

621.751

№ 79

В. Э. Моравский

КОНДЕНСАТОРНАЯ
СВАРКА
МЕТАЛЛОВ
МАЛЫХ ТОЛЩИН



МАШГИЗ

621.791

В. Э. МОРАВСКИЙ

Е.

М-79

КОНДЕНСАТОРНАЯ
СВАРКА МЕТАЛЛОВ
МАЛЫХ ТОЛЩИН

~~И 2050~~ N 316

Научно-техническая
библиотека
VII ВНИИЭСО
Псковское отделение



МАШГИЗ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва 1960 Киев

В книге излагаются основные сведения о конденсаторной сварке, описываются точечные и шовные машины для конденсаторной сварки цветных и черных металлов малых и неравных толщин, технология и металлургические особенности этого способа сварки. Приведены рекомендации по выбору материала и форм электродов и данные о режимах конденсаторной сварки ряда марок цветных и черных металлов, а также о свойствах сварных соединений, получаемых при использовании разных типов маломощных конденсаторных машин.

Книга предназначена для технологов и конструкторов по производству и проектированию сварных соединений из цветных и черных металлов малых толщин, а также для научных работников и инженеров, работающих в областях приборостроения и контактной сварки.

Рецензент канд. техн. наук *Ф. Е. Третьяков*

Редактор канд. техн. наук *Е. И. Лейначук*

ЮЖНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ МАШГИЗА

Главный редактор инж. *В. К. Сердюк*

ПРЕДИСЛОВИЕ

Советский Союз занимает ведущее место в мире по техническому совершенству и объему применения основных способов сварки металлов. Важнейшие отрасли производства обеспечены самым совершенным сварочным оборудованием и наиболее передовой, прогрессивной технологией сварки металлов.

Однако при большом объеме сварочных работ до последнего времени оставалась недостаточно обслуженной специфическая область производства мелких и мельчайших деталей, изготавливаемых из цветных и черных металлов толщиной от нескольких сотых до нескольких десятых долей миллиметра. Нередко размеры деталей настолько малы, что для их рассмотрения приходится пользоваться оптикой (такие детали называют микродетальями).

В связи с бурным развитием приборостроения, а также многих важных отраслей оборонной техники, радиотехники, телевидения и т. д. стремительно растет производство мелких и микродеталей и в настоящее время их дневное производство исчисляется многими миллионами штук. Такие детали применяются при производстве электрических счетных машин, электроизмерительных приборов, радиоламп, телевизионных трубок, электротехнической аппаратуры, устройств проводной связи, разных радиоизделий, авиационных приборов, многообразных устройств и приборов оборонной техники, часовых механизмов, фотоаппаратов, авторучек, металлических игрушек, металлической галантереи, ювелирных изделий и т. д.

Соединение отдельных частей в таких изделиях представляет специфические и часто значительные трудности, вызываемые прежде всего малыми размерами частей. К тому же, выполняемые соединения должны быть дешевыми и часто должны одновременно удовлетворять высоким требованиям точности размеров, прочности и надежности. Наиболее распространенными способами соединения в этой области сейчас являются пайка и различные механические соединения.

Пайка в большинстве случаев производится мягкими оловянистыми, реже твердыми, преимущественно серебряными, припоями. Механические соединения осуществляются клепкой, шпильками, винтами, фальцовкой, запрессовкой, плотной посадкой и т. д. Однако все эти методы имеют существенные недостатки, снижающие качество изделий и увеличивающие трудоемкость и стоимость их изготовления.

Одним из главных недостатков существующих способов соединения мелких деталей являются значительная трудоемкость и низкая

производительность труда. Высокая трудоемкость вызывается, главным образом, малыми размерами деталей, требующими кропотливого, внимательного и напряженного труда, причем для многих деталей требуется высокая степень точности. Тысячи рабочих заняты изготовлением и сборкой мелких деталей, причем при существующих методах производства большинство сборочных операций плохо поддается механизации и автоматизации; успех работы зависит в основном от квалификации, опыта и внимания рабочего.

Широко распространенная пайка мягкими оловянистыми припоями очень трудоемка и обычно дает малопрочные соединения. Особенно часто паяные соединения разрушаются в электротехнических устройствах и электрической аппаратуре, если они подвергаются нагреву от проходящего электрического тока. Условия труда при пайке не особенно благоприятны — рабочие вдыхают вредные пары, образующиеся при работе. Пайка требует расхода значительных количеств дорогого и дефицитного олова. Кроме того, нагрев при пайке может повреждать изделия (например, изоляцию проводов), а после нее часто требуется некоторая дополнительная обработка изделий. Внешний вид паяных изделий часто неудовлетворителен, припой со временем темнеет. Еще более трудоемка и дорога пайка твердыми припоями, при которой ввиду высокого нагрева повреждается изделие и расходуется дорогостоящий металл — серебро. Замена во многих случаях пайки более совершенными методами давно уже назрела для большого числа предприятий, имеющих дело с массовым производством мелких деталей.

Крупные недостатки имеют и механические способы соединения мелких деталей. Клепка требует сверления или штамповки отверстий, ослабляющих детали, изготовления мелких и мельчайших заклепок, трудоемких операций постановки заклепок на место и последующего расклепывания. Крепление винтами требует изготовления мелких и мельчайших винтов, сверления и нарезания отверстий для них. Постановка и затягивание мелких винтов является трудоемкой операцией, требующей большого навыка и внимания от рабочего. Соединения заклепками и винтами не всегда достаточно надежны, плохо поддаются контролю и не редки случаи, когда при эксплуатации отсоединившаяся мельчайшая деталь выводит из строя сложный ответственный механизм.

Таким образом, существующие способы соединения мелких деталей не всегда удовлетворяют требованиям современного производства.

Автор книги задался целью использовать в производстве мелких и микродеталей достижения современной сварочной техники с целью повышения их качества и снижения стоимости. Изучение намеченной проблемы и проведенные теоретические и экспериментальные исследования привели автора к следующим основным выводам. Размеры изделия, а главное толщина металла, из которого оно изготовлено, являются важнейшими факторами, определяющими наиболее целесообразный метод сварки для данного изделия. Не существует

и не может быть универсального способа сварки, пригодного и целесообразного для изделий всех размеров и для всех толщин металла.

Исходя из теоретических соображений и непосредственного опыта, легко убедиться, что методы сварки, разработанные для больших и средних толщин металла, неприменимы для мелких и микродеталей, изготавливаемых из металлов толщиной до 0,5 мм. На основании исследований, проводившихся с 1950 г., установлено, что ведущим способом сварки мелких и микродеталей из металлов малых толщин является электрическая конденсаторная сварка.

Способ конденсаторной сварки известен давно. Советским ученым и техникам принадлежит ряд серьезных изобретений и исследований в этой области. При этом большинство работ было направлено на применение конденсаторной сварки в крупных изделиях с довольно значительной толщиной металла, но практика показала нецелесообразность широкого применения мощных конденсаторных машин. Однако теоретический анализ и исследования показали наибольшую целесообразность применения конденсаторной сварки для металлов толщиной до 0,5—0,8 мм*.

Конденсаторная сварка цветных и черных металлов малых толщин широко внедрена на большом числе заводов Советского Союза и получила всеобщее признание как новый и прогрессивный технологический процесс.

Основные работы в области технологии этого способа сварки и разработки маломощных конденсаторных машин, а также их внедрения проведены под руководством академика АН УССР и члена-корр. АН СССР К. К. Хренова в лаборатории электротермии Института электротехники Академии наук УССР и в Киевском ордена Ленина политехническом институте. Разработаны конструкции следующих конденсаторных машин: 8 конструкций стационарных точечных машин типа ТКМ, переносная точечная машина типа ПТКМ-1 и 3 конструкции шовных машин типа ШКМ. Одну из стационарных точечных машин — типа ТКМ-4 Киевский завод электроизмерительной аппаратуры с начала 1954 г. выпускает серийно, а с 1958 г. начал серийное изготовление второй машины — типа ТКМ-7.

Работы в области конденсаторной сварки цветных и черных металлов малых толщин ведутся также во Всесоюзном научно-исследовательском институте электросварочного оборудования (ВНИИЭСО), в Московском высшем техническом училище им. Баумана (МВТУ) и др.

Машина типа МТК-2, разработанная ВНИИЭСО, с 1957 г. выпускается серийно Новоуткинским заводом электросварочных машин и аппаратов «Искра», а машины МВТУ изготавливаются для своих нужд некоторыми заводами радиотехнической промышленности.

В эксплуатации находится большое число маломощных конденсаторных машин (главным образом типа ТКМ-4), и уже накоплен значительный опыт их внедрения в приборостроении, радиотехнике

* В дальнейшем такие металлы будем называть металлами малых толщин.

и других важных производствах, получивших за последние годы бурное развитие.

Книга обобщает результаты диссертационной работы автора, выполненной в лаборатории электротермии Института электротехники АН УССР и частично в Киевском политехническом институте. В ней также использованы работы ВНИИЭСО, МВТУ и некоторых заводов.

Книга состоит из шести глав. В гл. I приведены основные сведения о конденсаторной сварке; гл. II посвящена машинам для точечной и шовной конденсаторной сварки цветных и черных металлов малых толщин (электрические схемы шовных машин описаны автором совместно с канд. техн. наук С. В. Свечниковым); в гл. III рассматриваются электроды для точечной и шовной сварки; гл. IV и V посвящены технологиям сварки на точечных и шовных конденсаторных машинах; в гл. VI рассматриваются металловедческие особенности соединений, выполненных конденсаторным способом сварки (глава написана автором совместно с канд. техн. наук А. А. Россошинским).

