

УДК 621.791.754

Сидорец В. Н., Жерносеков А. М., Рымар С. В.

ИМПУЛЬСНО-ДУГОВАЯ СВАРКА КАК ОСНОВА СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

Сварочные процессы являются неотъемлемой частью большинства производственных процессов, например, в машиностроении, строительстве, химической, аэрокосмической, автомобильной, судостроительной промышленности, трубопроводном транспорте. Среди дуговых процессов сварка плавящимся электродом в защитных газах занимает ведущее место в промышленности Западной Европы, США, Японии, КНР. Этот способ обладает высокой производительностью, обеспечивает качество сварных соединений, а также предоставляет возможность автоматизации процесса. Особое место среди дуговых процессов занимает импульсно-дуговая сварка (ИДС) плавящимся электродом. Она применяется для сварки многих материалов, например, углеродистых конструкционных сталей, алюминиевых сплавов, сплавов на основе меди [1, 2]. Необходимо также отметить использование ИДС в новых комбинированных, двухдуговых технологиях, а также в гибридных лазерно-дуговых процессах [3–7].

Целью работы являлось исследование технологической и энергетической эффективности процесса ИДС. Для этого были решены следующие основные задачи: проанализированы тенденции совершенствования технологий ИДС и оборудования для реализации этого способа; исследованы закономерности процесса плавления электрода при сварке плавящимся электродом в среде защитных газов; выявлены пути увеличения скорости его расплавления за счет применения импульсных воздействий; исследованы особенности применения импульсной дуги с плавящимся электродом и импульсного лазерного излучения в гибридных лазерно-дуговых сварочных технологиях.

Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах эффективно применяется при сварке разнообразных металлов и сплавов, а также во многих комбинированных технологиях (рис. 1). Так, например, способ сварки «Speed Pulse» позволяет за один импульс сбрасывать несколько капель электродного металла. Фирма Fronius предложила процесс сварки CMT-Advanced-Pulse. При этом отделение капли происходит как в момент короткого замыкания, так и в момент действия импульсов обратной полярности. Таким образом, совмещаются два типа переноса металла электрода – перенос с короткими замыканиями (CMT) и импульсно-дуговой процесс (Pulse). Фирма Fronius также предложила двухдуговой гибридный процесс CMT Twin, который соединяет преимущества процесса CMT и импульсного процесса. Развивается направление, связанное с ИДС, при котором базовый ток дуги изменяет полярность (MAG AC), таким образом, уменьшается тепловложение и устраняется магнитное «дутье». ИДС получила развитие в технологических процессах Time Twin, Pulse MIG/MAG-Laser и Time Twin-Pulse MIG/MAG-Laser, где соответственно применяется две импульсные дуги, импульсная дуга и лазер, три импульсные дуги и лазер.

Дуговые способы сварки плавящимся электродом занимают ведущее место в промышленности передовых стран мира. Они являются основной научной базой для разработки новых перспективных сварочных технологий. Поскольку виды переноса металла электрода, во многом, определяют технологию сварки плавящимся электродом, важным остается воздействие на процесс посредством источника питания дуги как наиболее быстродействующего и эффективного аппаратного средства, позволяющего изменять параметры и форму сварочного тока.

Таким образом, разработка современного электросварочного оборудования, которое реализует различные виды переноса металла электрода, должна происходить с применением импульсно-дугового процесса сварки.

