавов, сварки-пайки бронзовой проволокой
7. Мягкий старт – плавное нарастание скорости сварки в начале процесса. Регулируемый режим.
8. Горячий старт – кратковременное повышение сварочного тока после касания проволокой изделия с целью облегчения возбуждения дуги. Регулируемый режим.
9. Регулировка параметров режима заварки кратера
10. Регулировка значений пикового сварочного тока в режиме «Пульс»

### **Сварка TIG на постоянном токе**

В данном режиме предусмотрено 6 параметров режима

1. Длительность предварительной продувки защитного газа
2. Стартовая величина сварочного тока. Это установившееся значение тока непосредственно после возбуждения дуги, и соответственно значение, от которого ток начнёт нарастать до величины сварочного тока
3. Время нарастание сварочного тока. После возбуждения дуги процесс переходит в стадию нарастания тока от стартового значения до сварочного тока. Увеличение тока происходит по линейному закону
4. Величина сварочного тока. Плавно регулируется и отображается на цифровом индикаторе .
5. Время спада тока. При отпускании кнопки (в случае 2х – тактного режим ) или кратковременном нажатии (4х– тактный режим) начинается процесс спада тока, что обеспечивает заварку кратера. Сварочный ток снижается до значения конечной силы тока
6. Время продувки газа после гашения дуги для предотвращения окисления сварочной ванны на стадии её кристаллизации.

### **Сварка TIG при переменном токе**

При прямой полярности (плюс на изделия, минус на электроде), лучшее условие термоэлектронной эмиссии, выше стойкость вольфрамового электрода и допускаемый ток. Дуга при прямой полярности легко зажигается и горит устойчиво в широком диапазоне плотностей тока.

При обратной полярности уменьшается устойчивость её горения, резко уменьшается стойкость электрода, повышается его нагрев и расход. Эти особенности и дуги обратной полярности делают её непригодной для непосредственного применения в сварочных процессах. Однако дуга обратной полярности обладает важным технологическим свойством: при её действии с поверхности свариваемого металла удаляются окислы и загрязнения. Это явление объясняется тем, что при обратной полярности и поверхности металла бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона, которые, перемещаясь под действием электрического поля от плюса /электрод/, к минусу /изделия/, разрушают окисные плёнки на свариваемом металле, а выходящие с катода /с поверхности изделия/ электроны способствуют удалению разрушенных окисных плёнок. Этот процесс удаления называют катодным распылением. Таким образом, при сварке неплавящимся электродом на переменном токе в определенной степени реализуются преимущества дуги прямой и обратной полярности, т.е. при этом обеспечивается стойкость вольфрамового электрода и разрушение окисных пленок. При прямой полярности тока на изделия выделяется около 70 % тепла, что и обеспечивает более глубокое проплавление основного металла, чем при токе с обратной полярностью, где наблюдается повышенный разогрев электрода, и поэтому допустимая сила сварочного тока уменьшена. При использовании переменного тока из-за физических особенностей электропроводимости дуги неодинакова в различные полупериоды полярности переменного тока. Она выше, когда катод на

электроде (прямая полярность), и ниже, когда катод на изделии (обратная полярность). В соответствии с этим и сила сварочного тока больше при прямой и меньше при обратной полярности, т. е. проявляется выпрямляющий эффект сварочной дуги, связанный с различными теплофизическими свойствами электрода и изделия

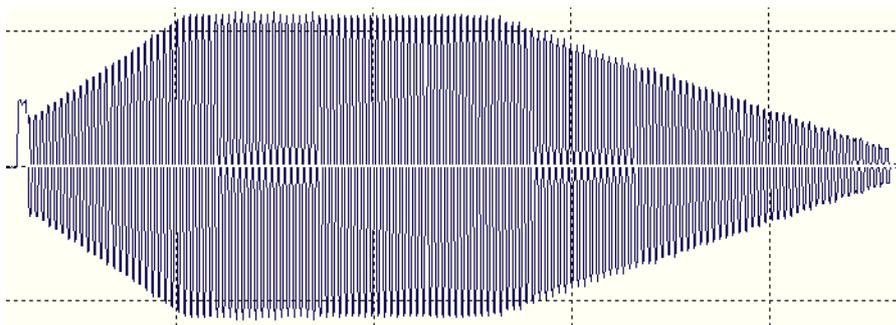
Наличие в сварочной цепи, составляющей постоянного тока, отрицательно сказывается на качестве сварного соединения и условиях процесса: уменьшается глубина проплавления, увеличивается напряжение дуги, значительно повышается температура электрода и увеличивается его расход. Поэтому приходится применять специальные меры для подавления действия постоянной составляющей

