

УДК 621.791.755.03(088.8)

ТЕОРИЯ СТАБИЛЬНОГО ЗАЖИГАНИЯ ПЛАЗМЕННОЙ ДУГИ ПЛАЗМА ЖААСЫНЫН ТУРУКТУУ ОТ АЛУУ ТЕОРИЯСЫ

Кыдыралиев С. - д.т.н., профессор, ЖАГУ

Аннотации: В данной статье разработана теория стабильного зажигания плазменной дуги. Показана, что стабильное зажигание связано со скоростью развития канала искрового разряда (КИР) которая связано с подводимой мощности от источника питания к этому каналу. Установлено, что стабильность зажигания плазменной дуги прямо пропорциональна к подводимой мощности в КИР от источника питания и обратно пропорциональна отводимой мощности от КИР окружающее пространство.

Бул макалада плазма жаасынын туруктуу от алуу теориясы иштелип чыккан. Туруктуу от алуунун сандык мааниси плазмотрондун өлчөмдөрүнөн, плазма пайда кылуучу газдын ылдамдыгынан жана ток булагынын контурунун интенсивдүүлүгүнөн көз каранды.

The theory of the stable lighting of plasma are is worked out in this article.

It is shown that the stable lighting is constrained at a speed of development of channel of spark digit that is related to the tricked into power from the source of feed to this channel.

It is set that stability of lighting of plasma are is directly proportional to the tricked into power in the channel of spark digit from the source of feed and inversely proportional to the taken power from the channel of spark digit in surrounding space.

Проблема стабильного зажигания плазменной дуги интересует многих специалистов, которые занимаются запуском электроплазменных установок. Этот процесс практически определяет стабильную безотказную работу сварочных, сталеплавильных, плазмохимических и других аппаратов [1,2,3].

В указанных работах для повышения стабильности плазменной дуги выдвинута гипотеза о том, что необходимо повысить мощность осциллятора. Осциллятором называется устройство которое служит для подачи высокочастотного напряжения между электродами плазмотрона. Как обычно осциллятор отключается после зажигания (возбуждения) плазменной дуги. Как показывает опыт для повышения стабильности зажигания дуги повышение мощности осциллятора является бесперспективным потому, что это проводит к пробую полупроводниковых приборов и изоляции источников питания.

Особенно стабильность зажигания плазменной дуги падает тогда, когда аппарат работает на малых токах (до 50А) и при ограничении напряжения холостого хода U_{xx} источника питания для обеспечения безопасности обслуживающего персонала, т.е. при ручном ведении процесса резки и сварки. Поэтому создание теорию стабильного зажигания плазменной дуги является актуальной проблемой.

Впервые теорию стабильного зажигания газового разряда создал американский физик Таунсенд, т.е. так называемую теорию перехода не самостоятельного разряда в самостоятельный разряд [4,5,6]. Он создал идеализированную теорию, в условиях неограниченного подвода энергии в межэлектродное пространство и не учитывал переходные процессы в источнике питания, который питает исследуемый самостоятельный разряд. Потому эта теория непригодна для определения стабильности зажигания дуги в реальных установках.

По Таунсенду развивающийся ток иницируемый ультрафиолетовым лучом в газовом разряде определяется по следующей формуле

$$I = \frac{I_0 e^{ah}}{1 - \gamma(e^{ah} - 1)}$$

Где I_0 - первоначальный ток создаваемый вспомогательным источником энергии т.е. этот ток создается ультрафиолетовым освещением межэлектродного промежутка или с помощью осциллятора.

