

Часть 1. Электросварка в быту

В наше время электродуговая сварка – это самый распространённый способ сварки металлов плавлением в промышленности и в быту. Появившись 120 лет назад, благодаря своей высокой технологичности, электродуговая сварка быстро и почти повсеместно вытеснила другие способы сварки металлов.

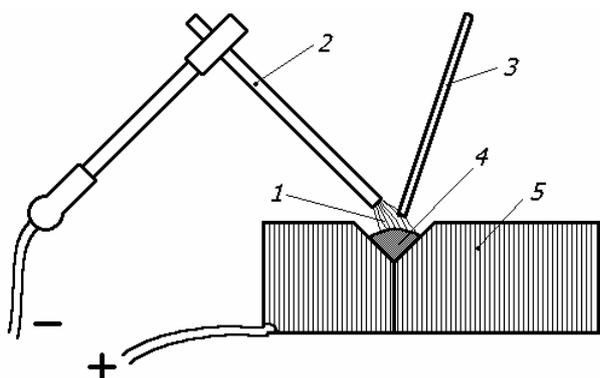


Рис. 1. Сварка неплавящимся электродом (способ Бенардоса):
1 - дуга; 2 - электрод; 3 - присадочный пруток; 4 - свариваемый шов; 5 - изделие.

подручных материалов “на глазок”, что не способствует получению необходимого качества и безопасности.

Цель данной статьи дать необходимую исходную информацию из теории сварочной дуги и сварочных источников, а так же описать конкретные конструкции сварочных источников, которые были изготовлены автором.

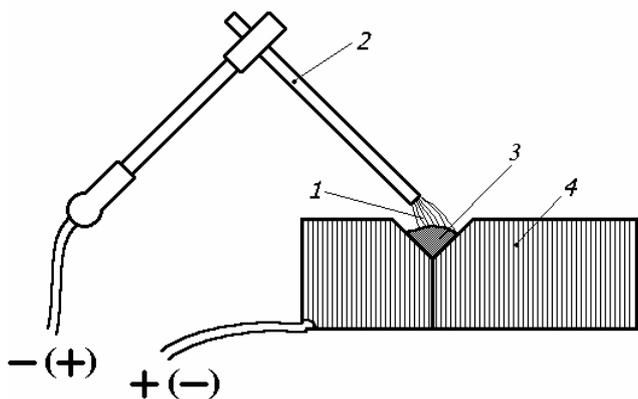


Рис. 2. Сварка плавящимся электродом (способ Славянова):
1 - дуга; 2 - электрод; 3 - свариваемый шов; 4 - изделие.

металлов, а также при наплавке твёрдых сплавов.

Несколько позже, в 1888 году, русский инженер-изобретатель Николай Гаврилович Славянов разработал способ сварки при помощи металлического плавящегося электрода (рис. 2). Первые конструкции электродов, содержащих покрытия, были созданы Н. Н. Бенардосом. Покрытые электроды современного вида изобретены шведским инженером Кельбергом в 1911 году.

В наше время любой уважающий себя умелец имеет или страстно желает иметь в своём инструментальном арсенале аппарат для электродуговой сварки.

Ещё каких-нибудь 15 лет назад отечественная промышленность практически не выпускала бытовых источников для электродуговой сварки. Сейчас ситуация, казалось бы, изменилась и на рынке полно сварочных источников, которые по своим параметрам подходят для бытового применения. Но стоимость этого оборудования достаточно высока и пока очень многим не по карману. И вот, как и 15 лет назад, самодельные конструкторы пытаются сами изготовить себе и другим это чудо техники. Зачастую изготовитель, в лучшем случае, обладает некоторыми навыками в ручной сварке и совершенно не имеет представления о требованиях предъявляемых к сварочному источнику. Источник делается из

Начнём с рассмотрения наиболее распространённых способов электродуговой сварки металлов.

Явление электрической дуги было открыто в 1802 году профессором физики Санкт-Петербургской медико-хирургической академии Василием Владимировичем Петровым. Описывая в 1803 году явление электрической дуги, В. В. Петров указал на возможность её практического применения как для электроосвещения, так и для плавления металлов. Но только спустя 80 лет с момента открытия электрической дуги, в 1882 году, талантливому русскому изобретателю Николаю Николаевичу Бенардосу удалось разработать промышленно пригодный способ электродуговой сварки металлов. Сварка способом Бенардоса (рис. 1) велась с присадочным прутком расплавляемым в пламени дуги, горящей между электродом (угольным, графитовым или вольфрамовым) и изделием. Данный способ используется и сейчас для сварки цветных

Сейчас, когда на рынке очень много импортного сварочного оборудования, этот способ сварки обозначается аббревиатурой **MMA (Manual Metal Arc)**, что означает - ручная дуговая сварка штучными металлическими плавящимися электродами с защитным покрытием.

Этот способ сварки в настоящее время, благодаря своей простоте и технологичности, наиболее широко распространён в сварочном производстве. Сварка, обычно, производится либо постоянным, либо переменным током.

Если сварка производится постоянным током, то возможны два варианта подключения электрода и свариваемого изделия к источнику сварочного тока:

1. **Сварка на прямой полярности.** Плюс источника сварочного тока подключен к изделию.

2. **Сварка на обратной полярности.** Плюс источника сварочного тока подключен к сварочному электроду.