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О КОНДЕНСАТОРНОЙ СВАРКЕ

Способы сварки аккумулированной энергией

Сварка аккумулированной энергией является одним из видов контактной сварки [1, 10]. Физически сварка аккумулированной энергией — технологический процесс, при котором неразъемное соединение деталей осуществляется благодаря тепловыделению в них от сварочного тока, проходящего при использовании заранее накопленного количества энергии.

Возникновение сварки аккумулированной энергией неразрывно связано с историей развития контактной электросварки, интенсивное и успешное внедрение которой все время вызывало рост производства необходимых машин.

Типы контактных сварочных машин весьма разнообразны и различаются по мощности, принципу работы, конструктивному оформлению и назначению для сварки изделий из тех или иных марок металла.

Контактная сварка алюминия и его сплавов, а также ряда других цветных металлов и сплавов с высокой тепло- и электропроводностью оказалась возможной только благодаря использованию сварочных токов порядка десятков тысяч ампер и при значительном ограничении времени сварки. Необходимые сварочные токи можно легко получить трансформированием переменного тока промышленной частоты. Однако использование такого тока для питания контактных машин большой мощности часто оказывается затруднительным по следующим причинам: 1) создание во время процесса сварки однофазной пиковой нагрузки сети с паузами, значительно превышающими рабочий период, что приводит к колебаниям сетевого напряжения, перекосу фаз и недогрузке сети во время пауз; 2) работа с очень низким коэффициентом мощности, что требует применения машин с большой установленной мощностью. Поэтому стремление обеспечить более равномерную нагрузку фаз силовых сетей, а также снизить установленную мощность контактных машин и привело к созданию машин для сварки аккумулированной энергией. В таких машинах энергия накапливается в устройстве, которое питается от трех фаз сети во время значительной паузы между сваркой двух точек. Накопленная энергия расходуется для сварки одной точки, развивая значительную мощность в течение небольшого промежутка времени сварки. Легко рассчитать, что мощность, которая развивается при такой сварке, может быть во столько раз больше мощности, потребляемой машиной от сети, во сколько раз

время сварки меньше продолжительности паузы между сваркой двух точек.

Таким образом, машины для сварки аккумулированной энергией по сравнению с обычными контактными машинами обладают следующими основными энергетическими преимуществами: 1) выравнивают нагрузку между фазами электросети; 2) снижают потребляемую мощность и полностью устраняют пики нагрузки в питающей электросети; 3) повышают коэффициент мощности электросети.

Кроме энергетических преимуществ, машины для сварки аккумулированной энергией имеют следующие весьма ценные технологические преимущества:

1) для каждой сварочной операции расходуется практически определенное, постоянное и точно контролируемое количество электроэнергии, что обеспечивает очень высокую стабильность результатов сварки; 2) незначительное время сварки и концентрированное выделение тепла в месте сварки обеспечивают минимальную зону термического влияния в металле, непосредственно



Фиг. 1. Классификационная схема сварки аккумулированной энергией.

окружающую сварную точку или шов; 3) оказывается возможной качественная сварка разнородных металлов и сплавов, которые обычно свариваются с большими трудностями или совсем не могут быть сварены; 4) получаемые сварные соединения однородны и качество их практически не зависит от квалификации сварщика.

При сварке металлов и сплавов небольших толщин энергетические преимущества сварки аккумулированной энергией не имеют существенного значения, так как установленная мощность необходимых для этого машин незначительна. Однако перечисленные выше технологические преимущества обеспечивают очень высокую стабильность сварки, исключая при этом непровары и прожоги, что часто трудно и даже невозможно достичь при других видах сварки. Кроме того, для получения качественной сварки некоторых изделий иногда требуется дозирование не только количества энергии, но также подбор соответствующей формы кривой сварочного тока, что также легко может быть достигнуто при сварке аккумулированной энергией.

В настоящее время известны следующие четыре способа сварки аккумулированной энергией (фиг. 1): 1) конденсаторная; 2) электромагнитная; 3) аккумуляторная; 4) кинетическая, или электромеханическая.

При конденсаторной сварке [1, 3, 4, 10, 16, 20, 30, 33, 36, 37, 40] в качестве аккумулирующей системы используется батарея электрических конденсаторов. Энергия в конденсаторах накапливается при их зарядке от источника постоянного напряжения (генератора или

выпрямителя), а затем в процессе их разряда используется в виде тепла для сварки.

При зарядке конденсатора с рабочей емкостью C_p до напряжения U_c накопленная в нем энергия выражается формулой

$$A_k = \frac{C_p U_c^2}{2} 10^{-6}, \quad (1)$$

где значение A_k получается в ватт-секундах, если C_p выражено в микрофарадах, а U_c — в вольтах.

Формула (1) показывает, что величина накопленной в конденсаторах энергии может регулироваться изменением: 1) емкости; 2) напряжения зарядки; 3) как емкости, так и напряжения зарядки.

Запасаемая конденсаторами энергия A_k должна быть достаточной не только для сварки деталей, но и для покрытия неизбежных потерь в сварочной машине. Математически это может быть выражено следующим уравнением:

$$A_k = \frac{A_{ca}}{\eta_{ca}}, \quad (2)$$

где A_{ca} — энергия, необходимая для сварки;

η_{ca} — к. п. д. сварочной машины.

Очень важным технологическим преимуществом конденсаторной сварки является практически мгновенный процесс разряда конденсатора (тысячные доли секунды). По исследованиям автора, этот способ позволяет сваривать очень большое число марок металлов и сплавов с различными теплофизическими свойствами, а также осуществлять сварку металла малых толщин с металлом практически любой толщины.

Аккумуляция энергии при электромагнитной сварке [1, 10] состоит в том, что при намагничивании сердечника сварочного трансформатора постоянным током, который пропускается по его первичной обмотке, создается некоторый запас энергии в магнитном поле. Если ток в первичной обмотке выключить, то исчезающий магнитный поток, который пересекает вторичную обмотку сварочного трансформатора, будет передавать в связанный с ней контур запасенную энергию, которая выделяется в контакте свариваемых деталей в виде тепла. Однако при электромагнитной сварке требуется применение надежной и дорогой коммутационной аппаратуры, что усложняет схему машин и снижает эксплуатационные качества.

Машины с накоплением энергии в аккумуляторных батареях [10, 49] практически заметного применения в промышленности не получили ввиду их громоздкости и эксплуатационных недостатков.

Кинетическая сварка [50, 55] является наиболее новой и заключается в следующем. Трехфазный двигатель соединяется муфтой с генератором, снабженным тяжелым маховиком и питающим сварочную машину. Во время сварки некоторая часть запасенной маховиком кинетической энергии преобразуется в электрическую, увеличивая мощность, отдаваемую генератором для сварки (без перегрузки электро-

сети). Машины для сварки запасенной кинетической энергией пока в основном еще исследуются в лабораторных условиях.

К недостаткам всех способов сварки аккумулированной энергией следует отнести следующее: 1) ограниченность размеров свариваемых сечений и толщины; 2) применимость для сварки только открытых контуров; 3) специализированный и малоуниверсальный характер сварочной аппаратуры, что иногда ограничивает ее использование для ремонтных работ.

Конденсаторная сварка и ее разновидности

Общие сведения об электрическом конденсаторе. Электрический конденсатор является устройством, в котором два (или больше) проводника разделены диэлектриком [15, 31, 45].

Емкость конденсатора C есть отношение его заряда q_c к напряжению между обкладками U_c и является постоянной величиной

$$C = \frac{q_c}{U_c}. \quad (3)$$

Простейшим является плоский конденсатор, который состоит из двух параллельных пластин с площадью s каждая, находящихся на расстоянии d друг от друга и разделенных средой с диэлектрической проницаемостью $\epsilon\epsilon_0$. Если пренебречь искажениями электрического поля на краях обкладок, то тогда емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 s}{d}, \quad (4)$$

где ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость среды (отвлеченное число);

ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость пустоты, равная в системе МКСА $8.86 \cdot 10^{-12}$ ф/м.

Емкость более сложного цилиндрического конденсатора, у которого обкладками являются два круглых коаксиальных цилиндра длиной l_c каждый, определяется по такой формуле:

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l_c}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, \quad (5)$$

где r_1 и r_2 — радиусы внутренней и внешней обкладок конденсатора.

Емкость конденсатора иных форм определяется по другим аналогичным формулам [15, 31, 45].

Конденсатор имеет следующие электрические характеристики: емкость, рабочее и испытательное напряжения, сопротивление изоляции (или ток утечки) и потери энергии.

Как указывалось выше, емкость конденсатора зависит от его размеров и формы, диэлектрической проницаемости, а также от температуры влажности и др. [15, 45].

Рабочим напряжением конденсатора называется такое напряжение, под которым он может длительно находиться в эксплуатации. Пробивным называется напряжение, при котором конденсатор пробивается во время плавного подъема (нарастания) напряжения.

Определение пробивного напряжения дает возможность установить испытательное напряжение, которое характеризует электрическую прочность конденсатора. По величине испытательное напряжение близко к пробивному. Обычно конденсатор должен находиться под испытательным напряжением, не пробиваясь, в течение определенного срока (до 1 мин).

