

УДК 621.791.75

Макаренко Н. А., Пресняков В. А., Грановская Н. А.

## УСТАНОВКА ДЛЯ МИКРОИМПУЛЬСНОЙ СВАРКИ

Для сварки металлов малой толщины из коррозионноустойчивых сталей и сплавов обычно применяется аргонодуговая сварка (TIG). Однако с уменьшением толщины свариваемого металла возникает вероятность прожогов. Для предотвращения подобного явления необходимо уменьшать силу сварочного тока. Однако при сварке металла толщиной менее 1 мм из-за снижения силы тока наблюдается пространственная неустойчивость дуги [1], что резко ухудшает условия сварки, требует высокой квалификации сварщика, снижается качество сварного соединения.

Кроме того значительная область нагрева основного металла приводит к большим термическим деформациям изделия. По этим причинам аргонодуговую сварку тонкого металла не применяют для автоматизированных процессов. Добиться пространственной устойчивости дуги и высокой концентрации тепла в пятне нагрева можно обжав дугу известными методами [1, 2].

Основываясь на этом принципе в ИЭС им. Е. О. Патона был разработан новый метод сварки – микроплазменная [2]. Для этого способа сварки в ИЭС им. Е. О. Патона был разработан ряд установок, позволяющих вести процесс как в ручном, так и в автоматическом режимах. Стабильность сварочной дуги позволила встраивать установки в автоматические линии по сварке особо тонкостенных труб, с толщиной стенки 0,3 мм, а также использовать в приборостроении [3]. Плазмотроны для микроплазменной сварки имеют жидкостное охлаждение и довольно громоздки, что затрудняет проведение работ в ручном режиме.

Целью данной работы было создание установки и способа сварки тонколистового металла, позволяющего вести процесс как в ручном, так и в автоматическом режимах легкой сварочной горелкой без водяного охлаждения.

Известно, что в силу динамических характеристик, которыми обладает сварочная дуга [1, 4, 5], при быстром изменении напряжения на ней ток дуги нарастает до значений, соответствующих данному напряжению с запозданием. Что связано с инерционностью процессов в столбе дуги, в том числе и с ограниченной скоростью расширения столба дуги.

Такие явления наблюдаются при скорости нарастания тока более  $dl/dt \geq 1,7 \times 10^6$  А/с [6]. Характерно, что при таком же быстром спаде напряжения, уменьшение тока до соответствующего этому напряжению значения также запаздывает. Вследствие чего динамические характеристики дуги имеют вид петли гистерезиса.

Следует отметить, что при высокой скорости спада напряжения спад тока дуги несколько задерживается по причине наличия в плазме дуги избыточного количества свободных носителей зарядов – ионов и электронов, то есть столб дуги обладает избыточной электропроводностью.

В то же время установлено, что для мало амперных дуг переходные процессы длятся на 2–3 порядка дольше, чем для сильноточных, их длительность составляет  $1-1,5 \times 10^{-3}$  с. Последнее объясняется инерционностью активных пятен дуги (анодного и катодного) [7, 8], что позволяет использовать динамические свойства дуги для стабилизации и обжатия мало амперной дуги. Необходимо отметить, что динамические свойства сварочной дуги известны давно, однако они не применялись как специфический фактор в процессе сварки целенаправленно. Использовать динамические свойства дуги можно, подавая на дуговой промежуток короткие импульсы тока с крутыми передними и задними фронтами, в паузах между импульсами горение дуги необходимо поддерживать небольшим током до 3 А.

На рис. 1 показан график тока дуги при микроимпульсной сварке.

Следует отметить, что переходные процессы при спаде тока несколько длиннее, чем при его нарастании, при этом явление блуждания дуги, вызывающее пространственную нестабильность, также значительно инерционнее, чем процессы, проходящие в дуге, в связи с чем длительность пауз может значительно превышать длительность импульсов.