В паспортных данных на сварочные электроды постоянного тока указывается в какой полярности необходимо производить сварку. Обычно сварка производится на обратной полярности.

Как уже говорилось раньше, сварочные электроды должны иметь защитное покрытие, назначение которого предохранить частицы расплавленного металла от окисления и сделать дугу более устойчивой, особенно при сварке переменным током и при работе на ветру.

В случае отсутствия готовых электродов их можно изготовить самостоятельно. Рекомендации по самостоятельному изготовлению электродов приведены, например, в [1]. Для этого необходимо иметь мягкую малоуглеродистую проволоку диаметром от 2 до 6 мм. Предварительно её необходимо выправить и нарезать на куски длиной 300 – 400 мм. После этого в банке приготавливается защитное покрытие или попросту обмазка, приведённого в табл. 1 состава.

Таблица №1.

Составные части	Количество в граммах
Мел	500
Жидкое стекло	190
Вода	1 стакан

Количество обмазки хватает на 100 – 200 электродов.

Нарезанные куски проволоки погружают в обмазку так, чтобы один конец оставался не покрытым обмазкой по длине около 20 мм для зажима в электрододержатель. Затем электроды, вынутые из банки и покрытые обмазкой, должны быть просушены при температуре 20 -30°C, после чего их можно применять для сварки, как на переменном, так и на постоянном токе.

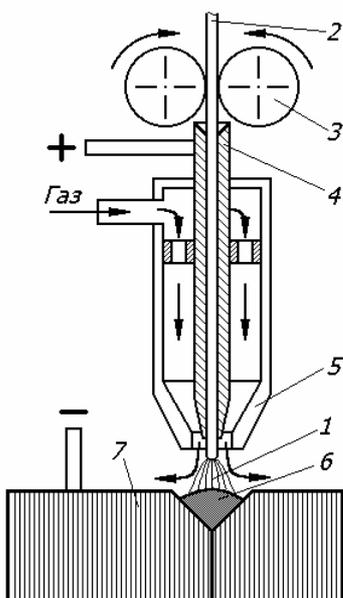


Рис. 3. Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом в струе защитного газа.

1 - дуга; 2 - сварочная проволока; 3 - ролики механизма подачи проволоки; 4 - токопровод; 5 - сопло; 6 - свариваемый шов; 7 - изделие.

Самодельные электроды можно рассматривать лишь как временную альтернативу электродам, выпущенным промышленным способом. И, разумеется, эти электроды нельзя использовать для ответственной сварки.

Для защиты расплавленного металла от кислорода воздуха, наряду с защитными покрытиями, используются различные флюсы и газы.

Идея осуществления сварки с применением специальных порошков – флюсов принадлежит Н. Г. Славянову. В 1936 году американская фирма “Линде” получила патент на способ сварки стали под слоем порошкообразных расплавляющихся при сварке веществ. В СССР, сварка под расплавляющимися флюсами была разработана и внедрена в промышленность в 1938 – 1940 годах Институтом электросварки АН УССР (ныне имени Евгения Оскаровича Патона). Именно этот способ сварки позволил наладить массовый выпуск бронетехники во время Великой Отечественной войны 1941 – 1945 годов.

Сварка в струе защитных газов изобретена Н. Н. Бенардосом. Защита от воздуха, по его предложению, осуществлялась светильным газом. В период второй мировой войны в США получила развитие сварка в струе аргона или гелия неплавящимся вольфрамовым электродом и плавящимся электродом (рис. 3). Этим способам сварки присвоена аббревиатура **TIG** и **MIG**. **TIG (Tungsten Inert Gas)** - сварка

неплавящимся (вольфрамовым) электродом в среде инертного защитного газа, например, так называемая, аргоно-дуговая сварка. **MIG (Mechanical Inert Gas)** - механизированная (полуавтоматическая) сварка в струе инертного защитного газа.

В 1952 году К. В. Любавским и Н. М. Новожиловым была изобретена специальная легированная проволока, применение которой позволило осуществлять сварку плавящимся электродом в среде углекислого газа. Этому способу сварки присвоена аббревиатура **MAG. MAG (Mechanical Active Gas)** - механизированная (полуавтоматическая) сварка в струе активного газа. Именно этот способ сварки нашёл, в настоящее время, широкое применения в автосервисе.

Теперь, получив некоторое представление о способах электродуговой сварки и о применяемых материалах, продолжим наше знакомство со свойствами электрической дуги.

Электрической дугой обычно называют мощный длительный электрический разряд в среде ионизированных газов между электродами, находящимися под напряжением.

Процесс возбуждения дуги начинается с соприкосновения электродов между собой. В момент размыкания электродов между ними проскакивает искра, которая ионизирует газ в межэлектродном пространстве и создаёт канал проводимости.

Под действием электрического поля электроны в ионизированной газовой среде перемещаются от катода к аноду, развивая при этом значительную скорость. Электроны на больших скоростях сталкиваются с нейтральными атомами газа. Выбивая электроны из нейтральных атомов, они производят непрерывную ионизацию газового пространства. При этом выделяется большое количество тепла. Газ в дуговом промежутке нагревается до температуры 5000 – 7000 °С и находится в состоянии плазмы.

В свою очередь, образовавшиеся, положительные ионы движутся к катоду и отдавая ему свою энергию, вызывают сильный нагрев электрода, образуя при этом катодное пятно. Электроны, прошедшие дуговой промежуток, ударяются о положительный электрод (анод), отдавая ему свою энергию, образуя при этом анодное пятно.

