

Предлагаемое изобретение относится к области механизированной сварки или наплавки с регулярно изменяемой, в том числе импульсной подачей плавящегося электрода и с регулированием дуги.

Существует несколько способов принудительного регулирования дуги при механизированной дуговой сварке: путем регулирования скорости подачи электрода по напряжению или току на дуге и др. - и один способ сварки с саморегулированием дуги [1]. Последний заключается в том, что плавящийся электрод, преимущественно электродную проволоку, подают в зону сварки с постоянной скоростью, а заданные длина дуги и, соответственно, напряжение сварки (напряжение дуги) устанавливаются самопроизвольно благодаря реакции источника на изменение указанных параметров. Случайное увеличение дуги вызывает уменьшение тока от сварочного источника, что приводит к уменьшению скорости плавления электрода, а после уменьшения длины дуги ток от источника увеличивается, что сопровождается увеличением скорости плавления электрода.

Дуговая сварка с импульсной подачей плавящегося электрода [2] основана на использовании принципа саморегулирования дуги. Как показала практика, процесс саморегулирования протекает вяло, если средняя плотность тока на электроде, определяемая как частное от деления среднего (эффективного) тока на площадь сечения электрода, менее 35 А/мм^2 . В таком случае при жесткой вольт-амперной характеристике ВАХИ источника ($\Delta U/\Delta I = 0$) возникают частые естественные обрывы дуги, а при падающей ВАХИ ($\Delta U/\Delta I \geq 0,8 \text{ В/А}$) усиливается опасность коротких замыканий электрода на изделие.

Средний (эффективный) ток дуги находят по соотношению

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{и}} \cdot \tau_{\text{и}} + I_{\text{п}} \cdot \tau_{\text{п}}}{\tau_{\text{и}} + \tau_{\text{п}}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{и}}$, $I_{\text{п}}$ - ток дуги в импульсе и паузе, соответственно;

$\tau_{\text{и}}$, $\tau_{\text{п}}$ - длительности импульса и паузы.

Обычно при малой плотности тока на электроде переходят к системам с принудительным регулированием дуги, упомянутым выше. Такие системы сложнее и дороже, чем системы с саморегулированием дуги.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования известного способа сварки с саморегулированием дуги при периодически изменяемой скорости подачи плавящегося электрода за счет изменения длительности паузы (периода уменьшения скорости подачи электрода), выбора вольт-амперной характеристики источника питания, а также подбора напряжения холостого хода источника питания в период упомянутой паузы, что позволит реализовать саморегулирование дуги в случае малой плотности тока на электроде, менее 35 А/мм^2 , тем самым повысить устойчивость горения дуги в более широком диапазоне сварочных токов и улучшить качество швов, выполненных механизированной дуговой сваркой с саморегулированием дуги.

Решение поставленной задачи достигается тем, что в способе механизированной дуговой сварки с периодическим уменьшением скорости подачи плавящегося электрода и с питанием дуги от источника тока, имеющего жесткую или пологопадающую вольт-амперную характеристику, а также от источника тока с крутопадающей вольт-амперной характеристикой, длительность паузы (периода уменьшения скорости подачи электрода) увеличивают до тех пор, пока межэлектродный промежуток $l_{\text{дп}}$ не возрастает в паузе до значения, превышающего длину металлической капли, образующейся на конце плавящегося электрода, но менее межэлектродного промежутка $l_{\text{е0}}$, соответствующего естественному обрыву дуги, для чего в импульсе подачи электрода дугу питают от источника с жесткой или пологопадающей, а в паузе - крутопадающей вольт-амперной характеристикой, при этом напряжение холостого хода источника питания $U_{\text{ххп}}$ в паузе устанавливают выше напряжения дуги $U_{\text{е0}}$, соответствующего межэлектродному промежутку $l_{\text{е0}}$ в момент естественного обрыва дуги.