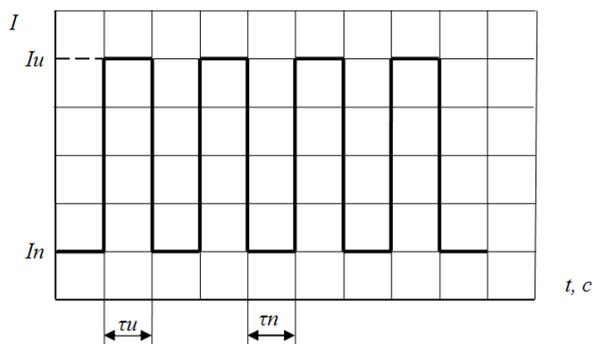


Рис. 1. График тока дуги при микроимпульсной сварке:

$I_u$  – ток импульса;  $I_n$  – ток паузы;  
 $t_u$  – время длительности импульса;  
 $t_n$  – время длительности паузы

Следовательно, при больших значениях  $dl/dt$  (из-за инерционности процессов расширения канала и активных пятен мало амперной дуги) можно кратковременно в свободно горящей дуге достичь плотностей тока, характерных для микроплазменной дуги. Более того, плотность тока микроплазменной дуги ограничивается вероятностью возникновения двойного дугообразования в плазмообразующем сопле, в то время как у свободно горящей дуги такой опасности нет, а, следовательно, их плотность тока может быть поднята до значительно больших величин. Длительность импульса тока должна быть соизмеримой с длительностью переходного процесса в мало амперной дуге, только в этом случае можно сохранить высокую плотность тока в столбе дуги и активных пятнах. Таким образом, для достижения высокой плотности тока в дуге необходимо обеспечить протекание импульсов тока с большими скоростями нарастания и спада тока при небольшой длительности импульса. Во время пауз между импульсами дуга будет гореть на небольшом 0,5–5 А дежурном токе. После окончания импульса тока в канале в канале столба дуги остаются свободные носители заряда, соответствующие току импульса, в связи с чем (согласно принципу минимума Штеенбека) дежурная дуга будет гореть по каналу дуги, образовавшемуся во время прохождения тока, то есть будет пространственно устойчивой. Длительность паузы необходимо выбирать такой, чтобы полностью завершить переходные процессы в дуге и ее геометрические размеры стали соответствовали бы малоамперной дежурной дуге.

Для проведения исследований была построена экспериментальная установка. При ее создании особое внимание уделялось обеспечению достижения высоких значений  $dl/dt$ . В качестве формирователя импульсов был применен мощный IGBT транзистор (рис. 2).

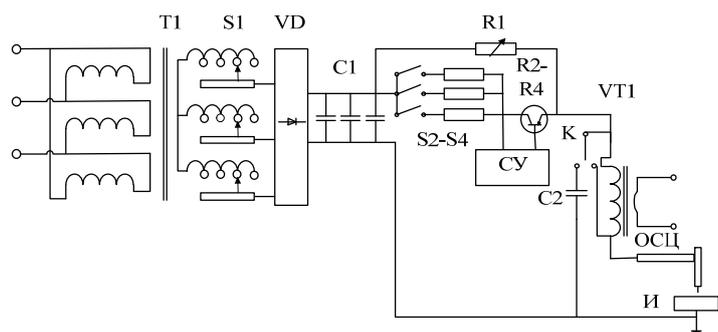


Рис. 2. Упрощенная электрическая схема установки микроимпульсной сварки:

$T_1$  – силовой трансформатор;  $S_1$  – переключатель напряжения;  $VD$  – диодный мостовой выпрямитель,  $C_1$  – накопительные конденсаторы;  $S_2-S_3$  – переключатели регулировки тока импульса;  $R_1$  – реостат регулировки тока паузы;  $R_2-R_4$  – безиндуктивные сопротивления;  $VT_1$  – силовой трансформатор;  $CY$  – схема управления;  $ОСЦ$  – осциллятор;  $C_2$  – конденсатор;  $\Gamma$  – горелка;  $И$  – изделие;  $К$  – контактор