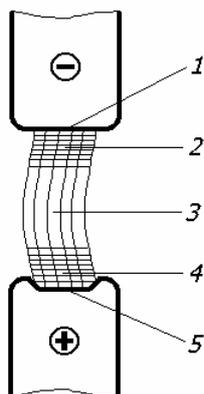


Рис. 4. Схема электрической дуги:
1 - катодное пятно.
2 - катодная зона.
3 - столб дуги.
4 - анодная зона.
5 - анодное пятно.

Схема электрической дуги изображена на рис. 4.

Зажигание дуги может происходить и без первичного короткого замыкания, если между электродами, при помощи высоковольтного генератора – осциллятора, кратковременно приложить высокое напряжение, достаточное для электрического пробоя межэлектродного слоя газа.

Электроны, обладая меньшей массой, двигаются в дуге значительно быстрее. Поэтому в дуге преобладает электронный ток, направленный от катода к аноду. В следствии преобладания электронного тока количество тепла, выделяемого электронами на аноде, больше чем на катоде.

Исходя из вышесказанного, тепло в дуге распределяется неравномерно. Обычно на аноде выделяется 43% тепла, на катоде - 36% и в столбе дуги – 21%.

На рис. 5 приведена статическая вольтамперная

характеристика электрической дуги [2].

Из рис. 5 видно, что вольтамперная характеристика дуги имеет три участка, соответствующие различным плотностям тока в сварочном электроде. Нисходящий участок, соответствующий малой плотности тока, горизонтальный участок, соответствующий средней плотности тока, и восходящий участок, соответствующий большой плотности тока.

При ручной и полуавтоматической сварке, на постоянном токе, процесс протекает на среднем участке статической вольтамперной характеристики дуги. На этом участке напряжение дуги зависит от её газового состава и от величины сварочного тока. Напряжение дуги, с точностью достаточной для практического применения, можно найти по эмпирической формуле:

$$U_d = K_{\Gamma} + 0.04 \cdot I_{\text{св}}$$

(1)

Где:

$I_{\text{св}}$ – Сварочный ток, А.

U_d – Напряжение дуги, В.

K_{Γ} – Коэффициент, зависящий от газовой среды, в которой горит дуга.

Для воздуха $K_{\Gamma} = 20$, для углекислого газа $K_{\Gamma} = 14$ и для смеси аргона с углекислым газом $K_{\Gamma} = 11$.



Рис. 5. Статическая вольтамперная характеристика электрической дуги.

Если дуга включена в цепь переменного тока промышленной частоты, то процесс горения дуги протекает на нисходящем и горизонтальном участке её вольтамперной характеристики. В дуге переменного тока напряжение и ток непрерывно меняют свои значения и направления. При переходе тока через нулевое значение дуга гаснет и температура дугового промежутка снижается, что вызывает деионизацию дугового промежутка. В таких условиях для стабилизации процесса горения дуги надо принимать определённые меры. Одной из основных мер является применение специальных электродов переменного тока, в состав защитного покрытия которых входят элементы имеющие низкие потенциалы ионизации. Устойчивость дуги улучшается так же при повышении напряжения холостого хода (напряжение на выходе источника при отключенной нагрузке) сварочного источника. Однако увеличения напряжения холостого хода сварочного источника приводит к увеличению массы и габаритов последнего. Кроме этого величина напряжения холостого хода ограничивается правилами техники безопасности, которые ограничивают максимальное действующее напряжение сварочного источника на уровне 80 В (ГОСТ95-77Е). С другой стороны напряжение холостого хода должно быть, не менее чем в 1,8 – 2,5 раз, больше напряжения дуги. Общепринятой мерой повышения стабильности дуги переменного тока является включение в сварочную цепь, последовательно с дугой, индуктивного сопротивления, которое так же может использоваться для регулировки сварочного тока. В этом случае достаточно, чтобы напряжение холостого хода сварочного источника равнялось 60 – 65 В.

В условиях пониженной ионизации дугового промежутка повторное зажигание дуги происходит при напряжении зажигания большем, чем напряжение дуги. Стабилизирующее действие индуктивности объясняется наличием фазового сдвига между напряжением и током в сварочной цепи переменного тока. Благодаря этому сдвигу напряжение, в момент обрыва дуги, близко к своему амплитудному значению, что благоприятно сказывается на повторном зажигании дуги.

В процессе сварки длина дуги постоянно меняется. Одной из причин влияющих на длину дуги является процесс плавления и переноса металла электрода.

Электродный металл, расплавленный электрической дугой, переходит в виде капель в ванну жидкого металла, которая образуется на поверхности свариваемого изделия у основания дуги (основание дуги называют также кратером). Процесс переноса металла схематично изображён на рис. 6.

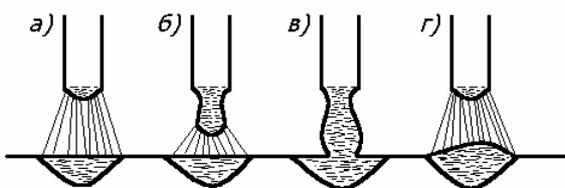


Рис. 6. Схема переноса металла электрода на свариваемое изделие.

дуги, капля с ускорением вводится в сварочную ванну металла [3]. При этом часть металла в виде брызг выбрасывается из зоны сварка.