Листовой металл толщиной до 5 мм сваривают без разделки кромок. При толщине металла до 15 мм применяют U-образную разделку кромок и при толщине свыше 15 мм выполняют X-образную разделку с углом раскрытия кромок в обоих случаях от 60 до 90°. При толщине металла до 2 мм используют отбортовку кромок высотой 1-1,5. Размеры и форма подготовки кромок изделий из алюминия или его сплавов в зависимости от толщины и способа сварки регламентированы ГОСТ 14806-80 и ГОСТ 23792-79. Детали толщиной до 10-25 мм сваривают без предварительного подогрева, а при большей толщине рекомендуется детали предварительно подогревать до 300- 400 °С.

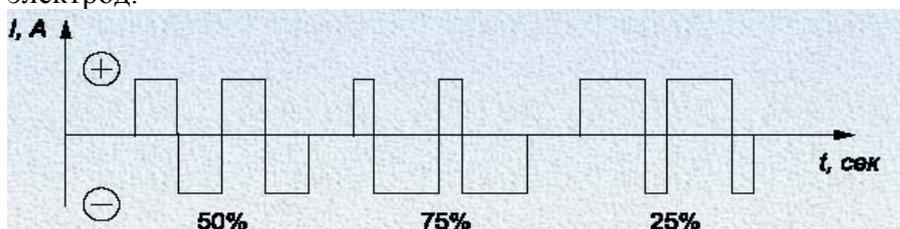
Для сварки алюминия и его сплавов рекомендуется применять лантанированный вольфрам ЭВЛ, который уменьшает расход электрода и повышает стабильность горения дуги. При сварке на переменном токе рабочий конец электрода затачивают в виде полусферы. При сварке на постоянном токе конец электрода затачивают под углом 60° на длине 2 -- 3 диаметров или в виде четырехгранной пирамиды.

Предусмотрены следующие регулировки значений параметров режима:

1. Время предварительной продувки защитного газа
2. Величина стартового тока. Это установившееся значение тока непосредственно после возбуждения дуги, и соответственно значение, от которого ток начнёт нарастать до величины сварочного тока.
3. Время нарастание сварочного тока. После возбуждения дуги процесс переходит в стадию нарастания тока от стартового значения до сварочного тока. Увеличение тока происходит по линейному закону.
4. Величина сварочного тока. Плавно регулируется и отображается на цифровом индикаторе..
5. Частота переменного тока (Гц):
6. Время спада тока. При отпускании кнопки (в случае 2х – тактного режим ) или кратковременном нажатии (4х– тактный режим) начинается процесс спада тока, что обеспечивает заварку кратера. Ток падает до значения конечной силы тока.
7. Продувка газа после сварки. Время продувки газа после гашения дуги для предотвращения окисления сварочной ванны на стадии её кристаллизации.



8. Соотношение полярности в цикле. Эта функция позволяет регулировать время нахождения вольфрамового электрода за период цикла в положительном или отрицательном полупериодах. Увеличивая время, при котором на электроде положительный потенциал, оператор усиливает очищающий от оксидной плёнки эффект катодного распыления. Увеличивая время отрицательного потенциала на электроде, оператор уменьшает вероятность попадания вольфрамовых включений в шов и экономит электрод.



9. Баланс переменного тока позволяет перераспределять в пределах цикла значение амплитуды напряжения на детали между положительным и отрицательным значением, как бы смещая ось времени на вышеприведенном графике вверх или вниз, тем самым усиливая очищающий эффект и повышая качество формирования сварного шва (смещение в сторону минуса на детали) или увеличивая глубину проплавления, скорость сварки и повышая стойкость электрода (смещение в сторону плюса на детали)

### Сварка TIG при импульсном токе

При импульсной аргодуговой сварке дуга пульсирует с постоянным, заданным оператором соотношением импульса и паузы. Сплошной шов получается за счёт расплавления и кристаллизации отдельных точек с определённым перекрытием. Регулярность повторных возбуждений в начале каждого импульса, а так же устойчивость дуги обеспечиваются благодаря горению в промежутках между импульсами и паузами маломощной (базовой) дуги. Основное отличие импульсной сварки от способов сварки с постоянным горением дуги заключается в следующем. При сварке постоянной дугой сварочная ванна, находящаяся в расплавленном состоянии имеет достаточно большую протяжённость, а при сварке импульсной дугой размер ванны определяется размером одной точки, которая во время паузы (горения базовой дуги) полностью или частично застывает. Форма ванны приближается к окружности.