Сопротивление изоляции конденсатора уменьшается с повышением температуры и влажности, а также возрастает со временем и поэтому не является постоянной величиной. Это положение всегда учитывается при испытаниях конденсаторов, которые обычно проводятся при вполне определенных и одинаковых для всех конденсаторов условиях.

Известно [15, 45], что при данном U_c величина тока утечки конденсатора i_u тем меньше, чем больше сопротивление его изоляции. Поэтому лучшим конденсатором, при прочих равных условиях, является тот, у которого больше сопротивление его диэлектрика.

При работе конденсатора потребляемая им мощность практически не равна нулю, так как даже при его доброкачественности он во время разряда возвращает в цепь неполное количество накопленной энергии. Это объясняется тем, что в любом конденсаторе всегда расходуется определенная мощность на потери. В общем случае потери энергии в конденсаторе зависят [15, 45] от напряжения U_c на его обкладках, угловой частоты ω , емкости C , индуктивности L , угла потерь δ и проводимости изоляции $q_{из}$, которая определяет величину тока утечки конденсатора.

Следует иметь в виду, что потери в конденсаторе всегда пропорциональны квадрату напряжения U_c^2 , поэтому выбор рабочего напряжения конденсатора в значительной степени влияет на условия его работы. Однако необходимо отметить, что, хотя вопрос о потерях в конденсаторах очень важный и сложный, все же для маломощных конденсаторных машин он не имеет практического значения. Это объясняется, главным образом, тем, что суммарный к. п. д. конденсаторов весьма высок, потери в них все же незначительны [15, 45] и обычно ими можно пренебречь, тем более, что они легко могут быть компенсированы соответствующим изменением режима сварки. Кроме того, во многих типах конденсаторных машин для сварки металлов малых толщин потери в конденсаторах пополняются от источника выпрямленного тока, под напряжением которого они находятся во время пауз между сваркой точек.

Виды и типы конденсаторов, применяемых в технике, разнообразны и очень многочисленны [7, 15, 45]. В основном конденсаторы разделяются по материалу применяемого в них диэлектрика и бывают таких видов: с газообразным диэлектриком (воздушные, газонаполненные, вакуумные), бумажные, металобумажные, слюдяные, керами-

ческие, электролитические и др. В каждом из указанных видов конденсаторов имеются разные типы, отличающиеся друг от друга емкостью, напряжением, конструктивным исполнением и другими техническими данными.

Если любой из конденсаторов с емкостью C_p подключить к источнику постоянного или выпрямленного тока, то он зарядится до напряжения U_c и накопит определенное количество электрической энергии. Величина энергии может быть определена по формуле (1), из которой видно, что A_c зависит от C_p и U_c , а поэтому, если они неизменны, легко



Фиг. 2. Классификационная схема конденсаторной сварки.

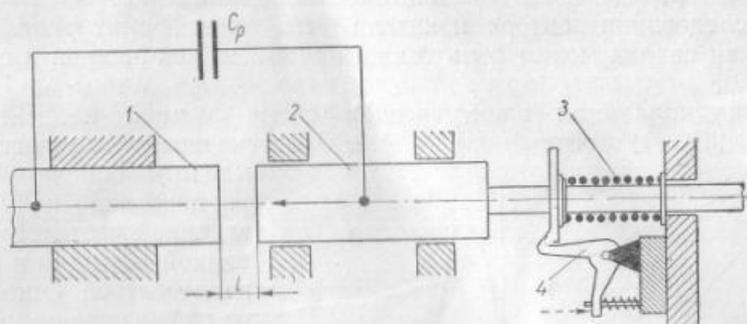
можно получить стабильность накопленной энергии. Это преимущество аккумулирования энергии в конденсаторе очень важно для получения стабильности качества сварки металлов малых толщин, при которой небольшие изменения энергии, выделяемой в сварной точке, могут вызвать прожоги или непровары.

Разновидности конденсаторной сварки. Конденсаторная сварка (фиг. 2) является наиболее распространенным способом сварки аккумулированной энергией [1—4, 10, 11, 14, 16, 19, 20, 22—25, 30, 32—41, 46—51, 53].

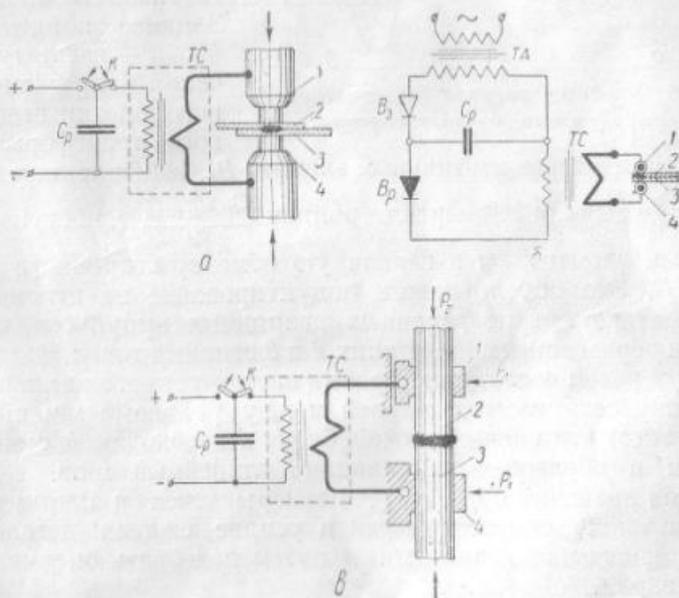
В 1905 г. появилась бестрансформаторная конденсаторная сварка, при которой концы обкладок конденсатора подключаются непосредственно к свариваемым изделиям. Ее разновидность — ударная конденсаторная сварка [1, 22, 30] применяется в основном в электро-радиопромышленности при изготовлении многих типов ламп (для соединения в стык малых сечений проводов из различных металлов и сплавов). При ударной конденсаторной сварке (фиг. 3) обкладки конденсатора C_p подключаются к свариваемым деталям 1 и 2, причем одна из этих деталей закрепляется жестко, а вторая может перемещаться в направляющих. Если освободить защелку 4, удерживающую подвижную деталь 2, то под действием предварительно сжатой пружины 3 она будет двигаться по направлению к неподвижной детали 1 и соударяться с последней (отсюда название процесса — ударная сварка). Возникающий перед соударением разряд конденсаторов в виде

дугой оплавляет торцы обеих деталей и при приложенном осадочном давлении пружины \mathcal{Z} они свариваются между собой в стык.

В 1934 г. советским ученым Г. И. Бабатом [3, 4] была разработана трансформаторная точечная конденсаторная сварка (фиг. 4,а), при



Фиг. 3 Принципиальная схема ударной конденсаторной сварки



Фиг. 4. Принципиальные схемы трансформаторной конденсаторной сварки:

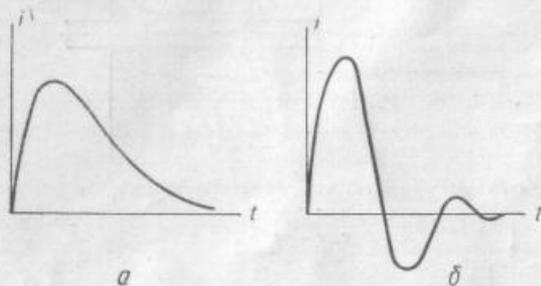
а — точечной; б — шовной; в — стыковой.

которой разряд конденсатора трансформируется при помощи сварочного трансформатора $ТС$. В левом положении ключа K происходит зарядка конденсатора C_p от источника постоянного тока (на схеме не показан). Если перебросить ключ K в правое положение, то происходит разряд конденсатора на первичную обмотку сварочного трансформатора. Тогда быстро затухающий периодический или апе-

риодический разрядный ток конденсатора (фиг. 5) трансформируется по законам переменного тока. При этом во вторичной обмотке $ТС$, которая обычно состоит из одного витка, индуцируется ток большой силы, сваривающий между собой в одной точке предварительно зажатые между электродами 1 и 4 металлические детали 2 и 3.

Исследования автора показали, что трансформаторная конденсаторная сварка может быть также применена как шовная и стыковая [34, 40].

Принципиальная электрическая схема шовной конденсаторной сварки [40, 41] показана на фиг. 4, б. Действие шовной конденсаторной



Фиг. 5. Характер разряда конденсатора:
а — аperiodического, б — периодического.

осуществляется через вентильный элемент B_s . Накопленная в процессе зарядки конденсатора энергия, равная $\frac{C_p U_{a \max}^2}{2}$, поступает через

вентильный элемент B_p в первичную обмотку сварочного трансформатора $ТС$. Это обуславливает индуктирование во вторичной цепи трансформатора кратковременных разрядных импульсов, что сопровождается образованием на деталях 2 и 3 сварных точек. Задавая определенным образом частоту повторения рассмотренного цикла и скорость перемещения свариваемых деталей между роликами машины, можно добиться того, что сварные точки будут в необходимой степени перекрываться и образовывать сплошной линейный шов.

Изменяя значение C_p , $U_{a \max}$, размеры точек и ширину их перекрытия, а также скорость сварки и усилие сжатия деталей между роликами машины, можно опытным путем подобрать оптимальный режим их сварки.