Нередко, после сварки с использованием самодельного сварочного источника, всё пространство вдоль сварочного шва оказывается залепленным каплями металла, удалить которые можно только при помощи зубила и молотка. Причина кроется в неудачной внешней вольтамперной характеристики сварочного источника.

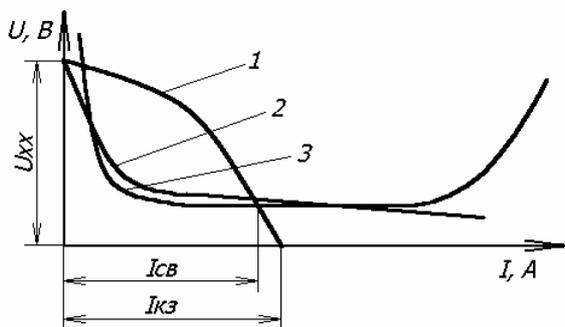


Рис. 7. Семейство вольтамперных характеристик: 1 - крутопадающая характеристика; 2 - статическая характеристика дуги; 3 - жёсткая характеристика.

сварочной дуги (80 – 300 А). Для обеспечения высокого качества сварных изделий, при этом способе сварки, необходимо соблюдать следующие условия: изменения сварочного тока должны быть минимальными, а сила тока короткого замыкания не должна превышать удвоенное значение сварочного тока [4]. Этим условиям отвечает крутопадающая характеристика сварочного источника.

также кратером). Процесс переноса металла схематично изображён на рис. 6.

В начальный момент времени на конце электрода образуется слой расплавленного металла (рис. 6а). Затем, по мере накопления, расплавленный металл принимает вид капли (рис. 6б), которая, через некоторое время пережигает дуговой промежуток (рис. 6в). В этот момент происходит короткое замыкание сварочной цепи и резкое возрастание величины сварочного тока. Резкое нарастание тока приводит к возникновению электромагнитных сил разрывающих каплю у её основания. Теперь дуга возникает между концом электрода и каплей. Под давлением паров и газов зоны

Свойства сварочного источника определяются его внешними характеристиками: статической и динамической вольтамперными характеристиками. Статическая характеристика источника питания – это зависимость выходного напряжения $U_{вых}$ от тока нагрузки I_n в установившемся режиме. Обычно статические характеристики источников питания бывают трёх видов: падающая, жёсткая и возрастающая. В установившемся режиме процесс горения дуги регламентируется статическими характеристиками сварочного источника и сварочной дуги (рис. 7).

Как уже говорилось ранее, при ручной дуговой сварке процесс протекает на токах соответствующих горизонтальному участку статической характеристики

При полуавтоматической сварке в среде защитного газа на больших плотностях тока, соответствующих началу восходящего участка статической вольтамперной характеристики дуги, для обеспечения саморегулирования сварочного процесса, статическая характеристика сварочного источника должна быть жёсткой и даже возрастающей (при сварке тонкой проволокой, когда плотность тока максимальна).

Список используемой литературы:

1. Справочная книга электромонтёра. Энергоиздат, 1934 г..
2. Цукерман М. Б. Источники питания сварочной дуги и электрошлакового процесса. М. "Высшая школа", 1974 г.
3. Геворкян В. Г. Основы сварочного дела. М. "Высшая школа", 1971 г.
4. Розаренов Ю. Н. Оборудование для электрической сварки плавлением. М. "Машиностроение", 1987г.

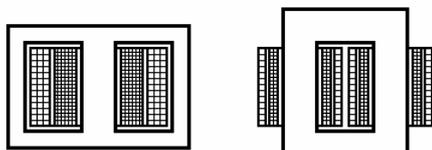
Часть 2. Сварочный трансформатор

Парк бытовых сварочных источников состоит в основном из источников переменного тока. Это объясняется простотой и дешевизной последних, хотя ручная сварка на переменном токе и уступает по качеству аналогичной на постоянном токе.

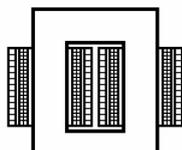
Основным узлом современного сварочного источника переменного тока является специальный, как правило, однофазный сварочный трансформатор. Сварочный трансформатор выполняет роль гальванической развязки между сварочной цепью и напряжением сети, понижает напряжение сети до величины необходимой для сварки и обычно содержит две, электрически не связанные между собой, обмотки. Для уменьшения потерь на вихревые токи, магнитопровод трансформатора набирается из листовой трансформаторной стали толщиной 0.35 – 0.5 мм.

По характеру устройства магнитной цепи различают трансформаторы броневого и стержневого типов (рис. 1).

Трансформаторы стержневого типа, по сравнению с трансформаторами броневого типа, имеют более высокий КПД и допускают большие плотности токов в обмотках. Поэтому сварочные трансформаторы обычно, за редким исключением, бывают стержневого типа.

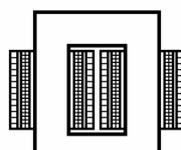


а)

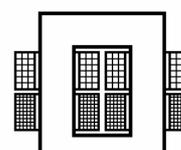


б)

Рис. 1. Трансформаторы броневого (а) и стержневого (б) типов.



а)



б)

Рис. 2. Трансформаторы с цилиндрическими (а) и дисковыми (б) обмотками.

По характеру устройства обмоток различают трансформаторы с цилиндрическими и дисковыми обмотками (рис. 2).