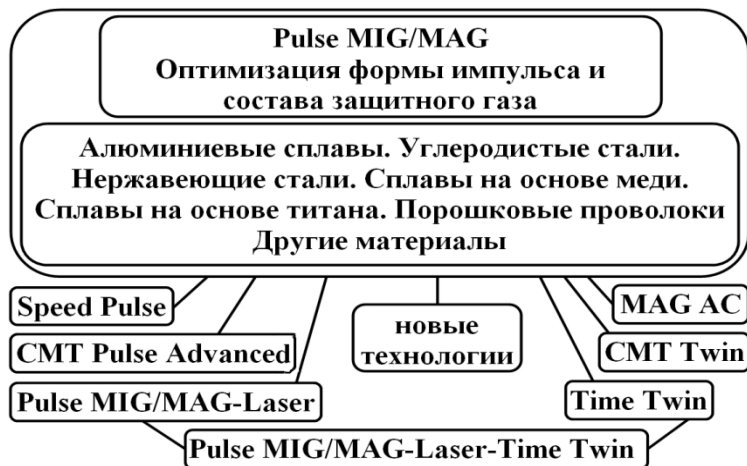


Рис. 1. Развитие процесса импульсно-дуговой сварки

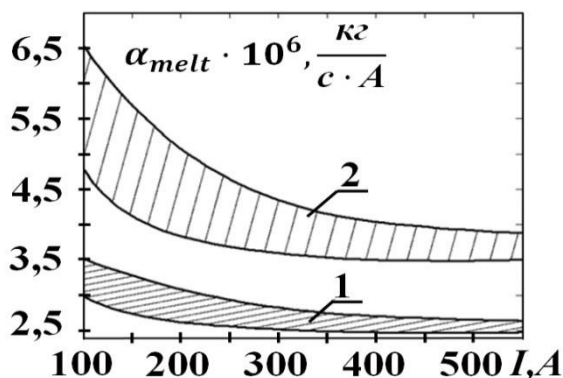


Рис. 2. Зависимость коэффициента расплавления α_{melt} для сварки на обратной полярности на постоянном токе (1) и для импульсно-дуговой сварки (2)

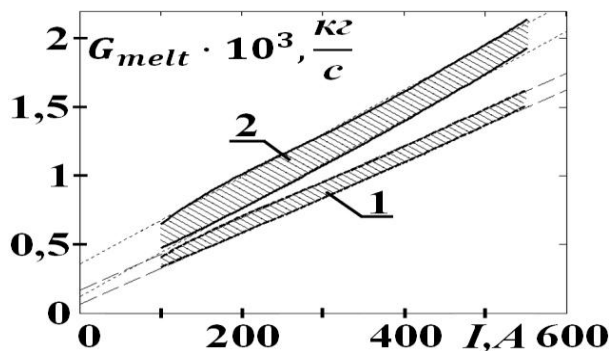


Рис. 3. Зависимости скорости расплавления G_{melt} от тока при наличии испарения с поверхности капли (1) и его отсутствия (2)

Созданная расчетно-аналитическая методика определения коэффициента расплавления электрода при дуговой сварке позволяет определять закономерности его изменения в зависимости от сварочного тока, его вида и полярности, от температуры капли электродного металла, а также учитывает испарение с поверхности капли и подогрев электрода. С ее помощью было показано, что при дуговой сварке значительно возрастает эффективность плавления электрода на режимах с малым испарением металла. Такие режимы осуществимы в широком диапазоне токов только при импульсно-дуговой сварке, что повышает энергетическую и экономическую эффективность сварочного процесса. Коэффициент расплавления при обратной полярности для импульсно-дуговой сварки углеродистых сталей в 1,75 раза при малых токах и в 1,5 раза при больших токах больше, чем коэффициент расплавления для

сварки на постоянном токе (рис. 2). Использование установленного авторами линейного закона для аппроксимаций зависимостей скорости расплавления металла электрода при дуговой сварке дает высокую точность во всем диапазоне сварочных токов и для различных случаев протекания сварочного процесса: без испарения металла электрода, с испарением, а также с предварительным подогревом электрода (рис. 3) и позволяет использовать его для обработки сигналов в реальном времени.

Разработанные методики позволяют анализировать поведение зависимостей коэффициента расплавления электрода, массовой скорости его плавления и коэффициента полезного действия процесса плавления электрода. Процесс сварки с соосным упорядоченным отрывом капли расплавленного металла электрода, уменьшение теплоотвода с поверхности капли и электрода, подогрев электрода проходящим током повышает технологическую и энергетическую эффективность сварочного процесса.

Наибольшим коэффициентом полезного действия и наилучшими технологическими параметрами (коэффициентом расплавления и массовой скоростью плавления) характеризуются интенсивные процессы сварки с большими плотностями тока в электроде.