Для обеспечения высококачественной шовной конденсаторной сварки металлов малых толщин решающим фактором является стабильность накопленной энергии, расходуемой на сварку каждой из точек, образующих линейный шов. Это требует особых условий для работы вентильных элементов в схеме шовной конденсаторной машины. Первым и основным из них является то, что во время работы вентиля B_s должен быть надежно заперт вентиль B_p , и наоборот. Нарушение такого режима неизбежно приводит к наложению импульсов сетевого напряжения на импульсы разряда конденсатора, что может вызвать прожоги свариваемых изделий. Поэтому следует обеспечивать

четкость и надежность работы устройства, управляющего циклом «зарядка — разряд» конденсаторов через вентили B_z и B_p .

Второе условие заключается в том, что вентили B_z и B_p в процессе работы должны периодически выдерживать кратковременные перегрузки до нескольких десятков и сотен ампер, при средней величине тока порядка единиц и десятка ампер. Это вызвано тем, что основной нагрузкой вентиля B_z является емкость C_p , а вентиля B_p — низкоомная первичная цепь сварочного трансформатора $ТС$.

Процесс стыковой трансформаторной конденсаторной сварки (фиг. 4,б) аналогичен процессу точечной конденсаторной сварки (фиг. 4,а) и особых пояснений не требует. Следует, однако, отметить, что, в отличие от ударной конденсаторной сварки, этот способ является примером стыковой сварки сопротивлением.

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что основное различие трансформаторной и бестрансформаторной конденсаторной сварки состоит в том, что в первом случае расплавление соединяемых металлов происходит за счет прохождения трансформированного разрядного тока через сопротивления в участке сжатых между электродами свариваемых деталей, а во втором — в результате дугового разряда.

Необходимо отметить, что бестрансформаторная конденсаторная сварка может, в основном, применяться для соединения изделий в стык и впритык. По нашим исследованиям, более универсальной является трансформаторная конденсаторная сварка, которая позволяет осуществлять не только соединения в стык и впритык (на стыковых и точечных машинах), но также и внахлестку (на точечных и шовных машинах).

В первой установке для точечной трансформаторной конденсаторной сварки* было применено напряжение 10000 в, и поэтому она была названа высоковольтной конденсаторной сваркой [3]. После этого было создано несколько типов конденсаторных машин средней и большой мощности (также с высоким напряжением зарядки конденсаторов) для сварки алюминия и его сплавов [2, 10, 23, 26]. Однако мощные конденсаторные машины для сварки алюминиевых сплавов широкого распространения не получили ввиду их громоздкости, дороговизны и использования высоких напряжений (до нескольких тысяч вольт). Можно, например, указать [10], что для точечной сварки алюминиевых сплавов толщиной до 2,5+2,5 мм были разработаны мощные конденсаторные машины с аккумулированной энергией до 15—20 квт-сек.

Теоретический анализ и исследования, проведенные в последние годы автором [33—41, 51], показали ограниченную возможность применения конденсаторной сварки для металлов толщиной в несколько миллиметров. При этом оказалось, что при значительных толщинах многих марок цветных и черных металлов результаты этого способа сварки получаются посредственными. Последнее объясняется

* В дальнейшем изложении трансформаторная конденсаторная сварка для сокращения названа конденсаторной сваркой.

несоответствием слишком малой продолжительности импульса сварочного тока значительной толщине металла, требующей для получения высококачественного сварного соединения относительно большого времени нагрева. Между тем для очень большого числа марок металлов малых толщин продолжительность прохождения тока при конденсаторной сварке близка к оптимальной и обеспечивает высокое качество сварных соединений. Кроме того, было установлено, что с уменьшением толщины металла конденсаторная сварка становится все более эффективной и выгодной. Весьма показательным здесь является то, что маломощная точечная конденсаторная машина типа ТКМ-4 имеет максимальную аккумулированную энергию, равную всего 72 *вт-сек*, что оказалось вполне достаточным для высокопрочной точечной сварки большого числа металлов толщиной до 0,5+0,5 *мм*.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие основные выводы в отношении применения конденсаторной сварки [40]:

- 1) для толщин свыше 1 *мм* она применима, но менее выгодна, чем другие способы сварки;
- 2) для толщин от 1 до 0,5 *мм* она может конкурировать с любым другим способом сварки;
- 3) для толщин от 0,5 до 0,2 *мм* она значительно удобнее и выгоднее других способов сварки;
- 4) для толщин менее 0,2 *мм* она является практически единственно применимым способом сварки.

Таким образом, практически наиболее целесообразно применять конденсаторную сварку для металлов толщиной до 0,5 *мм*. В ряде случаев она оказалась весьма выгодной для металлов толщиной 0,6 — 0,8 *мм*.

Другие способы сварки аккумулированной энергией (электромагнитный, аккумуляторный и кинетический) металлов малых толщин и небольших диаметров следует в настоящее время считать практически малоприменимыми ввиду их значительно худших эксплуатационных и технологических свойств по сравнению с конденсаторной сваркой.

Основные зависимости между электрическими параметрами конденсаторных машин

Исследованию разряда конденсатора на трансформатор при режиме сварки посвящены работы Г. И. Бабата [3], А. С. Гельмана [10], В. П. Зотова [16], О. Н. Братковой [6] и др. В каждой из этих работ сделаны разные допущения, поэтому в них итоговые формулы для расчетов получились неодинаковыми.

Для расчетов токов в маломощных точечных конденсаторных машинах можно пользоваться схемой (фиг. 6), на которой приняты следующие обозначения:

- C_p — конденсатор;
 L_1 и R_1 — индуктивное и активное сопротивления первичной обмотки трансформатора с числом витков w_1 ;

L_3 и R_3 — индуктивное и активное сопротивления вторичной обмотки трансформатора с числом витков ω_2 ;

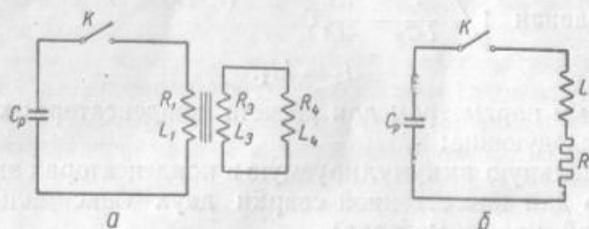
L_4 и R_4 — индуктивное и активное сопротивления внешнего контура машины (включая индуктивность и активное сопротивление свариваемых деталей).

Полная индуктивность вторичной цепи конденсаторной машины

$$L_2 = L_3 + L_4. \quad (6)$$

Аналогично полное активное сопротивление вторичной цепи конденсаторной машины

$$R_2 = R_3 + R_4. \quad (7)$$



Фиг. 6. Эквивалентные схемы конденсаторной машины по А. С. Гельману [10]:

а — полная; б — упрощенная.

Коэффициент взаимной индукции обмоток сварочного трансформатора

$$M \approx \sqrt{L_1 L_3}. \quad (8)$$

Мгновенные токи i_1 и i_2 в первичной и вторичной цепях конденсаторной машины по схеме (фиг. 6,а) можно определить только из сложных и неудобных для практических расчетов формул. Однако, приняв допущение, что индуктивные и активные сопротивления обеих обмоток сварочного трансформатора равны нулю (т. е. $L_1 \approx L_3 = 0$ и $R_1 \approx R_3 = 0$), получим $M \approx 0$. Тогда можно считать, что имеется идеальный трансформатор, эквивалентная схема которого приведена на фиг. 6,б, где

$$L = k^2 L_2, \quad (9)$$

$$R = k^2 R_2, \quad (10)$$

где k — коэффициент трансформации.

Приведенная схема соответствует случаю разряда конденсатора C_p на индуктивность L и активное сопротивление R . При этом характер разряда конденсаторов может быть аperiodическим (фиг. 5,а), если

$$R > 2\sqrt{\frac{L}{C_p}}, \quad (11)$$

периодическим или колебательным (фиг. 5,б), если

$$R < 2\sqrt{\frac{L}{C_p}}. \quad (12)$$

Как правило, при существующем в контактных конденсаторных машинах соотношении параметров R , L и C_p происходит колебательный

№ 316

разряд конденсаторов [10] i_1 . Для упрощенной эквивалентной схемы (фиг. 6, б) значения токов i_1 и i_2 в любой момент времени t могут быть определены из следующих формул:

$$i_1 = \frac{U_{co}}{\omega_0 L} e^{-\frac{b}{T}} \sin \omega_0 t, \quad (13)$$

где U_{co} — начальное напряжение на конденсаторе;

b — коэффициент, равный $\frac{R}{2L}$;

ω_0 — угловая частота колебательного разряда конденсатора,

$$\text{равная } \sqrt{\frac{1}{LC_p} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

$$i_2 = ki_1. \quad (14)$$

К основным параметрам для расчета конденсаторных машин можно отнести следующие:

1) максимальную аккумулируемую в конденсаторах энергию $A_{к\max}$, необходимую для качественной сварки двух максимальных толщин δ_{\max} расчетной марки металла;

2) напряжение зарядки конденсаторов U_c ;

3) емкость $C_{p\max}$, соответствующую расчетному значению $A_{к\max}$ и выбранному значению U_c .

Общее количество энергии $A_{к\max}$, которое должно быть аккумулировано в конденсаторах, состоит из трех составляющих

$$A_{к\max} = A_{лк\max} + A_{ж\max} + A_{вс\max}, \quad (15)$$

где $A_{лк\max}$ — максимальная энергия, необходимая для покрытия потерь в первичной цепи конденсаторной машины;

$A_{ж\max}$ — максимальная энергия, необходимая для покрытия потерь в железе сварочного трансформатора конденсаторной машины;

$A_{вс\max}$ — максимальная энергия, необходимая для сварки и покрытия потерь во вторичной цепи конденсаторной машины.