Для рассмотрения свойств трансформаторов, того или иного типа, удобно использовать схему замещения трансформатора [5](рис. 3).

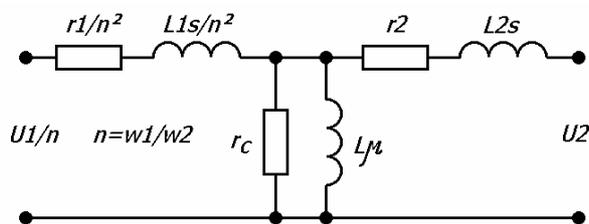


Рис. 3. Схема замещения трансформатора

Где:

U_1, U_2 – напряжение на первичной и вторичной обмотках трансформатора.

r_1, r_2 – омическое сопротивление первичной и вторичной обмоток трансформатора.

L_{1s}, L_{2s} – индуктивность рассеяния первичной и вторичной обмоток трансформатора.

L_{μ} – индуктивность намагничивания трансформатора.

r_c – сопротивление, характеризующее потери в сердечнике трансформатора.

n – коэффициент трансформации трансформатора.

Индуктивность рассеяния L_s обмотки вызывается наличием магнитного потока рассеяния Φ_s не сцепляемого с другой обмоткой.

В трансформаторах с цилиндрическими обмотками одна обмотка намотана поверх другой. Так как обмотки находятся на минимальном расстоянии друг от друга, то практически весь магнитный поток первичной обмоткой сцепляется с витками вторичной обмотки. Только некоторая часть магнитного потока первичной обмотки, называемым потоком рассеяния, протекает в зазоре между обмотками и поэтому не связана со вторичной обмоткой. Так как ток ограничивается только омическим сопротивлением r_1 и r_2 обмоток, то трансформатор имеет жёсткую характеристику, и ток короткого замыкания на вторичной обмотке более чем в 10 раз превосходит рабочий ток трансформатора. Как было сказано ранее, трансформатор с такой характеристикой не годится для ручной сварки. Для получения падающей внешней характеристики сварочного источника, в этом случае, используют или балластный реостат или дроссель переменного тока. Наличие этих элементов сильно увеличивает массу и габариты сварочного источника, а так же уменьшают его КПД. Выход может быть в использовании трансформатора с дисковыми обмотками, имеющего падающую внешнюю нагрузочную характеристику.

В трансформаторах с дисковыми обмотками одна обмотка разнесена от другой. Так как обмотки удалены друг от друга, то значительная часть магнитного потока первичной обмотки не связана со вторичной обмоткой. Ещё говорят, что эти трансформаторы имеют развитое электромагнитное рассеяние. Индуктивности рассеивания L_{1s} и L_{2s} имеют значительную величину и их реактивное сопротивление в большей мере влияет на ток трансформатора, чем в случае трансформатора с цилиндрическими обмотками. Трансформатор имеет, необходимую нам, падающую внешнюю характеристику, где рабочий ток составляет $\approx 80\%$ от тока короткого замыкания.

Именно трансформаторы с развитым электромагнитным рассеянием, в основном, используются при ручной сварке на переменном токе. Индуктивность рассеяния трансформатора зависит от взаимного расположения обмоток, от их конфигурации, от материала магнитопровода и даже от близко расположенных к трансформатору металлических предметов. Поэтому точный расчёт индуктивности рассеяния практически невозможен. Обычно, на практике, расчёт ведётся методом последовательных приближений с последующим уточнением обмоточных и конструктивных данных на практическом образце. Возможная методика расчёта трансформатора с развитым электромагнитным рассеиванием приведена в [6].

Регулировка сварочного тока, обычно, достигается изменением расстояния между обмотками, которые выполняются подвижными.

В бытовых условиях трудно выполнить трансформатор с подвижными обмотками. Выход может быть в изготовлении трансформатора на несколько фиксированных значений сварочного тока. Более тонкая регулировка сварочного тока, в сторону уменьшения, может осуществляться укладыванием сварочного кабеля в кольца.

Ниже приведены обмоточные данные и описана конструкция именно такого сварочного трансформатора, позволяющего получать два фиксированных значения сварочного тока – 150 А и 120 А.

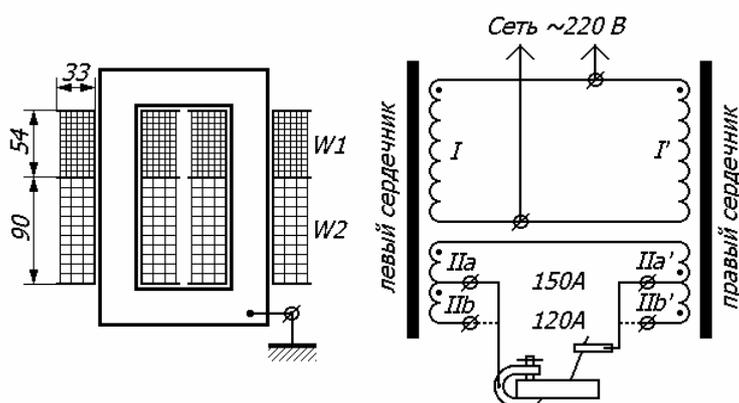


Рис. 4. Размеры и расположение обмоток сварочного трансформатора.

Размеры и расположение обмоток сварочного трансформатора изображены на рис. 4.