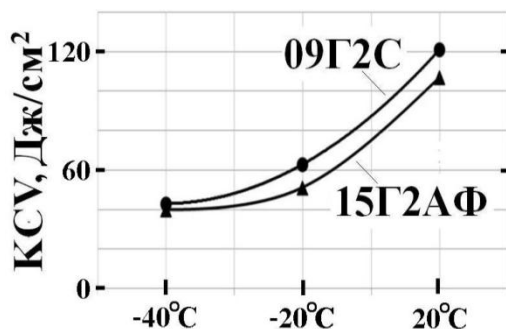


Рис.4. Ударная вязкость металла швов

Таблица 1

Механические свойства сталей

Стали	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	Зона
15Г2АФ, 16 мм	524	669	28,3	66,0	Ш
	440	590	20,0	—	ОМ
09Г2С, 12 мм	420	617	35,0	67,9	Ш
	345	490	21,0	—	ОМ

Примечание: Ш – шов; ОМ – основной металл

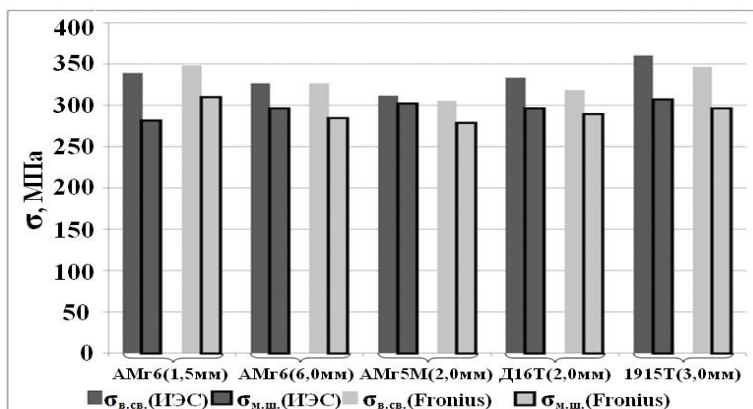


Рис. 5. Показатели механических свойств сварных соединений и металла швов

Установлено, что использование источника со специализированными многоуровневыми импульсами сварочного тока при ИДС сталей и алюминиевых сплавов позволяет осуществлять регулирование среднего сварочного тока в широком диапазоне режимов с обеспечением капельного переноса по принципу «один импульс – одна капля». Экспериментально исследованные механические свойства металла швов и сварных соединений позволяют сделать вывод об эффективности разработанного оборудования, созданного в ИЭС им. Е.О. Патона, в котором используется принцип разделения импульсного теплового и импульсного силового влияния на каплю электродного металла (рис. 4, 5; табл. 1).

Исследования импульсной лазерно-дуговой сварки стыковых и наплавочных швов выполнялись на углеродистых сталях Ст3пс и 09Г2С, алюминиевом сплаве АМг6 и нержавеющей стали 08Х18Н10Т. Определено, что применение ИДС перспективно при создании лазерно-дуговых технологий за счет совместного теплового и силового воздействия импульсного лазерного излучения и импульсной дуги с плавящимся электродом в защитных газах. Причем дугу необходимо питать специализированными многоуровневыми импульсами с частотой следования, близкой либо кратной частоте импульсов лазерного излучения (рис. 6–8).

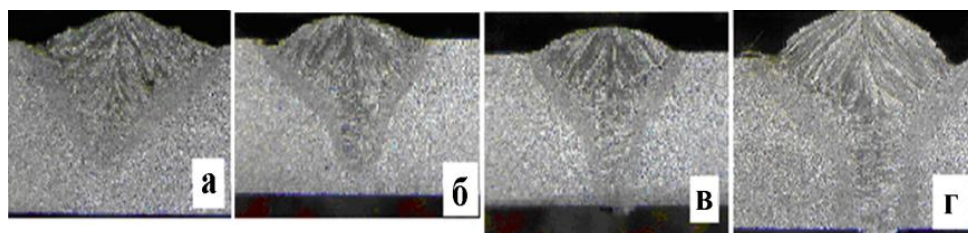


Рис. 6. Макроструктура стали Ст3пс (5мм) при лазерно-дуговой сварке: а) непрерывный режим; б) импульсный $f_d:f_l=100:200$ Гц, в) импульсный $f_d:f_l = 100:100$ Гц; г) импульсный $f_d:f_l = 200:200$ Гц

Одновременное применение импульсного воздействия лазерного излучения и сварочного тока при сварке аустенитной нержавеющей стали позволило (по сравнению с аналогичной непрерывной гибридной сваркой) снизить твердость швов на 10–12%, на 10–15% понизить в них содержание δ -феррита и в 1,5–2 раза уменьшить ширину кристаллитов. Твердость ЗТВ при этом может незначительно возрасти (до 8%). В обоих рассмотренных случаях сварки балл зерна в ЗТВ не меняется по сравнению с основным металлом.