Совокупность существенных признаков заявляемого изобретения состоит в сочетании повышенной длительности паузы, т.е. периода уменьшения скорости подачи электрода, с попеременным питанием дуги: от источника тока с жесткой или пологопадающей вольт-амперной характеристикой в период импульса и от источника тока с крутопадающей вольт-амперной характеристикой - в период паузы подачи электрода. Длительность паузы ограничивается по минимуму и максимуму. Минимальная длительность паузы равна длительности процесса увеличения длины межэлектродного промежутка $l_{\text{дп}}$ (т.е. расстояния между концом плавящегося электрода и металлической ванной) до значения, превышающего длину металлической капли, образующейся на конце плавящегося электрода. Максимальная длительность паузы не должна быть более длительности процесса увеличения длины межэлектродного промежутка до значения, равного $l_{\text{е0}}$, т.е. длины дуги, при которой происходит ее естественный обрыв. Отличительным признаком заявляемого изобретения является также требование к источнику питания с крутопадающей характеристикой, чтобы его напряжение холостого хода было выше напряжения дуги $U_{\text{е0}}$ в момент ее гипотетического естественного обрыва (которого нельзя допустить), когда длина дуги достигает значения $l_{\text{е0}}$.

При способе сварки, взятом за прототип, длительность паузы выбирают небольшой, которая обычно не превышает длительности увеличения межэлектродного промежутка на величину, равную длине металлической капли, а скорость плавления электрода в паузе остается практически такой же, как и в импульсе, поскольку при переходе от импульса к паузе параметры источника питания не изменяют: жесткая или пологопадающая вольт-амперная характеристика с постоянным напряжением холостого хода, которое существенно меньше напряжения источника питания с крутопадающей вольт-амперной характеристикой,

Сварку по способу, взятому за прототип, осуществляют, как правило, на "длинной дуге", когда длина межэлектродного промежутка существенно превышает длину металлической капли. В этом случае частоту следования импульсов подачи проволоки поддерживают приблизительно равной частоте образования капель металла; импульсами подачи проволоки "страхивают" капли с конца электродной проволоки.

При сварке по предлагаемому способу длину дуги изменяют в более широких пределах, соответственно увеличивают и длительность паузы. Авторами обнаружена закономерность, что увеличение длительности

паузы сопровождается повышением значения тока в импульсе, а это соответствует формуле (1) и ее производной

$$I_{ид} = \frac{I_{ср} (\tau_{и} + \tau_{п}) - I_{ид} \cdot \tau_{п}}{\tau_{п}} \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что при неизменном значении $U_{ср}$ ток в импульсе будет тем большим, чем будет меньше значение длительности импульса (а при неизменной частоте следования импульсов это означает необходимость увеличения длительности паузы).

Повышенный ток в импульсе необходим для избежания короткого замыкания электродной проволоки на изделие, а также для обеспечения достаточной глубины проплавления основного металла.

Минимальная длительность паузы подачи электродной проволоки должна быть больше длительности процесса увеличения длины межэлектродного промежутка до значения, превышающего длину металлической капли, для того, чтобы избежать замыкания капли на металлическую ванну, когда с начала импульса подачи электродной проволоки межэлектродный промежуток начнет сокращаться. Если такое произойдет, в период импульсной подачи электродной проволоки возникает короткое замыкание электрода на изделие, и дуговой процесс прекратится.

Максимальная длительность паузы подачи электродной проволоки должна быть меньше длительности процесса увеличения длины межэлектродного промежутка до значения, равного длине дуги, при которой происходит ее естественный обрыв, для того, чтобы избежать прерывания дугового процесса.

Использование в паузе подачи электродной проволоки источника питания с крутопадающей вольт-амперной характеристикой, имеющего повышенное напряжение холостого хода, позволяет получить два полезных эффекта: 1 - предотвратить естественный обрыв дуги при существенном увеличении длительности паузы; 2 - увеличить длительность паузы. Естественный обрыв дуги предотвращается благодаря тому, что напряжение холостого хода источника выше, чем напряжение естественного обрыва дуги, а поэтому источник питания обеспечивает энергетические условия для продолжения электрического разряда в газах, т.е. дуги. Этому способствует также крутопадающий характер вольт-амперной характеристики источника питания, который, как известно, является оптимальным для дуги с малой плотностью тока на электроде.