Обмотки мотаются на двух каркасах, выполненных из листового стеклотекстолита толщиной 2 мм. На каркасе первичная и вторичная обмотки изолированы друг от друга стеклотекстолитовой щёткой толщиной 2 мм. Перед намоткой каркас следует усилить, насадив на деревянную оправку. Отверстие, предназначенное для насадки на сердечник, должно быть больше размеров сердечника на 1.5 - 2 мм, что позволит в последствии без проблем собрать трансформатор.

Первичная обмотка W1 состоит из двух секций (I и I'), расположенных на различных каркасах и соединённых параллельно. Каждая из секций содержит по 230 витков провода ПЭВ-2 $\varnothing 1.9$ мм. Если в наличие имеется провод $\varnothing 2.7$ мм, то, в этом случае, первичная обмотка будет состоять из двух секций соединённых

последовательно и содержащих по 115 витков. После намотки слоя провода, его следует уплотнить лёгкими ударами деревянного молотка. Если трансформатор изготавливается в кустарных условиях, то, после намотки каждого слоя, его необходимо промазывать пропиточным лаком. В качестве межслойной изоляции используется пресшпан толщиной 0,5 - 1 мм.

Для вторичной обмотки W2 берётся голая алюминиевая шина сечением 30 мм² (5 x 6 мм). Перед намоткой шину следует плотно обмотать, для изоляции, киперной лентой или тонкой хлопчатобумажной тканью, предварительно порезанной на полосы шириной 20 мм. После изоляции поперечные размеры шины должны увеличиться не более чем на 1.5 мм. Так же как и первичная, вторичная обмотка поровну распределена на обоих каркасах. Секции Па и Па' содержат по 34 витка, а секции Пб и Пб' содержат по 8 витков алюминиевой шины. То, что меньшему сварочному току соответствует большее количество витков вторичной обмотки, не опечатка. Дело в том, что напряжение обмотки пропорционально количеству витков, а реактивное сопротивление пропорционально квадрату этой же величины и поэтому сопротивление обмотки растёт быстрее, чем её напряжение.

Шина укладывается на более широкую сторону и, при правильной изоляции и укладке, в два слоя входит 21 виток. После намотки каждого слоя, его следует уплотнить лёгкими ударами деревянного молотка и обильно промазать пропиточным лаком. Для намотки можно использовать алюминиевую шину такого же сечения, но с другим соотношением сторон. В этом случае, возможно, следует несколько скорректировать высоту секции вторичной обмотки, чтобы в два слоя входило равное количество витков.

После намотки и пропитки трансформатор следует просушить. Температура и время сушки определяются маркой используемого пропиточного лака.

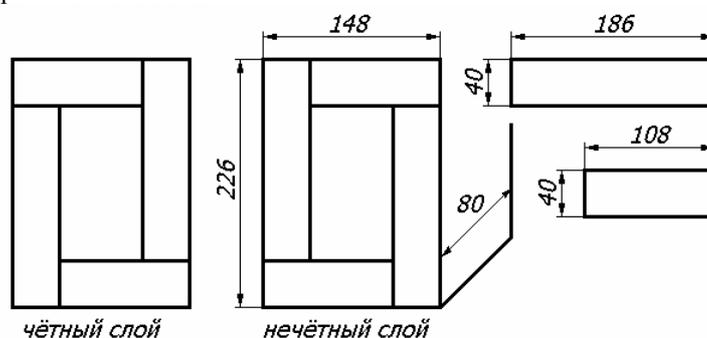


Рис. 5. Сердечник трансформатора

Сердечник трансформатора набран из пластин холоднокатанной трансформаторной стали шириной 40 мм и толщиной 0.35 мм (холоднокатанная сталь, в отличие от горячекатанной имеющий почти чёрный цвет, имеет белый цвет). Можно использовать листовую сталь от списанного трансформатора трансформаторной подстанции. Имеющееся железо сначала рубят на полосы, потом режут на фрагменты длиной 108 и 186 мм. Заусенцы на краях рубленного железа необходимо удалить с помощью надфиля или мелкого напильника. Сердечник собирается в “перекрышку” с возможно меньшими зазорами в местах стыковки отдельных листов. Конструкция сердечника трансформатора изображена на рис. 5.

Готовый, намотанный и собранный трансформатор, необходимо поместить в защитный кожух, который необходимо изготовить из ферромагнитного материала, например алюминия. В кожухе необходимо предусмотреть вентиляционные отверстия.

Для подключения первичной обмотки трансформатора к сети ~220 В, необходимо использовать кабель с медной жилой сечением не менее 6 мм² и силовую розетку на ток 63А, имеющую заземляющий нож, который необходимо соединить с сердечником трансформатора и с защитным кожухом. Соответственно, заземляющий контакт розетки должен быть надёжно заземлён.

Концы вторичной обмотки необходимо подключить к латунным шпилькам диаметром 8 – 10 мм, установленным на диэлектрической термостойкой панели, которая крепится к защитному кожуху трансформатора. В качестве сварочных можно использовать мягкие медные провода сечением 16 – 25 мм².

Список используемой литературы:

Список используемой литературы:

1. Найвельт Г. С. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Москва, “Радио и связь” 1986 г. стр. 106.
2. Закс М. И. И др. Трансформаторы для электродуговой сварки. Ленинград, “Энергоатомиздат” 1988г. стр. 31 – 38.

Часть 3. Дополнение к статье о сварочном трансформаторе.

В отличие от обычных трансформаторов, к сварочному трансформатору предъявляется ряд требований, определяемых спецификой его работы.