Приближенный расчет значений $A_{лк\max}$ и $A_{ж\max}$ не представляет сложной задачи и для практических целей может быть произведен по аналогии с данными известных работ по контактной сварке [2, 10].

Максимальное значение энергии, необходимое для покрытия потерь в первичной цепи, можно определить по следующей формуле:

$$A_{лк\max} \approx R_1' I_{1\text{ср}\max}^2 t_{\text{ср}\max} \text{ вт-сек}, \quad (16)$$

где R_1' — активное сопротивление первичной цепи конденсаторной машины с учетом поверхностного эффекта в ом;

$I_{1\text{ср}\max}^2$ — среднее значение максимального тока в первичной цепи конденсаторной машины в а;

$t_{\text{ср}\max}$ — среднее значение времени сварки на максимальном режиме в сек.

Энергия $A_{жстmax}$ при максимальной индукции железа сварочного трансформатора $B \geq 10000$ гс может быть определена в ваттах по формуле [10]

$$A_{жстmax} = \left[\sigma_n \frac{f_{срmax}}{100} \left(\frac{B_m}{10000} \right)^2 + \sigma_f \left(\frac{f_{срmax}}{100} \cdot \frac{B_m}{10000} \right)^2 \right] G_t t_{срmax}, \quad (17)$$

где $f_{срmax}$ — средняя частота разряда конденсаторов на максимальном режиме, которая может быть рассчитана [31] или определена по осциллограммам, в пер/сек;

σ_n и σ_f — коэффициенты, зависящие от марки и толщины трансформаторной стали [10], в вт/кг;

G_t — вес железного сердечника сварочного трансформатора в кг.

Значения $A_{лстmax}$ и $A_{жстmax}$ получаются обычно весьма малыми и практически в сумме составляют несколько процентов от $A_{кстmax}$, так как среднее время $t_{срmax}$ при конденсаторной сварке исчисляется тысячными долями секунды.

Поэтому в первом приближении можно принять

$$A_{кmax} \approx A_{окmax}. \quad (18)$$

Однако точный расчет значения $A_{кстmax}$ является довольно сложной задачей и значительно упрощается, если принять следующие допущения, которые не вносят больших погрешностей при условии точечной конденсаторной сварки металлов малых толщин:

1. Основная часть тепла, выделяемого в участке между электродами машины, расходуется на нагрев центрального столбика металла (фиг. 7) высотой $2\delta_{max}$ и диаметром

$$d_{nm} \approx d_{эmax}, \quad (19)$$

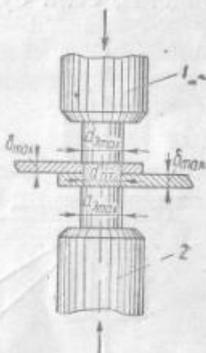
где d_{nm} — диаметр токопроводящего столбика металла;

$d_{эmax}$ — диаметр электродного контакта, при котором производится сварка сжатых между электродами 1 и 2 двух металлических пластинок толщиной δ_{max} каждая.

2. Потери тепла на нагрев металла, окружающего центральный столбик металла, а также на лучеиспускание с поверхности свариваемых деталей и на нагрев электродов вследствие теплоотвода через их контактные поверхности составляют незначительную величину и ими практически можно пренебречь.

На основании указанных допущений и расчетов, которые здесь не приводятся, автором получена следующая эмпирическая формула для определения максимальной аккумулируемой в конденсаторах энергии:

$$A_{экmax} \approx A_{кmax} \approx \frac{3,27}{\eta_{срmax}} d_{эmax}^2 2\delta_{max} \gamma S_{на}, \quad (20)$$



Фиг. 7. Схема пути сварочного тока при точечной конденсаторной сварке металлов малых толщин.

где $\eta_{свmax}$ — коэффициент полезного действия сварочной цепи конденсаторной машины для максимальной толщины δ_{max} расчетной марки металла;
 γ — удельный вес свариваемого металла;
 $S_{пл}$ — теплосодержание свариваемого металла, равное $S_{пл} = c_{пл}T_{пл}$, где $c_{пл}$ — теплоемкость металла при температуре плавления $T_{пл}$.

По аналогии с формулой (20) для общего случая сварки двух однородных металлов толщиной δ_i каждая необходимая энергия $A_{кл}$ в конденсаторах может быть определена из выражения

$$A_{кл} \approx \frac{3,27}{\eta_{св i}} d_{эл}^2 2\delta_i \gamma_i S_{пл i}. \quad (21)$$

Из формул (20) и (21) видно, что $A_{клmax}$ и $A_{кл}$ могут быть легко найдены, если будут известны значения коэффициентов $\eta_{свmax}$ и $\eta_{св i}$.

В первом приближении указанные коэффициенты могут быть рассчитаны исходя из следующих соображений. В процессе сварки сопротивления в участке между электродами с зажатыми свариваемыми деталями распределяются по схеме (фиг. 8). Тогда общее сопротивление $R_{св}$ участка между электродами равно

$$R_{св} = R_{э_1M_1} + R_{M_1} + R_{к} + R_{M_2} + R_{э_2M_2}, \quad (22)$$

где $R_{э_1M_1}$ и $R_{э_2M_2}$ — переходные сопротивления между соответствующими электродами и поверхностями свариваемых металлов;

R_{M_1} и R_{M_2} — сопротивления свариваемых металлов;

$R_{к}$ — переходное сопротивление в контакте между свариваемыми металлами.

Если производится сварка однородных металлов равных толщин при одинаковых материалах обоих электродов и состояниях их контактных поверхностей, то

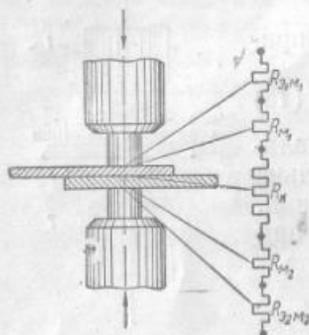
$$R_{э_1M_1} = R_{э_2M_2} = R_{эМ} \text{ и } R_{M_1} = R_{M_2} = R_{М}.$$

При этом формула (22) принимает такой вид:

$$R_{св} = 2R_{эМ} + R_{к} + 2R_{М}. \quad (23)$$

Однако сопротивления, входящие в формулу (22), в процессе сварки не остаются постоянными [10, 27] и изменяются следующим образом [10, 40]:

1) $R_{э_1M_1}$ и $R_{э_2M_2}$ — уменьшаются вследствие улучшения контакта между торцовыми поверхностями электродов и наружными поверхностями свариваемых материалов;



Фиг. 8. Схема распределения сопротивлений в участке между электродами при точечной сварке

2) R_k — уменьшается в результате улучшения контакта и уменьшения сопротивления окислов металлов, которые имеются на поверхности материалов, при повышении температуры;

3) R_{M_1} и R_{M_2} — возрастают вследствие нагрева изделия соответственно увеличению температуры.

Кроме того, переходные электрические сопротивления R_{M_1} , R_{M_2} и R_k зависят от свойств свариваемых материалов, состояния поверхности деталей и температуры. Известно также, что металлы с более низким электрическим сопротивлением (сплавы цветных металлов и легкие сплавы) обладают более низким переходным сопротивлением. Величина переходного сопротивления зависит также от давления на электродах и значительно уменьшается при его увеличении. Кроме того, переходное сопротивление значительно зависит от толщины и химсостава пленки окислов, которая практически всегда имеется на металлах, поставляемых заводами-изготовителями. Метод удаления указанной пленки окислов (зачистка на точиле, металлической щеткой и наждачной бумагой, травление или обработка струей песка) также в значительной степени влияет на величину переходного сопротивления.

По закону Ленца, общее количество тепла $Q_{ок}$, которое выделяется во вторичном контуре при точечной конденсаторной сварке за отрезок времени от t_{cs_1} (начало разряда) до t_{cs_2} (конец разряда), в общем случае, когда изменяются сопротивление R_2 и ток i_2 , может быть выражено формулой

$$Q_{ок} = 0,24 \int_{t_{cs_1}}^{t_{cs_2}} R_2 i_2^2 dt_{cs}. \quad (24)$$

Входящие в формулу (24) ток i_2 и время t_{cs} при конденсаторной сварке изменяются (фиг. 9) и являются в основном функцией регулируемых параметров:

1) емкости конденсаторов C_p — при увеличении емкости максимальное значение тока i_2 растет незначительно, но заметно увеличивается длительность разряда, т. е. время сварки t_{cs} (фиг. 9,а);

2) напряжения зарядки конденсаторов U_c — при увеличении напряжения существенно увеличивается ток i_2 и незначительно — время t_{cs} (фиг. 9,б);

3) коэффициента трансформации k — при увеличении коэффициента (что соответствует уменьшению вторичного напряжения сварочного трансформатора) заметно уменьшается ток i_2 и увеличивается время t_{cs} (фиг. 9,в);

4) коэффициента самоиндукции L — при увеличении этого коэффициента (что в основном соответствует увеличению вылета электродов конденсаторной машины) уменьшается ток i_2 и увеличивается время t_{cs} (фиг. 9,г);