Увеличение длительности паузы достигается с помощью двух факторов: увеличенной длины межэлектродного промежутка; 2 - малого сварочного тока (при уменьшении тока скорость плавления электрода, как известно, снижается). Уменьшение тока в паузе обусловлено переходом на питание от источника тока с крутопадающей вольт-амперной характеристикой, существенно ограничивающей значение тока.

Дуга не может погаснуть в период паузы по той причине, что ее поддерживает источник питания с крутопадающей вольт-амперной характеристикой. В период импульса подачи электрод не может замкнуться на изделие по той причине, что источник питания с жесткой вольт-амперной характеристикой "вырабатывает" сварочный ток такой величины, какой достаточно, чтобы поднять скорость плавления до значения не меньше скорости его подачи.

Таким образом, предлагаемый способ сварки превосходит способ, взятый за прототип, амплитудой изменения длины межэлектродного промежутка и отношением тока в импульсе к току в паузе. Это создает возможность уменьшить средний эффективный ток дуги при одновременном повышении устойчивости горения дуги на малых токах.

Предложение поясняется чертежами, где фиг.1 соответствует способу сварки с импульсной подачей плавящегося электрода и с саморегулированием дуги, взятому за прототип, а фиг. 2 - предлагаемому способу сварки с импульсным саморегулированием.

При сварке по способу с традиционным саморегулированием (фиг.1) применяют источник питания с жесткой или пологопадающей ВАХИ. Кривая $V_{еи}$ означает "стационарную" ВАХ сварочной головки с постоянной скоростью подачи плавящегося электрода, равной скорости его подачи в импульсе $V_{еи}$ для "динамического" режима, принятого в способе, взятом за прототип. Кривая $V_{еи}$ отвечает "стационарной" ВАХ сварочной головки при скорости подачи электрода, принятой в паузе $V_{еп}$. Другими словами, $V_{еи}$ и $V_{еп}$ - две вольт-амперные характеристики одной сварочной головки для двух крайних установившихся процессов с соответствующими скоростями подачи электрода в импульсе и паузе. $V_{ес}$ - вольт-амперная характеристика сварочной головки в гипотетическом процессе, когда установившаяся средняя скорость подачи электрода равна

$$V_{ес} = \frac{V_{ес} \cdot \tau_{и} + V_{еп} \cdot \tau_{п}}{\tau_{и} + \tau_{п}} \quad (3)$$

где $\tau_{и}$ и $\tau_{п}$ - длительность импульса и паузы соответственно. Часто используют такую модуляцию скорости подачи плавящегося электрода, при которой $V_{еп} = 0$. В этом случае кривой $V_{еп}$ на фиг.1 нет.

В реальном процессе сварки или наплавки длительности импульса $\tau_{и}$ и $\tau_{п}$ паузы весьма ограничены и исчисляются десятками и сотыми долями секунды, поэтому ни в импульсе, ни в паузе процесс горения дуги не является установившимся. Действительное напряжение дуги в паузе $U_{пд}$ всегда меньше номинального напряжения дуги в паузе $U_{пн}$, а действительный ток дуги $I_{пд}$ в паузе больше номинального $I_{пн}$. В импульсе действительный ток $I_{ид}$ может быть больше номинального $I_{ин}$, напряжение $U_{ид}$ - меньше номинального $U_{ин}$.

Под номинальными значениями напряжения $U_{пн}$, $U_{ин}$ и тока $I_{пн}$, $I_{ин}$ в паузе и импульсе подачи электрода понимают соответствующие параметры режима сварки в установившихся процессах при постоянных скоростях подачи электрода $V_{еп}$ и $V_{еи}$.

Обобщенная осциллограмма напряжения представляет собой экспонентоподобную кривую с минимумом $U_{ид}$ и максимумом $U_{пд}$ (фиг.1в). Процесс ведут таким образом, что $U_{пд}$ никогда не поднимается до значения $U_{ео}$, а $U_{ид}$ никогда не опускается до значения $U_{дн}$ (здесь $U_{дн}$ - номинальное напряжение дуги, т.е. минимальная разность потенциалов между электродами, при котором в данных условиях: среда, материал и диаметр

электрода, скорость его подачи - возможен устойчивый процесс горения дуги). Это означает, что модуляцию скорости подачи электрода осуществляют в остро ограниченном диапазоне параметров τ_i и τ_n .