Следующая точка при застывании имеет надёжную опору в виде предыдущей точки, а поскольку форма ванны близка к окружности, то и силы поверхностного натяжения достигают максимальной величины. Этим объясняется отсутствие при импульсной сварке таких дефектов, как прожог изделий, провисание металла и отсутствие подрезов. По этой же причине при импульсно-дуговой сварке улучшаются условия формирования шва в различных пространственных положениях (вертикальном, горизонтальном, потолочном, а так же при сварке неповоротных стыков труб). Повторно – кратковременным тепловым режимом расплавления и остывания металла при импульсно-дуговой сварке объясняется уменьшение вероятности образования горячих трещин для материалов, склонных к этому дефекту.

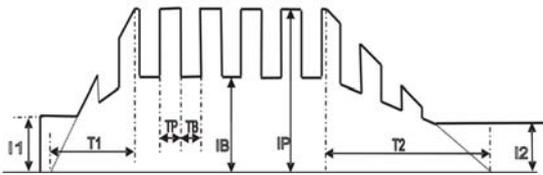
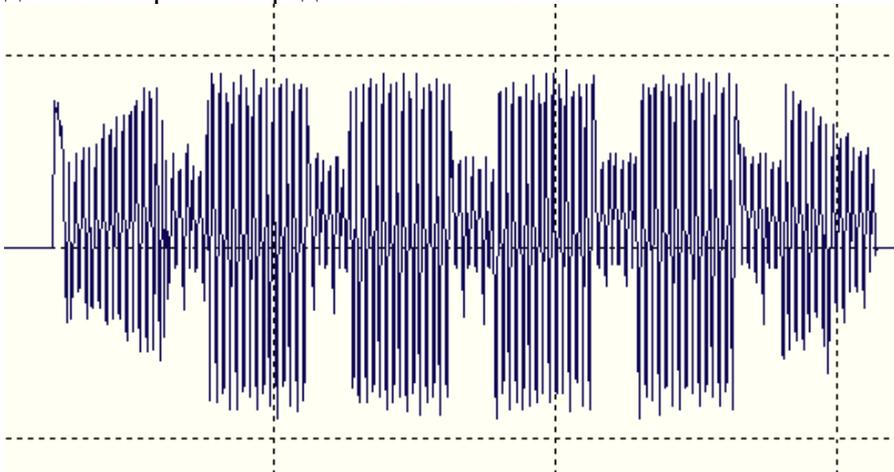


Рис. 6.1. График тока сварки TIG при импульсном режиме

$I_1$  – стартовый ток  
 $I_2$  – конечный ток  
 $I_B$  – базовый сварочный ток  
 $I_P$  – ток импульса (пиковый)  
 $T_1$  – время нарастания тока  
 $T_2$  – время спада тока  
 $T_P$  – длительность импульса  
 $T_B$  – длительность паузы  
 $T_P / T_B$  – коэффициент полноты импульса

Цифровые процессоры DSP, используемые в установках «МС» позволяют регулировать большое количество параметров, гарантируя высокую точность поддержания установленных значений во время сварки.