Во-первых сварочный трансформатор должен иметь определённую нагрузочную характеристику, согласованную с вольтамперной характеристикой дуги (будем считать, что этот вопрос уже хорошо рассмотрен).

Во-вторых сварочный трансформатор (в особенности бытовой) должен иметь минимальные габариты и массу.

Специфика работы сварочного трансформатора (СТ) заключается в том, что он нагружен не все 100% времени своего включения. Степень нагруженности СТ определяется продолжительностью нагрузки.

$$ПН=100 \cdot t_p / t_{\Sigma}$$

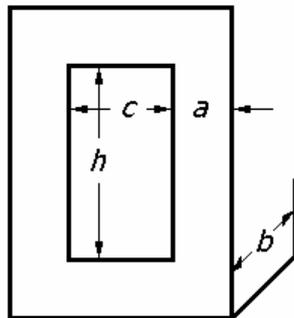
Где t_p – длительность рабочего цикла,

t_{Σ} – общее время цикла, состоящего из рабочего цикла и паузы.

Обычно считается, что ПН сварочного трансформатора не превышает 60%. Для бытового сварочного трансформатора принимают ещё более низкие значения ПН=20%. Данное обстоятельство позволяет уменьшить сечение окна в магнитопроводе, необходимого для размещения обмоток, за счёт увеличения плотности тока в обмотках СТ, относительно трансформатора работающего непрерывно, без значительного ухудшения его теплового режима. В этом случае, для медной обмотки, плотность тока не должна превышать 8 А/мм^2 , а для алюминиевой 5 А/мм^2 , при сварочном токе до 150А [1].

Работа при максимально возможной индукции в сердечнике СТ позволяет уменьшить сечение сердечника СТ. Для использования этой возможности необходимо знать значение максимальной индукции для выбранного материала сердечника. Здесь ситуация осложняется тем, что самодельный конструктор обычно имеет дело с трансформаторным железом неизвестной марки. Пытаясь использовать это железо, обычно выбирают заниженную величину индукции насыщения, что, в свою очередь, приводит к неоправданному увеличению размеров и массы сварочного трансформатора. Ниже приводится методика испытания железа, пользуясь которой можно определить индукцию насыщения трансформаторного железа, имеющегося в распоряжении.

Сначала, из имеющегося трансформаторного железа, нужно собрать тестовый замкнутый магнитопровод сечением $5 - 10 \text{ см}^2$ (сечение магнитопровода определяется



$$L_c \approx 2h + 2c + 3,14a$$

Рис. 1.

перемножением толщины пластины на её ширину и общее количество пластин). На полученный магнитопровод необходимо, мягким изолированным проводом сечением $1,5 - 2,5 \text{ мм}^2$, намотать обмотку на напряжение $5 - 10 \text{ В}$ (≈ 50 витков). Затем надо измерить активное сопротивление $R_{обм}$ обмотки и рассчитать среднюю длину магнитной силовой линии L_c сердечника. Пользуясь формулой на рис.1, можно рассчитать среднюю длину магнитной силовой линии стержневого сердечника.

На рис.2 изображена схема, позволяющая определить значение индукции насыщения тестируемого сердечника. Мощность трансформатора T не менее 63 ВА.

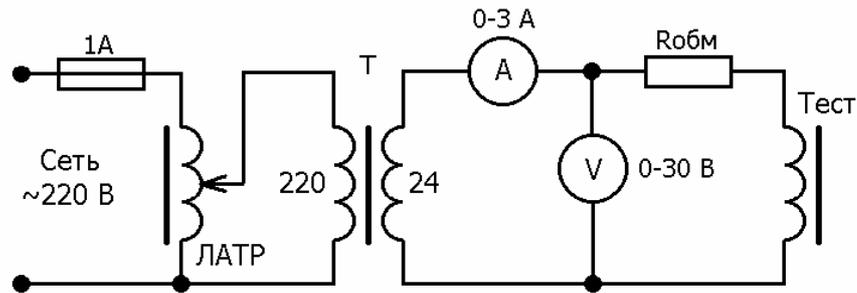


Рис. 2

Результаты измерений заносят во вторую и третью колонки таблицы 1.

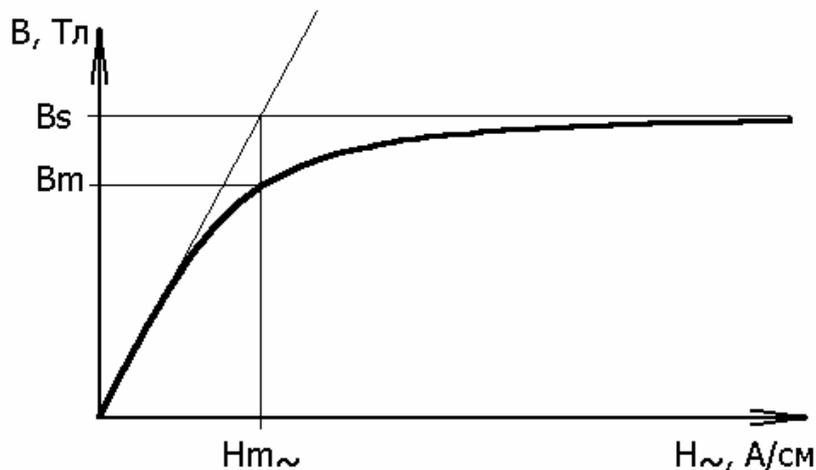
Таблица 1.