Электрод "е" имеет различные положения в зависимости от фазы импульсной печи. Эти положения на фиг. 1а обозначаются длиной межэлектродного промежутка: $I_{ид}$ при напряжении дуги $U_{ид}$ - в конце импульса подачи, $I_{пд}$ при напряжении $U_{пд}$ - в конце паузы подачи электрода. $I_{ид}$, как правило, меньше $I_{ин}$ - межэлектродного промежутка, соответствующего номинальному напряжению дуги в импульсе $U_{ин}$, а $U_{пд}$ всегда меньше $U_{пн}$, соответствующему номинальному напряжению дуги в паузе $U_{пн}$, и, конечно, меньше длины $l_{е0}$ обрыва дуги при напряжении $U_{е0}$.

При сварке по способу, взятому за прототип (фиг.1), значение среднего тока $I_{ср}$ должно быть таким, чтобы средняя плотность тока на электроде была более 35 А/мм^2 . Этой "номинальной" плотности тока соответствует "номинальный" ток $I_{нс}$, необходимый для реализации принципа саморегулирования дуги (условное значение, на фиг.1 не показано). В рассматриваемом случае $I_{нс} < I_{ср}$. В практике существует потребность выполнять сварку и наплавку на малом токе, при котором плотность тока на электроде менее 35 А/мм^2 (сварка металла малой толщины, прецизионная наплавка). Чтобы сохранить устойчивость дуги в таких условиях, необходимы специальные меры регулирования дуги. Традиционный способ принудительного регулирования непригоден из-за сложности аппаратуры и ее дороговизны. Принцип саморегулирования можно было бы использовать при одновременном соблюдении двух условий: а - увеличение плотности тока на электроде в течение импульса за счет повышения скорости его подачи; б - сохранение устойчивости дуги в течение паузы при минимальном токе дуги. Известный способ сварки с импульсной подачей проволоки и с саморегулированием дуги не удовлетворяет обоим условиям в силу внутренних противоречий, присущих этому способу. Рассмотрим возможность повышения тока в импульсе при сохранении $I_{ср} < I_{нс}$. Из формулы (2), полученной на основании соотношения (1), следует, что повышение I_i возможно за счет уменьшения I_n и увеличения τ_i . Поскольку сварку ведут с остановками подачи электрода в паузе, дальнейшее уменьшение I_n невозможно. Однако и увеличение τ_n очень сильно ограничено, практически невозможно из-за того, что напряжение дуги не может быть увеличено более $U_{пд}$, которое всегда ниже $U_{е0}$.

Поскольку ВАХИ - жесткая или пологопадающая характеристика, приращение $\Delta U = U_{пд} - U_{ид}$ незначительно, соответственно невелико и приращение межэлектродного расстояния $\Delta l = l_{пд} - l_{ид}$, поэтому и длительность паузы должна быть всегда небольшой. По существу известный способ сварки с импульсной подачей электрода, взятый за прототип, есть разновидность традиционного способа механизированной дуговой сварки с саморегулированием, отличающийся от последнего лишь тем, что осуществляется контролируемая флюктуация скорости подачи электрода с сохранением среднего ее значения не ниже определенного критического уровня. Раздвинуть пределы изменения напряжения дуги можно было бы за счет увеличения крутизны ВАХИ, но при этом саморегулирование дуги ухудшается, возможны периодические короткие замыкания электрода на изделие. Соответствующим образом, при сварке известным способом с импульсной подачей электрода невозможно удовлетворить второму условию - сохранения устойчивости дуги при минимальном токе. Как известно, малоамперные дуги устойчивы, если источник питания имеет крутопадающую ВАХИ, однако по условию реализации принципа саморегулирования дуги источник обладает жесткой или пологопадающей ВАХ. Таким образом, способ сварки с импульсной подачей электрода и традиционным саморегулированием дуги неприменим в случаях, когда плотность тока на электроде менее 35 А/мм^2 , что обуславливается внутренними противоречиями, присущими системе саморегулирования дуги (система включает в себя источник питания и сварочную головку с их вольт-амперными характеристиками).