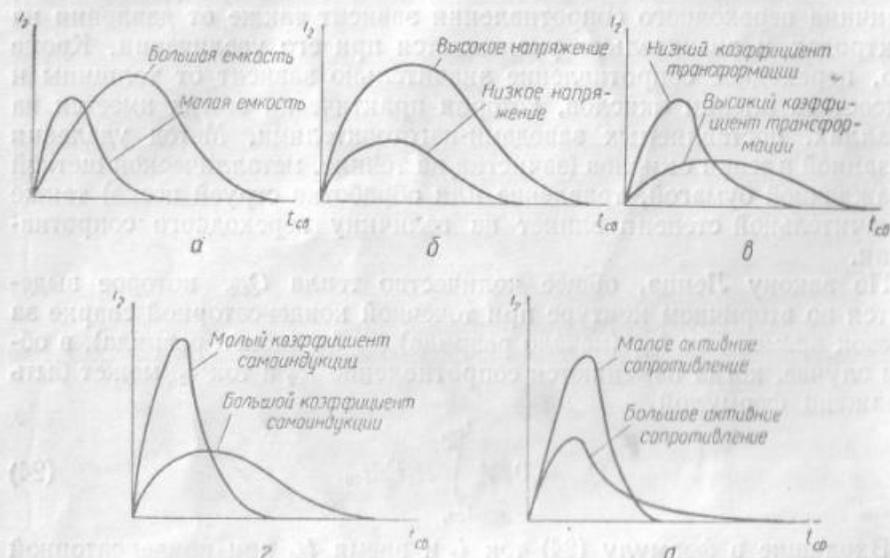
5) суммарного активного сопротивления вторичной цепи R_2 — при увеличении сопротивления уменьшается ток i_2 и увеличивается время t_{cs} (фиг. 9,д).

Суммарное сопротивление R_2 , входящее в формулу (24), может быть представлено следующим образом:

$$R_2 = R_2' + R_{cs} \quad (25)$$

где R_2' — суммарное сопротивление элементов вторичного контура машины вне участка между электродами.

Таким образом, сопротивление R_2 должно рассчитываться не только с учетом R_{cs} , но также R_2' , которое в конденсаторных машинах является в основном суммой таких сопротивлений: вторичного витка



Фиг. 9. Зависимость формы кривой сварочного тока I_2 конденсаторной машины от регулируемых параметров:

a — емкости конденсаторов; $б$ — напряжения на конденсаторах; $в$ — коэффициента трансформации; $г$ — коэффициента самоиндукции; $д$ — активного сопротивления.

(с учетом поверхностного эффекта), контакта между концами вторичного витка и гибкими шинами, гибких шин, контакта между гибкими шинами и электрододержателями, электрододержателей, контакта электрододержателей с электродами и электродов.

Из формулы (25) можно иметь

$$R_2 = \sum_{i=1}^n R_{2i} + R_{cs}, \quad (26)$$

где $\sum_{i=1}^n R_{2i}$ — сумма сопротивлений всех участков во вторичной цепи машины (кроме сопротивлений на участке между электродами).

Формула (26) показывает, что для реальных условий сварки правильное определение значения R_2 требует точных расчетов и измерений.

Входящие в первый член формулы (26) сопротивления зависят от конструктивного выполнения сварочного контура (его размеров, конфигурации), материала и сечений отдельных узлов, состояния контактов и т. д. Однако измерения и расчеты всех этих сопротивлений, которые обычно исчисляются микромами, могут быть произведены довольно точно [2, 10].

Более сложным является определение точного значения сопротивления R_{cs} — второго члена формулы (26). Указанная сложность объясняется некоторой неопределенностью значений составляющих этого сопротивления, входящих в формулу (22). Как указывалось выше, каждое из составляющих сопротивлений R_{cs} изменяется в процессе сварки, а некоторые из них зависят от ряда других факторов. Поэтому для более точных расчетов, чем это обычно принято [2, 12], желательно производить расчет и замеры составляющих сопротивлений R_{cs} для реальных условий, на подобранных опытным путем режимах сварки исследуемых материалов. При этом существенную помощь может оказать осциллографирование.

Кроме того, от соотношения сопротивлений R_2 и R_{cs} в формуле (25) зависит к. п. д. сварочного контура η_{cs} . Действительно, из этой формулы и общих положений теории контактной сварки [1, 10, 21, 26] можно вывести

$$\eta_{cs} = \frac{R_{cs}}{R_2} = \frac{R_{cs}}{R'_2 + R_{cs}} \quad (27)$$

Полученная формула справедлива, если допустить, что

$$R_{cs} \approx R_{cs0} \quad (28)$$

где R_{cs0} — сопротивление, на котором генерируется тепло, необходимое для сварки.

Практически всегда имеет место зависимость

$$R_{cs} < R_{cs0} \quad (29)$$

так как неизбежны отвод тепла в электроды, нагрев зоны металла вокруг сварной точки, потери на конвекцию и т. д. Однако для процесса точечной конденсаторной сварки металлов малых толщин формула (28) может быть принята при грубых практических расчетах.

Приведенная выше формула (27) показывает, что чем меньше суммарное сопротивление R'_2 , тем больше η_{cs} , и наоборот.

В пределе для теоретического случая, если

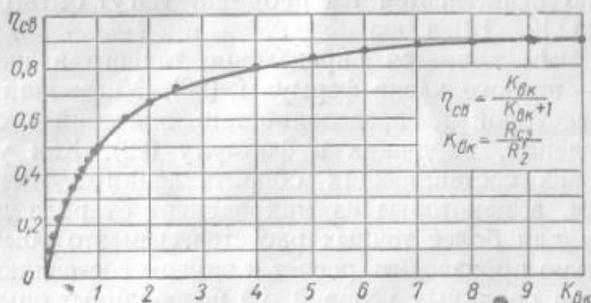
$$R'_2 = 0, \quad (30)$$

имеет место следующее равенство

$$\eta_{cs} = 1. \quad (30)$$

Практически последнее является невозможным, так как нельзя осуществить конструкцию машины, у которой $R'_2 = 0$. Однако важный

вывод из изложенного выше состоит в том, что для получения возможно большего значения к. п. д. вторичного контура конденсаторной машины необходимо стремиться к уменьшению суммарного сопротивления R'_2 . Поэтому желательно увеличивать сечение вторичного витка, уменьшать его длину и применять для его изготовления наиболее электропроводные марки меди, а также улучшать контакты в местах крепления шин, электрододержателей, электродов и т. д.



Фиг. 10. Зависимость к. п. д. сварочной цепи конденсаторной машины $\eta_{св}$ от коэффициента сопротивлений $k_{ок}$.

Если в правой части формулы (27) разделить все члены на $R_{св}$, то получим

$$\eta_{св} = \frac{1}{1 + \frac{R'_2}{R_{св}}}$$

Вводя коэффициент сопротивлений

$$k_{ок} = \frac{R_{св}}{R'_2}, \quad (31)$$

имеем

$$\eta_{св} = \frac{k_{ок}}{k_{ок} + 1}. \quad (32)$$

Полученная формула наглядно показывает, что к. п. д. сварочного контура зависит от коэффициента сопротивлений $k_{ок}$. Рассчитанная автором зависимость $\eta_{св} = f(k_{ок})$ приведена на фиг. 10 и может служить для определения $\eta_{свmax}$ и $\eta_{св1}$ в формулах (20) и (21), а также для других расчетов при проектировании не только конденсаторных, но и других контактных машин.

Необходимо отметить, что изложенный выше простой метод определения накопленной энергии в конденсаторах оказывается трудным для практического использования при разработке режимов конденсаторной сварки, что объясняется сложностью нахождения значений разных сопротивлений, необходимых для определения $\eta_{св}$. Поэтому в практике подбор режимов сварки на конденсаторных машинах производится опытным путем или по готовым таблицам [36, 40, 56, 57].

Однако разработанная автором методика определения $A_{кл}$ оказывается необходимой при проектировании конденсаторных машин для сварки металлов малых толщин и позволяет более глубоко понять физическую сущность процесса конденсаторной сварки.

Расчеты, а также опыт проектирования и внедрения показывают, что для точечной конденсаторной сварки многих марок металлов толщиной до $0,5+0,5$ мм достаточно накопленная энергия порядка $60-70$ вт-сек и для нержавеющей стали типа 18-8 толщиной $0,8+0,8$ мм — порядка $350-400$ вт-сек (в первом случае при вылете электродов до $60-100$ мм, а во втором — до $200-250$ мм).

МАШИНЫ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ И ШОВНОЙ КОНДЕНСАТОРНОЙ СВАРКИ ЦВЕТНЫХ И ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ МАЛЫХ ТОЛЩИН

Электрические схемы точечных машин

Расчеты и опыт конструирования маломощных точечных конденсаторных машин* показывают, что потребляемая ими средняя мощность от сети переменного тока составляет величину, близкую к 0,1—0,5 *квa*. Поэтому такие машины могут питаться от однофазной осветительной сети, что значительно упрощает их электрические схемы и эксплуатацию. Однако для шовных конденсаторных машин, в которых для привода роликов установлены трехфазные двигатели, возникает необходимость в их питании от трехфазной сети с частотой 50 *гц*.

Точечные конденсаторные машины, разработанные Институтом электротехники АН УССР и Киевским политехническим институтом, имеют нерегулируемое напряжение зарядки конденсаторов, что упростило их схемы и подбор режимов сварки. Кроме того, такое регулирование не всегда оправдывается технологически, так как требуемую при сварке оптимальную кривую сварочного тока (см. фиг. 9) можно получить за счет регулирования емкости конденсаторов, коэффициента трансформации и усилия сжатия электродов.