N изм.	U, В	I, А	$U_{обм}=U \cdot I \cdot R_{обм}$, В	$H_{\sim}=I \cdot W / L_c$, А/см	$B=U_{обм} / (4,44 \cdot 10^{-4} \cdot f \cdot W \cdot S)$, Тл
1	2	3	4	5	6

Значения в колонках 4 – 5 таблицы рассчитываются по приведённым формулам. Затем, используя данные колонок 5, 6 (H_{\sim} - напряжённость переменного магнитного поля, B – индукция в сердечнике), строим график кривой намагничивания тестируемого сердечника (рис. 3).

Рис. 3

На рис. 3 приведены графические построения, необходимые для нахождения значений индукции



насыщения B_s , максимальной индукции B_m и максимальной напряжённости переменного магнитного поля сердечника H_{\sim} .

Рассчитаем маломощный СТ, предназначенный для работы от сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Задавшись напряжением холостого хода СТ $U_{хх}=65$ В и максимальным током сварки I_m , определяем габаритную мощность сварочного трансформатора P_T :

$$P_T = U_{хх} \cdot I_m = 65 \cdot 150 = 9750 \text{ ВА}$$

По общеизвестной формуле определяем $S_{оSc}$:

Где:

$$S_{оSc} = \frac{P_T}{1,11 \cdot B_m \cdot J \cdot K_o \cdot K_c}, \text{ см}^4$$

J – плотность тока в обмотках (8 А/мм² для Cu, 5 А/мм² для Al и 6,5 А/мм² для CuAl),

K_o – коэффициент заполнения окна (0,33 – 0,4),

K_c – коэффициент заполнения стали (0,95).

Пусть $B_m=1,42$ Тл, первичная обмотка мотается медным проводом, а вторичная алюминиевым.

$$S_{оSc} = 9750 / (1,11 \cdot 1,42 \cdot 6,5 \cdot 0,33 \cdot 0,95) = 3035 \text{ см}^4$$

Для стержневых трансформаторов рекомендуются следующие соотношения размеров [2]:

$$X=1,6, Y=2 \text{ и } Z=2,5 - 5$$

Где:

$$X=c/a, Y=b/a, Z=h/a \text{ (рис. 1).}$$

Если $Z=4$, то $SoSc=a^4 \cdot 12,8$

Отсюда можно найти размер "а" сердечника.

Выбираем $a=4$ см. Зная размер "а", найдём размеры "с, b, h":

$$a = \sqrt[4]{\frac{SoSc}{12,8}} = \sqrt[4]{\frac{3035}{12,8}} = 3,9 \text{ см}$$

$$c=a \cdot X=4 \cdot 1,6=6,4 \text{ см; } b=a \cdot Y=4 \cdot 2=8 \text{ см; } h=a \cdot Z=4 \cdot 4=16 \text{ см}$$

Определим ЭДС одного витка трансформатора:

$$E_v=2,22 \cdot 10^{-2} \cdot B_m \cdot Sc \cdot K_c=2,22 \cdot 10^{-2} \cdot B_m \cdot a \cdot b \cdot K_c = 2,22 \cdot 10^{-2} \cdot 1,42 \cdot 32 \cdot 0,95 = 0,958 \text{ В/вит}$$

Количество витков вторичной обмотки:

$$W_2 = U_{xx}/E_v = 65/0,958 = 68 \text{ витков}$$

Сечение алюминиевого провода вторичной обмотки:

$$S_2=I_m/JAL=150/5=30 \text{ мм}^2 \text{ (можно использовать алюминиевую шину сечением } 5 \times 6 \text{ мм}^2 \text{).}$$

Количество витков первичной обмотки:

$$W_1 = U_1/E_v = 220/0,958 = 230 \text{ витков}$$

Найдём максимальный ток первичной обмотки:

$$I_{1m}=I_m \cdot W_2/W_1=150 \cdot 68/230=44,35 \text{ А}$$

Сечение медного провода первичной обмотки:

$$S_1=I_{1m}/JCU=44,35/8=5,54 \text{ мм}^2.$$

Так как трансформатор стержневой, то первичная (и вторичная) обмотка находится на двух катушках.

Если катушки включаются параллельно, то они должны содержать по 230 витков провода ПЭВ-2 $\varnothing 1,9$ мм ($2,827 \text{ мм}^2$), если последовательно, то должны содержать по 115 витков провода ПЭВ-2 $\varnothing 2,7$ мм ($5,7 \text{ мм}^2$).

Для получения внешней крутопадающей нагрузочной характеристики, совместно с СТ, можно использовать балластный реостат сопротивлением 0,2 – 0,4 Ом, выполненный из нихромовой проволоки $\varnothing 3 - 4$ мм.

Для расчёта трансформатора с дисковыми обмотками (с развитым электромагнитным рассеянием) можно воспользоваться рекомендациями изложенными в [3].

Литература:

1. В. Баранов. Маломощный электросварочный аппарат. РАДИО №7 за 1996 год, стр. 52-54.
2. А. Н. Горский и др.. Расчёт электромагнитных элементов источников вторичного электропитания. М., РАДИО И СВЯЗЬ, 1988 год, стр. 5.
3. М. И. Закс и др.. Трансформаторы для электродуговой сварки. Л., ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1988 год, стр. 20-40.