1. Время предварительной продувки защитного газа
  2. Величина стартового тока ( $I_1$ ). Это установившееся значение тока непосредственно после возбуждения дуги, и соответственно значение, от которого сварочный ток начнёт нарастать до величины тока импульса ( $I_P$ ).
  3. Время нарастание сварочного тока ( $T_1$ ). После возбуждения дуги процесс переходит в стадию нарастания тока от стартового значения до тока импульса. Увеличение тока происходит по линейному закону.
  4. Величина тока в импульсе ( $I_P$ ). Плавно регулируется и отображается на цифровом индикаторе..
  5. Базовый сварочный ток ( $I_B$ ). В случае импульсной сварки означает ток дуги пониженной мощности. Плавно регулируется и отображается на цифровом индикаторе..
  6. Частота импульсов (Гц). Это величина, обратно пропорциональная периоду импульса:  
 Период импульса - это сумма времени импульса ( $T_P$ ) и времени паузы ( $T_B$ ).
  7. Коэффициент полноты импульса ( $T_P/T_B$ ). Эта величина представляет собой отношение времени импульса ( $T_P$ ) к периоду импульса ( $T_P+T_B$ )
  8. Время спада тока ( $T_2$ ). При отпуске кнопки (в случае 2х – тактного режим ) или кратко-временном нажатии (4х – тактный режим) начинается процесс спада тока, что обеспечивает заварку кратера. Ток падает с базовой величины до значения конечной силы тока ( $I_2$ ).
  9. Продувка газа после сварки. Время продувки газа после гашения дуги для предотвращения окисления сварочной ванны на стадии её кристаллизации.
- Возможен режим импульсной сварки на переменном токе. Осциллограмма тока для данного варианта представлена ниже.



## Сварка под флюсом

Сварка под слоем флюса может осуществляться с использованием одной из двух внешних характеристик: Падающей (СС), с практически штычковым рабочим участком ВАХ и жесткой (CV), что дает возможность применить способ сварки тонкой проволокой. На рисунке 2 представлены внешние характеристики источника питания МС-1000 а соответственно для режимов CV и СС.