Кроме указанных выше рекомендаций, в основу разработки электрической части маломощных конденсаторных машин необходимо принимать следующие положения:

1. Использование для зарядки конденсаторов малогабаритных кенотронов и селеновых выпрямителей, а также тиратронов.
2. Использование в стационарных машинах серийных бумажных или металlobумажных конденсаторов как наиболее экономичных, надежных и относительно недефицитных, а в переносных машинах — электролитических конденсаторов.
3. Установка в разрядной цепи машины магнитных контакторов и механических переключателей, а также импульсных тиратронов и игнитронов.
4. Плавное-ступенчатое регулирование емкости конденсаторов с помощью специального устройства (например, штепсельного переключателя).

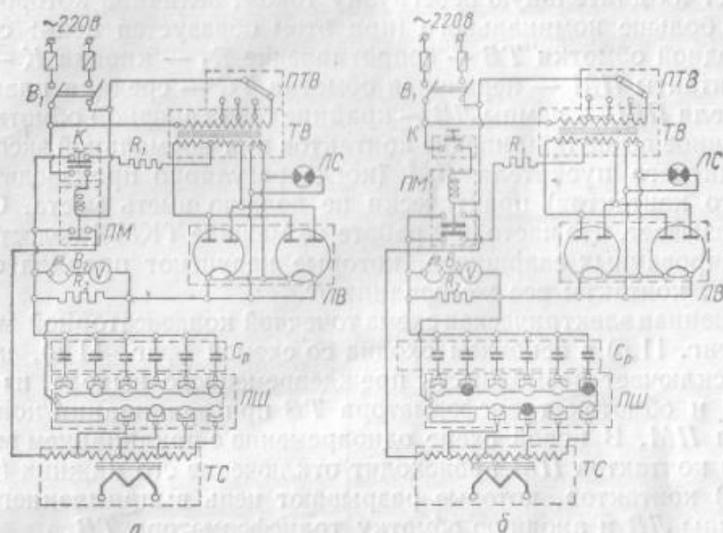
При разработке электрических схем конденсаторных машин важным вопросом является выбор рабочего напряжения конденсаторов. По условиям техники безопасности в таких машинах желательно

* Подразумеваются машины с накопленной энергией 0,5—1,0 *квт-сек*.

избегать использования напряжений выше 500—600 в. Однако в некоторых случаях, например, в точечной машине ТКМ-6 и шовных машинах типа ШКМ, рабочее напряжение принимается равным 600—1000 в.

Электрическая схема серийной стационарной точечной конденсаторной машины ТКМ-4 приведена на фиг. 11, а.

При подаче переменного напряжения на зажимы схемы и включении двухполюсного выключателя B_1 получает питание выпрямительный



Фиг. 11. Электрическая схема серийной точечной конденсаторной машины ТКМ-4:

а — нормальная; б — улучшенная.

трансформатор TB . Начинается разогрев нитей накала выпрямительных ламп $ЛВ$ (типа ВО-188), после чего заряжаются конденсаторы C_p . Количество заряжаемых конденсаторов зависит от числа штеккеров, включенных в штепсельный переключатель $ПШ$.

Нажатием кнопки K размыкается цепь зарядки конденсаторов, включается катушка магнитного пускателя $ПМ$, замыкаются контакты пускателя и происходит разряд конденсаторов на первичную обмотку сварочного трансформатора $ТС$, во вторичном витке которого индуцируется импульс сварочного тока. При этом предварительно зажатые между электродами машины детали свариваются в одной точке.

Вольтметр V в схеме предусмотрен для периодического контроля напряжения зарядки конденсаторов и контроля их исправности. Выключатель B_2 в цепи вольтметра нормально находится в отключенном положении. Лампа $ЛС$ сигнализирует о включении машины под напряжение питающей ее сети. Зарядное сопротивление R_1 ограничивает анодный ток выпрямительных ламп, а разрядное сопротивление R_2 (подключенное наглухо к обоим зажимам включаемых в работу

конденсаторов) гасит остаточный заряд конденсаторов при отключении машины от сети.

Следует отметить, что в схеме (фиг. 11,а) при длительном прилипании силовых контактов магнитного пускателя *ПМ* возможен выход из строя выпрямительных ламп *ЛВ*, а иногда и перегорание обмоток выпрямительного трансформатора *ТВ*. Это объясняется тем, что обмотки последнего и выпрямительные лампы рассчитаны на кратковременную работу при зарядке конденсаторов, а прилипание контактов *ПМ* обуславливает их длительную перегрузку током, величина которого значительно больше номинального (при этом образуется цепь: средняя точка анодной обмотки *ТВ* — сопротивление R_1 — кнопка *К* — замкнутые контакты *ПМ* — первичная обмотка *ТС* — средняя планка переключателя *ПШ* — лампы *ЛВ* — крайние точки анодной обмотки *ТВ*).

Указанное выше прилипание контактов при нормальной эксплуатации магнитного пускателя *ПМ* (когда регулярно производится зачистка его контактов) практически не должно иметь места. Однако опыт показывает, что часто при работе на машине ТКМ-4 недостаточно квалифицированных сварщиков, которые нарушают правила ее эксплуатации, контакты все же прилипают.

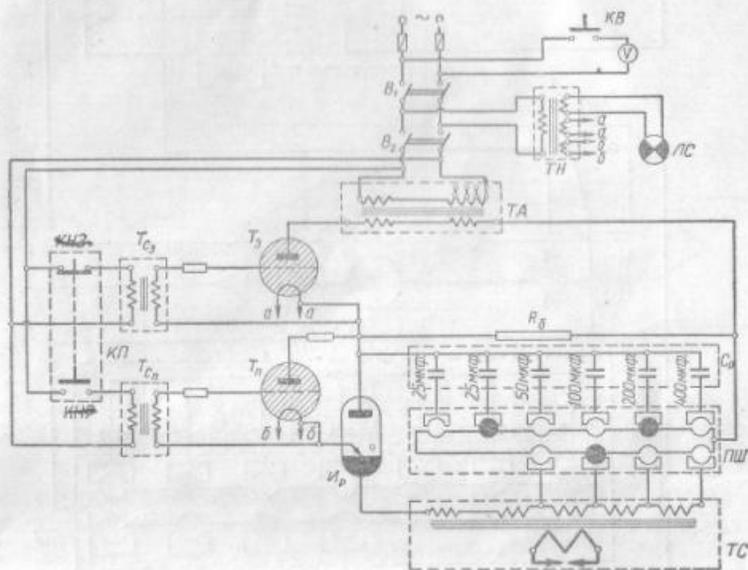
Улучшенная электрическая схема точечной конденсаторной машины ТКМ-4 (фиг. 11,б) в основном сходна со схемой (фиг. 11,а), но полностью исключает возможность преждевременного выхода из строя ламп *ЛВ* и обмоток трансформатора *ТВ* при прилипании контактов пускателя *ПМ*. В новой схеме одновременно с прилипанием верхних (силовых) контактов *ПМ* происходит отключение его нижних (блокировочных) контактов, которые разрывают цепь выпрямленного тока через лампы *ЛВ* и анодную обмотку трансформатора *ТВ*.

Электрическая схема переносной точечной конденсаторной машины ПТКМ-1 [39, 40] в основном аналогична схеме машины ТКМ-4. Различие схем заключается в том, что в машине ПТКМ-1 для удобства работы включение сварочного тока производится ножной кнопкой, соединенной с кожухом машины гибким шлангом (см. фиг. 29).

На фиг. 12 приведена электрическая схема точечной конденсаторной машины ТКМ-6. При подаче напряжения на ее входные зажимы и включении двухполюсного выключателя B_1 получает питание первичная обмотка накаливающего трансформатора *ТН* и начинается разогрев тиратронов: зарядного T_3 и поджигательного T_4 . После разогрева указанных ламп включается второй двухполюсный выключатель B_2 , благодаря чему получает питание первичная обмотка анодного трансформатора *ТА*. Кроме того, через нормально замкнутые контакты (*КНЗ*) пусковой кнопки *КП* получает питание первичная обмотка сетевого трансформатора $T_{св}$, вследствие чего индуктированное в его вторичной обмотке переменное напряжение производит (в каждый из положительных полупериодов) отпирание тиратрона T_3 . Благодаря этому получает зарядку регулируемая (по условиям режима сварки) емкость C_p . Нажатием кнопки *КП* размыкается цепь трансформатора $T_{св}$, и при включении ее нормально разомкнутых контактов (*КНР*) получает питание первичная обмотка второго сетевого трансформатора

$T_{ст}$, управляющего сеткой лампы T_n . Лампа отпирается и производит поджигание разрядного ионитрона I_p , находящегося в цепи первичной обмотки сварочного трансформатора $ТС$. Происходит разряд конденсаторов C_p на эту обмотку и сварка деталей во вторичной цепи трансформатора $ТС$.

Вольтметр V в схеме (фиг. 12) служит для периодического контроля напряжения сети (нормально кнопка вольтметра KB находится в отключенном положении). Лампочка $ЛС$ показывает, что схема машины находится под напряжением питающей ее сети. Балластное сопротивление R_b подключено наглухо к обоим обкладкам конденсаторов и служит для гашения их заряда при отключении машины от сети.



Фиг. 12. Электрическая схема точечной конденсаторной машины ТКМ-6.