α - коэффициент объемной ионизации

h - расстояние между электродами

γ - коэффициент вторичной электронной эмиссии из катода

Таунсенд считает что, когда напряженность электрического поля в межэлектродном пространстве возрастает до достаточной величины, тогда знаменатель формулы превратиться в ноль, т.е.

$$\gamma(e^{ah} - 1) = 1$$

В этом случае ток в межэлектродном пространстве может увеличиться до бесконечности и разряд автоматически становится самостоятельным. Как показывает опыт, на практике так не всегда бывает. Даже при достаточной величине напряжении в межэлектродном промежутке и при появлении первоначального тока I_0 , основной ток I не может развиваться [7,8] т.е. стабильное зажигание основного разряда не происходит. Кроме этого Таунсенд не учитывал, что на переход не самостоятельного разряда в самостоятельный разряд влияют электромагнитные процессы происходящие в силовой цепи источника питания газового разряда и деионизационные процессы которые имеют место между электродами.

В работе [7] экспериментально установлено, что стабильность зажигания дуги зависит от расстояние между электродами, от индуктивности силового контура источника питания, от расхода плазмообразующего газа и т.д. В работе [8] установлено, что стабильность зажигания дуги зависит от времени ее возбуждения t_e т.е. от времени перехода канала искрового разряда (КИР) создаваемого осциллятором между электродами, в дуговой разряд. С уменьшением t_e стабильность зажигания возрастает. Принципиальная схема экспериментальной установки для определения стабильности возбуждения приведена на рис.1. Использовали шлейфовый осциллограф. Использовали установку МПР-1

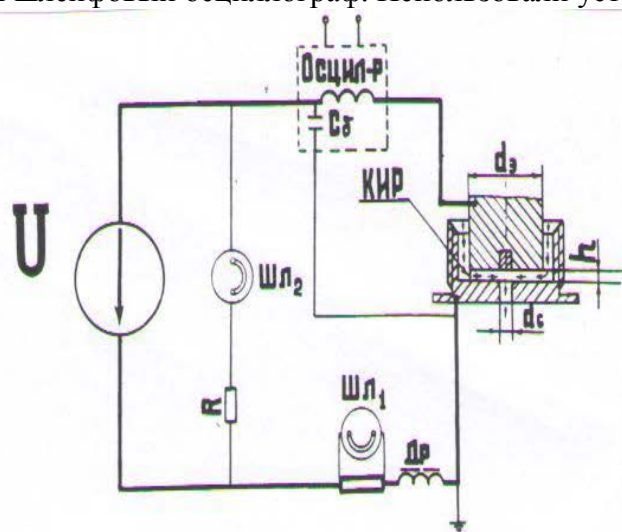


Рис.1. Принципиальная схема установки для определения стабильности возбуждения плазменной дуги: ШЛ₁, ШЛ₂ - шлейфы осциллографа; Др- дроссель.

Однако теоретическое определение стабильности зажигания плазменной дуги до сих пор остается не известным. Поэтому целью настоящей работы является теоретическое определение стабильности зажигания дуги в зависимость от отдельных факторов. В литературе механизм первоначального пробоя межэлектродного промежутка и появление там искрового разряда и его дальнейшее развитие хорошо изучены [9]. Однако теория перехода искрового разряда создаваемого осциллятором, в дуговой разряд в литературе отсутствует. Как известно дуговой разряд появляется относительно на больших токах, при низких напряжениях катодного падения. Поэтому этот вид разряда из-за большого тепловыделения широко используется при резке, сварке и плавке металлов. А искровой разряд используется для предварительного зажигания дугового плазменного разряда.

По осциллограмме видно, что ток искрового разряда является малым и гаснет при отключении осциллятора. Поэтому этот вид разряда является несамостоятельным. А ток дугового разряда после отключения осциллятора не гаснет, поэтому этот вид разряда является самостоятельным и осуществляет выполнение технологического процесса.

Проведенный нами анализ показывает, что процесс возбуждения дуги состоит в основном из трех стадий (рис 2и 3). Первая стадия включает в себя процесс пробоя воздушного промежутка «катод- сопло» с помощью высокочастотного напряжения и образования токопроводящего канала искрового разряда (КИР).