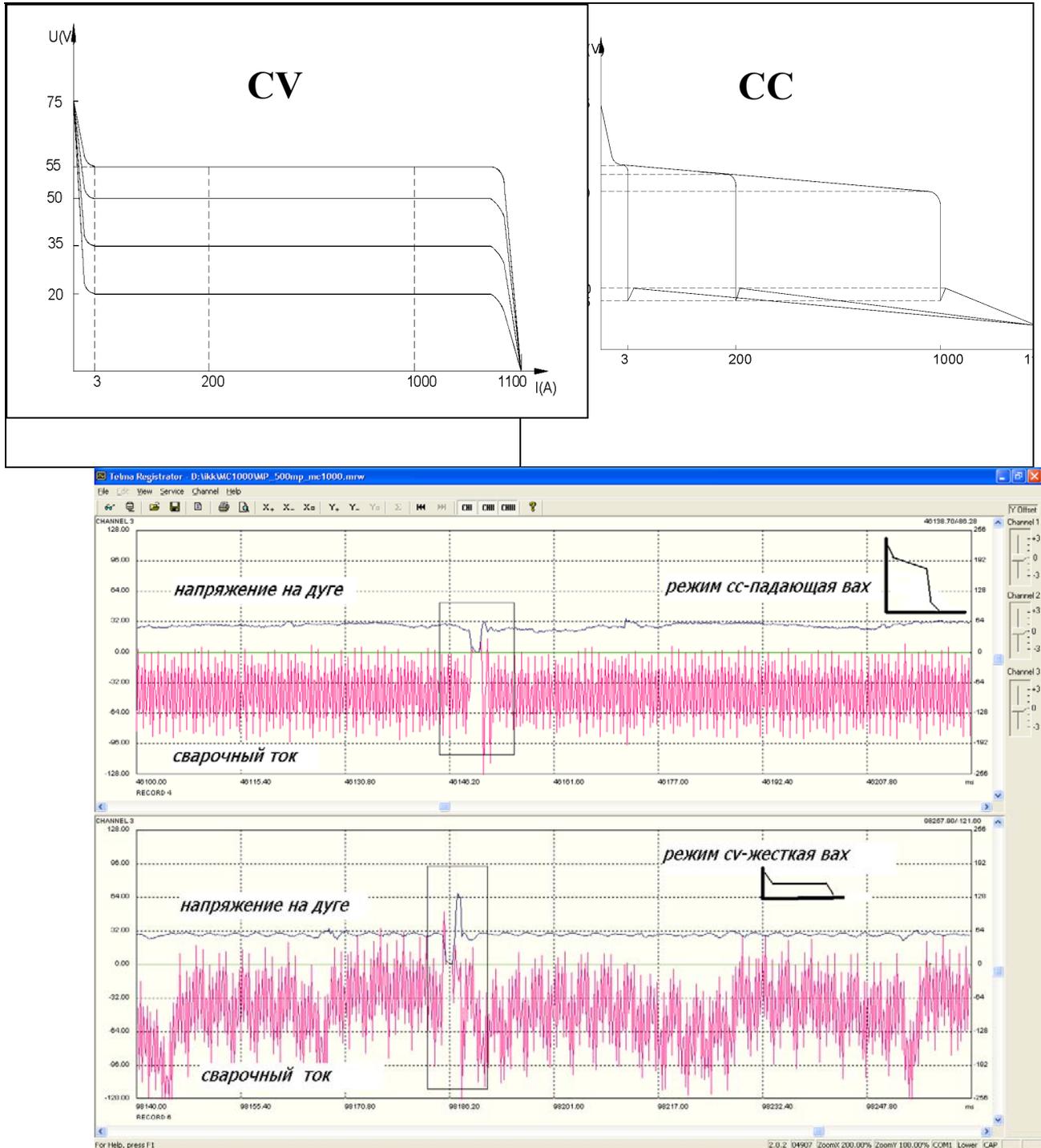


Рисунок 3. Регистрограмма процесса сварки под слоем флюса. Показан момент отработки возмущений при пересечении ранее наложенного сварного шва.

Наличие двух режимов работы СС и CV позволяет существенно расширить технологические возможности - практически в одном источнике реализованы два существующих алгоритмов работы тракторов типа ТС-17 и типа АДС-1000

Это позволяет практически во всех случаях выбирать лучший режим работы и поддерживать заданные формы и стабильные размеры сварного шва по всей его длине, в том числе и в случае пересечения сварных швов. Предусмотрена корректировка динамики процесса изменением значения параметра «Диаметр проволоки» регулятором на передней панели источника питания. В режиме ММА этим регулятором выставляется значение параметра «Arc Force».

Встроенный блок компенсации входного напряжения позволил существенно расширить область допустимых колебаний напряжения питающей сети до  $\pm 15$  от номинала. Блок защиты обеспечивает мгновенную реакцию на аварийные ситуации, такие как перегрев, перегрузка по току, неправильное подключение.

Ввод и контроль параметров режима осуществляется как на панели управления источника питания, так и, что весьма удобно, непосредственно на панели управления трактором с отображением значений на цифровом дисплее.

Источник после процесса сварки переходит в режим пониженного до 17 В напряжения холостого хода. Трактор может располагаться в 60 метрах от источника питания, при этом сварочные кабели 2x95 кв.мм сделают возможным сварку на токе 1000 А.

Существенно меньше габариты как источника, так и трактора, плавность хода и подача проволоки, широкий диапазон регулирования параметров режима, наличие лазерного указателя движения оси горелки – всё это и многое другое позволяет использовать автомат МС-1000А как решение самых технологически сложных сварочных задач.

Одним из преимуществ сварочных инверторных источников питания является существенно более низкая загрузка питающей энергосети по сравнению с выпрямителями, выполненными по традиционной схеме.

В инверторных источниках формирование требуемой внешней характеристики обеспечивается схемой управления IGBT модулей на основе сигналов обратной связи, что исключает необходимость в искусственном увеличении потоков рассеяния и соответственно обеспечивает высокие значения КПД и  $\cos\phi$ .

Как видно из таблицы 3 источник питания МС 1000 имеет несравнимые с традиционными источниками питания традиционных автоматов удельные энергетические показатели и материалоемкость.

Таблица 3 Сравнительные показатели параметров источников питания автоматов для сварки под слоем флюса.

Параметр	МС-1000 А	ВДУ-1001	ВДУ-1202
Номинальный ток при ПВ 100%,А	1000	900	1250
Потребляемая мощность, кВА	52	82	120
ПВ,%	100	80	100
Потребляемый первичный фазный ток,А	80	120	180
Масса, кг	110	500	630
Габариты, мм	810x345x1022	1160x690x1025	1080x685x885
Удельное энергопотребление = потребляемая мощность/номинальный вторичный ток, кВА/А	0,052	0,091	0,096
Удельная материалоемкость =масса/номинальный ток, кг/А	0,11	0,56	0,50
Относительное энергопотребление с учетом реактивной мощности,%	100	200	230

**Фотография сварных швов, выполненных автоматом МС-1000А.**

**СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ режим СС**

**СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ режим СВ**