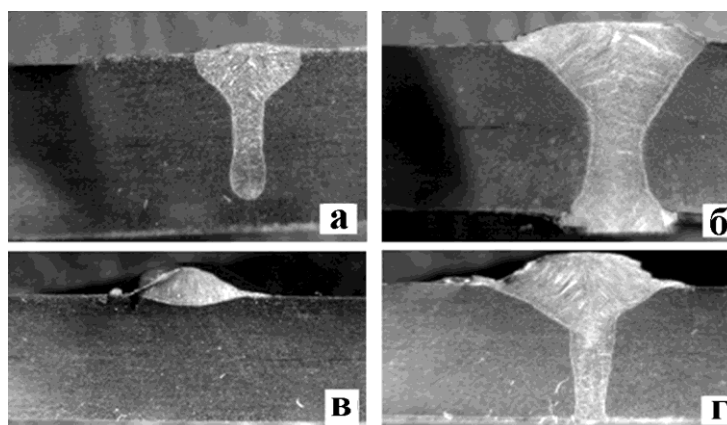


Рис. 7. Макрошлифы металла швов стали 08Х18Н9Т: а) лазерная сварка; б) лазерно-дуговая в непрерывном режиме; в) импульсно-дуговая; г) лазерно-дуговая в импульсном режиме $f_d:f_l = 50:50$ Гц

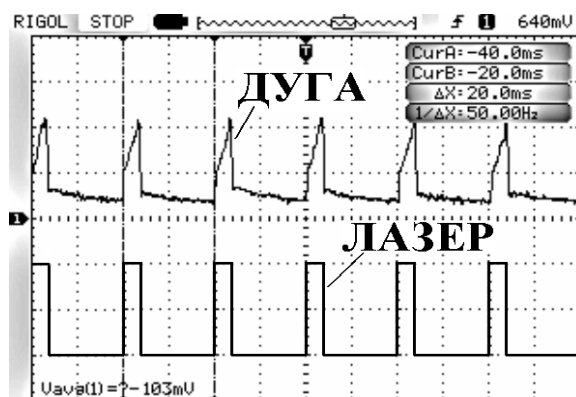


Рис. 8. Осциллограммы импульсов сварочного тока при ИДС и импульсов лазерного излучения

В результате проведенных исследований можно сделать заключение, что разработанные подходы совершенствования процесса ИДС эффективны при создании сварочного оборудования и технологий сварки, которые обеспечивают качество швов и сварных соединений выше полученных с применением традиционных технологий.

ВЫВОДЫ

1. Показана перспективность применения импульсно-дуговых процессов при создании новых высокоэффективных сварочных технологий.
2. При импульсно-дуговой сварке существенно возрастает эффективность плавления электрода на режимах с малым испарением металла, что повышает энергетическую и экономическую эффективность сварочного процесса.
3. Разделение процессов плавления и переноса металла электродной проволоки и применение специализированных многоуровневых импульсов сварочного тока являются эффективным путем решения многих технологических задач.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жерносеков А.М. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) / А.М. Жерносеков, В.В. Андреев // Автоматическая сварка. – 2007. – № 10. – С. 48–52.
2. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом алюминиевых сплавов с регулируемой формой импульсов / Т.М. Лабур, А.М. Жерносеков, М.Р. Яворская, М.П. Пацуля // Сварочное производство. – 2013. – № 11. – С. 3–7.
3. МИГ/МАГ сварка тандемом / С. Геке, Й. Хедергард, М. Лундин, Г. Кауфманн // Сварочное производство. – 2002. – № 4. – С. 30–35.
4. Рекламная информация фирмы Fronius: CMT ADVANCE: специалист по сварке тонкого металла // Автоматическая сварка. – 2010. – № 10. – С. 67–68.
5. Ках П. Особенности применения гибридной лазерно-дуговой сварки (Обзор) / П. Ках, А.Салминен, Дж. Мартикаинен // Автоматическая сварка. – 2010. – № 6. – С. 38–47.
6. Кайтель С. Технологии гибридной лазерно-дуговой сварки кольцевых швов на магистральных трубопроводах / С. Кайтель, Я. Нойберт // Автоматическая сварка. – 2014. – № 4. – С. 37–43.
7. Жерносеков А.М. Импульсная лазерно-дуговая сварка углеродистых сталей / А.М. Жерносеков, В.Ю. Хаскин, Т.Н. Набок // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 5/1(71). – С. 12–16.