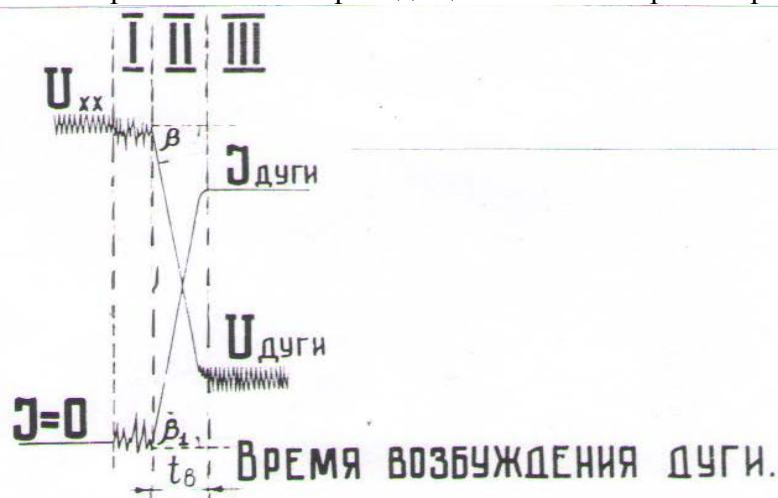


Рис. 2. Типичная осциллограмма процесса возбуждения плазменной дуги.

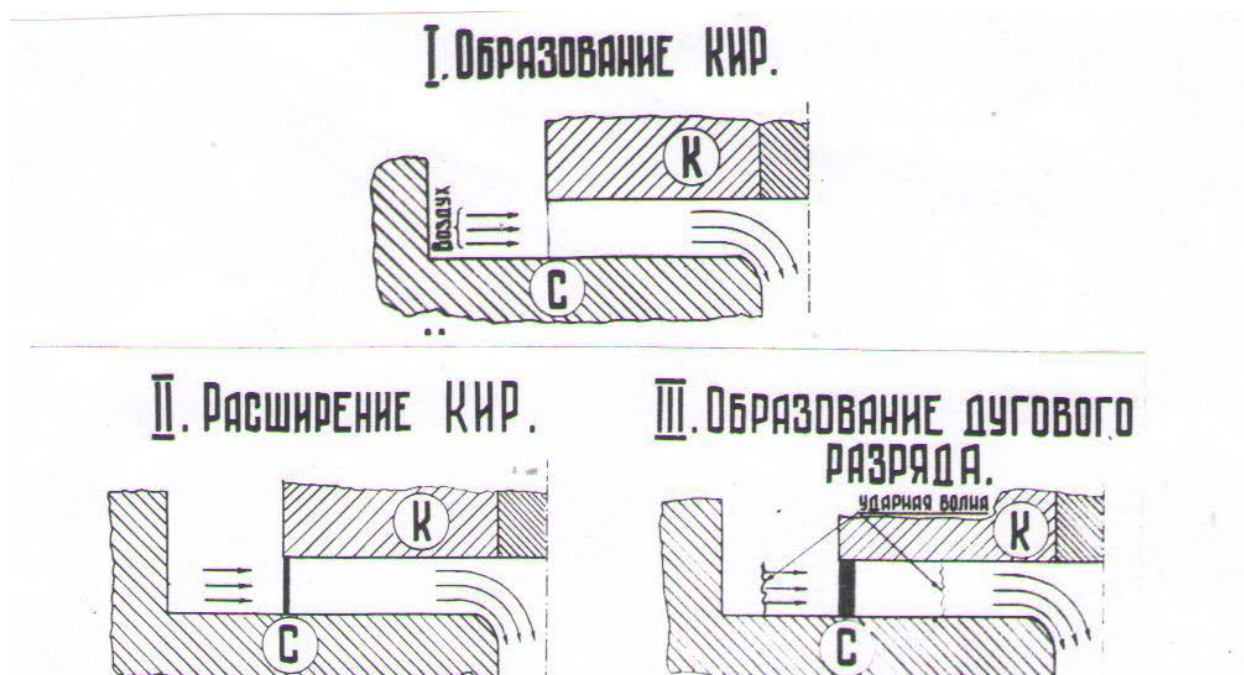


Рис.3. Переход искрового разряда в дуговой разряд (образование дуги): К-катод, С-сопло.