От упомянутых противоречий свободна система с импульсным саморегулированием, содержащая источник питания с двумя ВАХИ: крутопадающей ВАХИп и пологопадающей (или жесткой) ВАХИи - и сварочную головку с импульсной подачей электрода (фиг.2).

Принципиальное отличие предлагаемого способа сварки от способа, взятого за прототип, заключается в том, что в процессе сварки дугу в паузе питают от источника с крутопадающей ВАХИп, у которого напряжение холостого хода $U_{хх}$ намного выше, чем $U_{е0}$ при весьма большом значении последнего, превышающем $U_{хх}$ источника, используемого при сварке способом, взятым за прототип (фиг.1).

Это означает, что в процессе паузы длина дуги может быть увеличена от весьма малой $l_{ид}$ до весьма большой $l_{пд}$, которая может превышать $l_{ид}$ в несколько раз (по потребности). Крутопадающий характер ВАХИп обеспечивает устойчивость дуги при весьма малых значениях тока дуги $I_{пд}$. Этим удовлетворяется упомянутое выше условие "б" стабильного горения дуги при сварке с использованием принципа саморегулирования. Как следует из формулы (2), за счет увеличения (которое стало возможным благодаря возрастанию $\Delta l = l_{пд} - l_{ид}$) второе слагаемое увеличивается, поэтому возрастает и значение тока импульса $I_{ид}$ при неизменном среднем токе $U_{ср}$. Как следует из фиг.2в, предлагаемый процесс импульсного плавления дуги с импульсным саморегулированием протекает в режиме автоколебания в заданных пределах межэлектродного промежутка ($l_{ид}$ и $l_{пд}$) и напряжения дуги ($U_{ид}$ и $U_{пд}$). Сравнение фиг.1 и 2 показывает, что упомянутые пределы в предлагаемом способе сварки намного шире, чем в способе, взятом за прототип. Это иллюстрируется обобщенными осциллограммами напряжения (фиг. 2в), где пунктирными линиями дана осциллограмма напряжения при сварке по способу, взятому за прототип.

Предел увеличения межэлектродного промежутка в паузе в несколько раз по сравнению с промежутком в импульсе зависит от того, насколько необходимо увеличить ток в импульсе по отношению к среднему току: с увеличением τ_n возрастает $I_{ид}/I_{ср}$. Максимальная длительность паузы, а значит, и длина межэлектродного промежутка ограничивается требованиями надежности защиты дуги от воздуха и оптимальным формированием валика шва. Обычно при сварке в защитных газах длина дуги не превышает 6-8 мм. Нижний предел увеличения длины межэлектродного промежутка подбирают из условия получить ощутимый эффект от увеличения длительности паузы.