В качестве диодов  $VD$  применены диоды типа ДЧ – допускающие большие значения  $dl/dt$ ; накопительные конденсаторы  $C_1$  исключают снижение скорости нарастания тока за счет индуктивности обмоток трансформатора  $T_1$ . Регулировка тока паузы осуществляется резистором  $R_1$ , а регулировка тока импульса резисторами  $R_2-R_4$ , имеющими низкую индуктивность. Параметры импульсов – их длительность и частота задаются схемой управления  $CY$ . Осциллятор  $ОСЦ$  служит для первоначального возбуждения дуги. В то же время высокочастотный импульсный трансформатор осциллятора имеет значительную индуктивность, которая снижает значение  $dl/dt$  в связи с чем после первоначального снижения возбуждения дуги осциллятор отключается,

а его импульсный трансформатор блокируется контактором К, при этом контактор отсоединяет заблокированный конденсатор С2, что способствует формированию крутого переднего фронта импульса.

Приведенная схема установки позволяет подавать на дуговой промежутке импульсы тока длительностью 0,5–1,5 с, в паузах между импульсами, горение дуги поддерживается небольшим током 0,3–3 А. Во время протекания тока импульса вследствие запаздывания расширения столба дуги и активного пятна на изделии энергия выделяется на узком участке, не создавая большого пятна нагрева. При этом уменьшаются термические деформации (по сравнению с обычной аргонодуговой сваркой). Так как столб дуги имеет малый диаметр, соответствующий току паузы небольшой величины, то, исходя из динамических свойств дуги, во время протекания тока импульса напряжение на столбе резко увеличивается, что приводит к повышению энергии, выделяемой в столбе дуги, резкому росту температуры в нем и увеличению степени ионизации.

Таким образом дуга в этот момент приближается по своим свойствам к микроплазменной. При окончании короткого импульса в столбе сохраняется большое количество свободных носителей зарядов, его проводимость оказывается высокой, также увеличенными в диаметре остаются и активные пятна дуги. Вследствие этого, дежурная дуга горит по оставшемуся после прохождения импульса каналу, чем и достигается высокая пространственная стабильность этой дуги.

В установке используется стандартная аргонодуговая горелка Г, рассчитанная на ток 160 А и не имеющая жидкостного охлаждения.

Проведенные испытания показали высокую эффективность разработанного процесса при сварке коррозионностойких сталей и сплавов.

## ВЫВОДЫ

Разработанное оборудование и способ микроимпульсной сварки позволяет получать качественное сварное соединение металлов малой толщины из коррозионностойких сталей и сплавов. Электрическая схема установки позволяет обеспечить стабильность микроимпульсного процесса. Высокая эффективность разработанного процесса и оборудования доказана промышленными испытаниями.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ленивкин В. А. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах / В. А. Ленивкин, Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагитов. – М. : Машиностроение, 1989. – 263 с.
2. Патон Б. Е. Микроплазменная сварка / Б. Е. Патон, В. С. Гвоздецкий, Д. А. Дудко. – Киев : Наукова думка, 1979. – 245 с.
3. Лесков Г. И. Электрическая сварочная дуга / Г. И. Лесков. – М. : Машиностроение, 1970. – 334 с.
4. Вагнер Ф. А. Оборудование и способы сварки пульсирующей дугой / Ф. А. Вагнер. – М. : Энергия, 1980. – 116 с.
5. Дюргеров Н. Г. Оборудование для импульсно дуговой сварки плавящимся электродом / Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагитов, В. А. Ленивкин. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 80 с.
6. Применение динамических характеристик сварочной дуги при ТИГ-сварке тонколистового металла / Н. А. Макаренко, А. Д. Кошевой, Н. А. Грановская, В. В. Синельник // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – № 1(18). – С. 186–189.
7. Макаренко Н. А. Влияние разнополярно-импульсного режима горения плазменной дуги на жидкую металлическую ванну / Н. А. Макаренко, А. А. Богуцкий, Н. А. Грановская // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – № 2(19). – С. 42–77.
8. Макаренко Н. А. Исследование электроэнергетических характеристик плазменной сварки неплавящимся электродом и эффективности нагрева плазменной дугой / Н. А. Макаренко // Сварочное производство в машиностроении: перспективы и развитие : тез. докл. II Междунар. науч.-техн. конф. 05–08 октября 2010. – Краматорск : ДГМА, 2010. – С. 37.