Вторая стадия переход искрового разряда в дуговой. Она определяется временем возбуждения или зажигания дуги. И наконец, третья стадия-образование самостоятельного дугового разряда после отключения осциллятора. Интересующая нас вторая стадия осуществляется следующим образом: в канал искрового разряда начинается ввод энергии от источника питания. В канале выделяется тепло. Начинается рост тока. В токопроводящем канале происходит повышение температуры и давление и взрывообразное расширение канале искрового разряда.

Одновременно на промежутка «катод- сопло» (см. рис. 2) напряжение падает. Расширяющийся газ, подобно поршню действует на остальной газ и вызывает в нем ударную волну, которая распространяется впереди этого своеобразного поршня. После распространение ударной волны образуется устойчивый самостоятельный разряд. В течении всего процесса осуществляется обдув расширяющегося канала искрового разряда в поперечном направлении и, соответственно уносится определенное количество энергии в поперечном направлении, обдуваемым газом.

Таким образом из КИР осуществляется отвод энергии в окружающее пространство. Если электроды «катод- сопло» замкнем между собой токопроводящей проволокой то, ток короткого замыкания, $I_{к.з.}$ который развивается в силовой цепи источника питания определяется по следующей формуле:

$$I_{к.з.} = I_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) = \frac{U_{xx}}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$

Где U_{xx} - напряжение холостого хода источника питания электроплазменной дуги.

L , R - индуктивность и сопротивление силовой цепи источника питания соответственно
Ток, который проходит через силовой цепи источника питания также проходит через газовый разряд. Значит, в формуле Таунсенда должны были присутствовать индуктивность L , и сопротивление R источника питания газового разряда.

В действительности через электрическую цепь и через газовый разряд проходит один тот же ток, т.е. поток электронов.

По этому на стабильность зажигания электрической дуги, индуктивность цепи и ее сопротивление должны были оказать свое влияние. Например индуктивность силовой цепи источника питания по закону Ленца образует электродвижущую силу $\mathcal{E}$, направленную против U_{xx} источника питания. Это уменьшает U_{xx} и замедляет рост тока дуги, и как показывает проведенный нами эксперимент при этом стабильность зажигания плазменной дуги падает.

Под стабильностью зажигания плазменной дуги мы понимаем вероятностную величину P которая определяется по следующей формуле

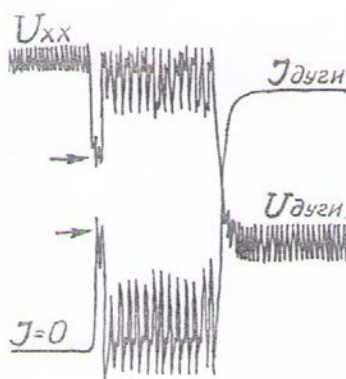
$$P = \frac{n_{\text{зж}}}{n_{\text{вкл}}} \cdot 100\%$$

Где $n_{\text{зж}}$ - количество зажиганий дуги

$n_{\text{вкл}}$ - количество включений установки

как показывает опыт, P зависит от многих факторов.