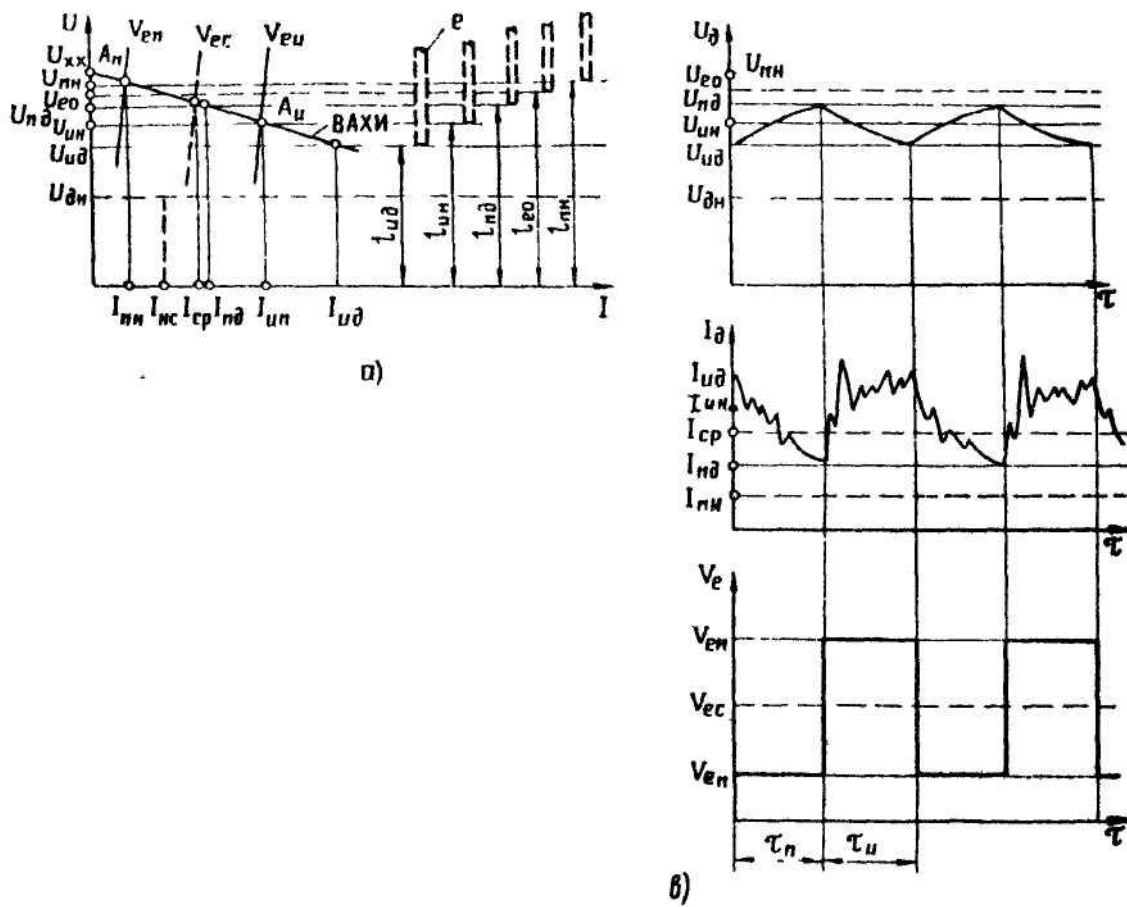
Межэлектродный промежуток в паузе должен увеличиваться до значения, превышающего длину металлической капли, минимальное значение которой составляет около 1,5 мм. Полтора кратное

увеличение межэлектродного промежутка - это минимальная величина, позволяющая получить сколько-нибудь заметный эффект от модуляции скорости подачи электрода. При меньшем увеличении промежутка в паузе процесс плавления электрода по своим характеристикам приближается к процессу, взятому за прототип. Максимальное значение межэлектродного промежутка в конце паузы может достигать 6-8 мм. Дальнейшее увеличение промежутка приводит к ухудшению защиты дуги от воздуха.

Импульсным предлагаемый принцип саморегулирования назван потому, что в период импульсной подачи электрода амплитуда сварочного тока возрастает быстро (импульсно) и на большую величину, чем при традиционном саморегулировании. Это происходит благодаря переходу с крутопадающей ВАХИп характеристики источника питания в паузу на жесткую или пологопадающую ВАХИи в импульсе. В результате импульсного саморегулирования процесс горения протекает устойчиво, даже если $I_{cp} < I_{нс}$, в то время, как было показано выше, при сварке по способу, взятому за прототип, необходимо соблюдать условие $I_{cp} > I_{нс}$.

Саморегулирующийся процесс назван потому, что регулирование происходит без принудительного изменения скорости подачи электрода в зависимости от напряжения дуги - только за счет реакции источника питания, которая является спонтанной.

Таким образом, предлагаемый способ сварки или наплавки с импульсным саморегулированием позволяет поддерживать устойчивую дугу при весьма малом среднем токе, которому отвечает плотность тока на электроде менее 35 A/mm^2 .



Фиг. 1