От КИР за счет теплоотвода в окружающее пространство он охлаждается, при этом количество заряженных частиц в нем уменьшается и электрическое сопротивление КИР возрастает. Если во время перехода КИР в дуговой разряд отводимая энергия от него в окружающее пространство возрастает то дуговой разряд не зажгётся. (см.рис.4 б). Если от дугового источника питания в КИР подводится много энергий по сравнению отводимой энергией в окружающее пространство, то дуговой разряд успешно зажгётся. (см.рис.4 а). Поэтому на основании обобщения много численных экспериментов для теоретического определения стабильности зажигания о плазменной дуги, мы ввели следующую формулу (1)



а)

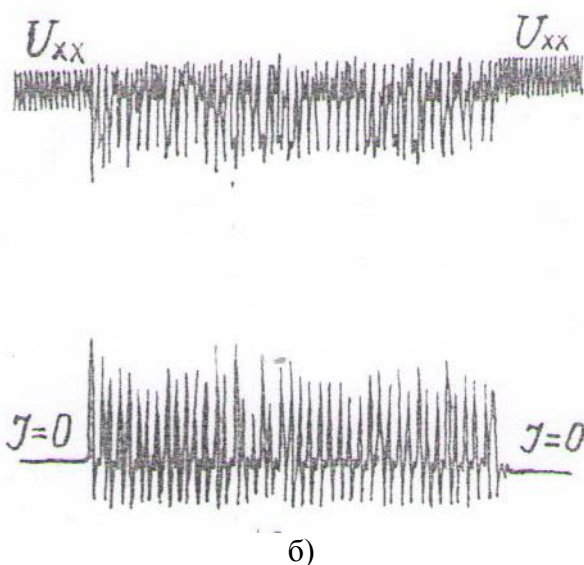


Рис.4. осциллограммы процесса зажигания (возбуждения) плазменной дуги:

- а) при $dэ=4\text{мм}$, $h=0,25\text{мм}$, $Qв=0,9$ л/мин, $I_d=6\text{А}$, $L_{др}=0,22\text{Г}$;
 б) при $dэ=7\text{мм}$, $h=0,125\text{мм}$, $Qв=0,9$ л/мин, $I_d=6\text{А}$, $L_{др}=0,44\text{Г}$;

$$P = \frac{E_{\text{подв}} - E_{\text{отвод}}}{E_{\text{подв}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Где $E_{\text{подв}}$ - подводимая энергия от источника питания в КИР

$E_{\text{отвод}}$ - отводимая энергия из КИР в окружающее пространство

Если $E_{\text{подв}}$ и $E_{\text{отвод}}$ равняются друг другу, то по этой формуле P равняется нулю, т.е. несмотря появления КИР дуговой разряд не зажгётся. Если подвод энергии $E_{\text{подв}}$ осуществляется достаточно быстро, то КИР не успевает охладиться и P стремится к 100%, т.е. дуга зажгётся безотказно.

Вводимая энергия в КИР от источника питания определяется по следующей формуле

$$E_{\text{подв}} = \int U(t) I(t) dt$$

Уносимая энергия в поперечном направлении обдуваемым газом в окружающее пространство из расширяющегося КИР определяется следующим образом. Если воздух в момент обдува КИР обладает скоростью g_1 , то в единицу времени через единицу длины КИР будет проходить объем воздуха, равный $V_1 = 2\pi r h g_1$

Отсюда можно определить мощность отводимую в окружающее пространство из КИР (Вт)

$$P_{\text{отв}} = 2\pi r g_1 q h$$

Где r - радиус КИР;

h - высота КИР или расстояние между электродами;

q - затрачиваемая энергия для нагрева единицы объема воздуха от температуры T_0 до температуры T , проходящего через КИР: q - зависит от удельной теплоемкости газа C_p и определяется по формуле $q = \int C_p dT$

Если воздух рассматривать как двухатомный идеальный газ.

$$\text{То, } q = 410^{-2} (\sqrt{T} - \sqrt{T_0}) \quad [10]$$

Где T - температура поверхности дуги

T_0 - температура окружающей среды

Индуктивность цепи силового контура источника питания L по закону Ленца образует электродвижущую силу $\varepsilon = L \frac{dI(t)}{dt}$ направленную против U_{xx} источника питания.

Энергия которая увеличивает отводимую энергию ($E(L)_{отв}$) за счет L , которая определяется по формуле

$$E(L)_{отв} = -L \frac{dI(t)}{dt} I(t) dt$$

Подставляя в формулу (1) $E_{подв}$, $E_{отв} = P_{о.пр} dt + E(L)_{отв}$, и сократив числитель и знаменатель дроби на dt получим

$$P = \frac{U(t)I(t) - L \frac{dI(t)}{dt} I(t) - 2rh \vartheta_1 q}{U(t)I(t)} \cdot 100\% \quad (2)$$

По уравнению (2) мы получили, что стабильность зажигания плазменной дуги зависит от соотношения мощностей, т.е. если индуктивность силового контура источника питания L , и мощность распространяемая от КИР в окружающее пространство равняются нулю, то

$$P = \frac{U(t)I(t)}{U(t)I(t)} \cdot 100 = 100\% \quad \text{т.е. стабильность зажигания будет } 100\% \text{ным.}$$

По формуле (2) вероятность стабильного зажигания может измениться от 0 до 1, т.е. $0 \leq P \leq 1$

Если подводимая мощность в КИР и отводимая от КИР мощности равняются друг другу, то по формуле (2) $P=0$, т.е. в этом случая ток дуги от источника не может развиваться (см.рис.4б)

Если отводимая мощность от КИР в окружающее пространство по сравнению с подводимой мощности в КИР будет уменьшаться, то стабильность зажигания плазменной дуги возрастает и может составлять 100%, т.е. $P \approx 100\%$.

Для этого надо уменьшить L , h и скорость обдува ϑ в зависимости от конструктивных возможностей плазматрона и источника питания

Выводы

1. Разработана теория предсказывающая стабильности зажигания плазменной дуги в зависимости от отдельных факторов. Стабильность зажигания плазменной дуги прямо пропорциональна вводимой мощности от источника питания в КИР создаваемого осциллятором, и обратно пропорциональна отводимой мощности от КИР в окружающее пространство
2. Проведенные эксперименты показали, что предложенная теория удовлетворительно согласуется с экспериментом и практически работает.

Литературы:

1. Темкин Б.Я Теория и расчет возбудителей сварочной дуги. Дисс.... канд. техн. наук: 05.09.10. –Л.: 1981.- 227с.
2. Светлов А.Т. Разработка аппаратуры для возбуждения дуги при сварке и резке от серийных источников питания. Дисс.... канд. техн. наук.: Брянск, 1982.-248с.
3. Богородский Ю.А. Разработка и исследование оборудования в технологий плазменной резки в условиях металлургического поточного производства. Дисс.... канд. техн. наук.: 05.03.06.- Л.: 1975. -165 с

4. Крапивина С.А. Плазмохимические технологические процессы. – Л.: изд. «химия » Ленинградское отделение, 1981. – 248с
5. Линч П., Николайдес А. Задачи по физической электронике изд. «Мир» - М.: 1975 - 264с.
6. Калашников С.Г. Электричество. – М.: «Наука» 1985.- 576с
7. Кыдыралиев С. Ямпольский В.М Исследование процесса возбуждения дежурной дуги применительно к ручной воздушно- микроплазменной резке . Изв. вузов Машиностроение.- 1979. -№7, -с.108-111.
8. Кыдыралиев С. Некоторые особенности процесса возбуждения дежурной дуги при ручной воздушно-микроплазменной резке. Изв. вузов. Машиностроение-1979.-№12.- с.99-103.
9. Базелян Э.М., Рожанский И.М Искровой разряд в воздухе. Изд. «Наука» Сибирское отделение Новосибирск. 1988.-162с.
10. Мурзаков В.В. Основы технической термодинамики.- М.: Энергия, 1973.-304с.

Рецензент:

Иманкулов З. – к.ф-м.н., доцент