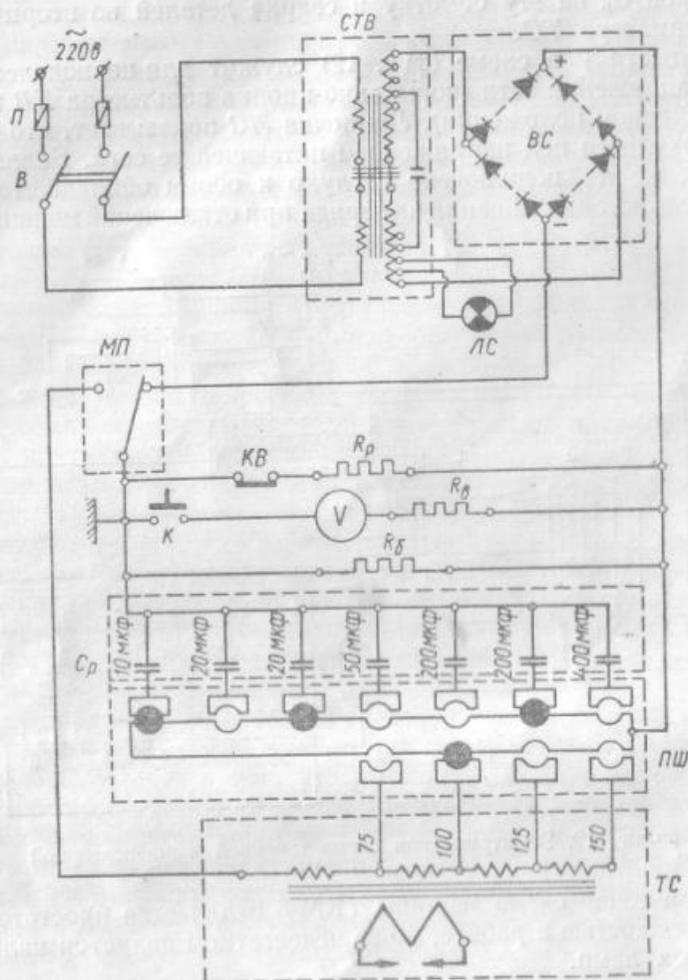
Электрическая схема машины ТКМ-6 отличается простотой и высокой надежностью в работе, но ее недостатком является наличие накаливаемых ламп.

Электрическая схема точечной конденсаторной машины ТКМ-7 (фиг. 13) имеет по сравнению со схемой серийной машины ТКМ-4 следующие улучшения:

1) наличие стабилизирующего выпрямительного трансформатора (феррорезонансного типа), который при колебаниях сетевого напряжения в пределах от 150 до 250 в обеспечивает стабильность напряжения зарядки конденсаторов ($600 \text{ в} \pm 1\%$) при минимальной и максимальной их емкости;

2) выпрямление тока широко распространенными в настоящее время селеновыми выпрямителями, что позволило отказаться от кенотронов и получить безнакальную схему выпрямления;

3) коммутирование зарядного и разрядного токов конденсаторов механическим переключателем (с вольфрамово-медными контактами), что повысило эксплуатационные качества новой машины.

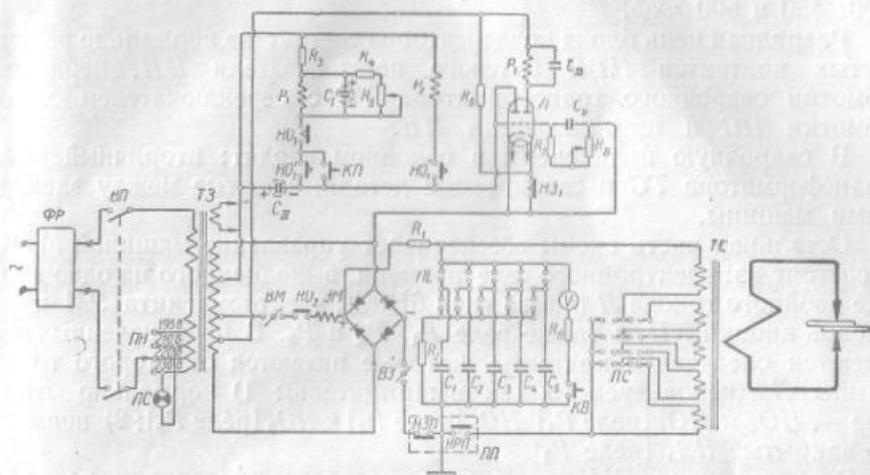


Фиг. 13. Электрическая схема точечной конденсаторной машины ТКМ-7.

При подаче напряжения на ее входные зажимы и включении двухполюсного выключателя V получает питание первичная обмотка стабилизирующего выпрямительного трансформатора $СТВ$ *. Немедленно после этого начинается зарядка конденсаторов C_p от селенового выпрямителя BC ; включенного по двухполупериодной схеме (зарядка максимальной емкости машины длится менее 0,5 сек). Затем при пере-

* Расчет и конструирование этого трансформатора произвел инж. В. Н. Яценко.

ключении подвижной планки механического переключателя *МП* из правого положения в левое происходят размыкание цепи зарядки конденсаторов и их немедленный разряд на первичную обмотку сварочного трансформатора *ТС* (в последнем регулирование коэффициента трансформации производится перестановкой штеккера в одно из положений в нижнем ряду штепсельных гнезд переключателя *ПШ*). При этом индуктирование во вторичном витке трансформатора *ТС* импульса тока обуславливает сварку деталей, зажатых между электродами машины.



Фиг. 14. Электрическая схема точечной конденсаторной машины МТК-2.

После отпускания педали машины происходит новое переключение подвижной планки *МП* из левого положения в правое и конденсаторы опять заряжаются для сварки следующей точки.

Вольтметр *V* с добавочным сопротивлением R_2 предусмотрен для периодического контроля напряжения на конденсаторах и проверки их исправности. Находящаяся в цепи этого прибора кнопка *K* нормально находится в отключенном положении. Сигнальная лампочка *ЛС* показывает, что схема машины находится под напряжением питающей ее сети.

В схеме машины *ТКМ-7* имеется также балластное сопротивление R_6 , которое подключено наглухо к обоим зажимам, включаемых в работу конденсаторов, и полностью гасит (в течение 25—30 сек) их остаточный заряд после отключения машины от питающей сети.

Наконец, в схеме имеется разрядное сопротивление R_3 , включенное через нормально разомкнутые контакты конечного выключателя *КВ*. Замыканием контактов обеспечивается полный разряд находившихся в работе конденсаторов на указанное выше сопротивление в течение десятых долей секунды.

Электрическая схема точечной конденсаторной машины *МТК-2* [56] приведена на фиг. 14 (здесь также показан фильтр радиозащиты

ФР). В схеме машины МТК-2 имеются цепи зарядки и разряда блока конденсаторов, сварочная цепь и управляющая часть.

В зарядную цепь блока конденсаторов $C_1 - C_5$ входят: переключатель емкостей ПЕ, зарядное сопротивление R_1 , повышающая обмотка трансформатора ТЗ, селеновый выпрямитель, выключатель ВЗ и нормально замкнутые контакты НЗП путевого переключателя ПП. Включаемая в работу емкость блока конденсаторов может регулироваться переключателем ПЕ ступенями через 25—50 мкф. В машине насчитывается 12 ступеней: 25; 50; 75; 100; 150; 200; 250; 300; 350; 400; 450 и 500 мкф.

Разрядная цепь блока конденсаторов состоит из нормально разомкнутых контактов НРП путевого переключателя ПП, первичной обмотки сварочного трансформатора ТС с переключателем секций обмотки ПС и переключателя ПЕ.

В сварочную цепь схемы в основном входят: вторичный виток трансформатора ТС и свариваемые детали, зажатые между электродами машины.

Остальная часть схемы обеспечивает управление машиной МТК-2 и состоит из: электронного реле времени, выполненного на одном триоде двойного триода Л (лампа типа 6Н8С); электромагнита ЭМ и пусковой кнопки КП, а также реле P_1 , P_2 и P_3 . В перечисленных реле имеются следующие контакты, которые питаются от второго триода лампы Л (используемого как выпрямитель): 1) нормально открытые — HO_1 и HO_1' [реле P_1], HO_2 [реле P_2] и HO_3 [реле P_3]; 2) нормально закрытые НЗ₁ [реле P_1].

Электромагнит ЭМ, включение которого производит реле P_2 , осуществляет перемещение верхнего электрода машины (см. фиг. 22) и создает усилие сжатия электродов. Продолжительность сжатия электродов на всех режимах сварки остается постоянной и определяется выдержкой времени на отпускание реле P_1 ; необходимое значение этого времени получается благодаря шунтированию обмотки реле P_1 емкостью C_1 , увеличивающей постоянную времени данного реле. Питание электромагнита производится от селенового выпрямителя с использованием средней точки вторичной обмотки трансформатора ТЗ через выключатель ВМ и реле P_2 .

Продолжительность циклов сварки: зарядка конденсаторов—сжатие свариваемых деталей в электродах — разряд конденсаторов, определяется электронным реле времени и может плавно изменяться потенциометром R_8 .

Перед включением машины в сеть переменного тока переключатель напряжения ПН устанавливается в положение, соответствующее значению сетевого напряжения. После этого включением двухполюсного выключателя ВП напряжение сети подается на однофазный трансформатор ТЗ, питающий все элементы описываемой схемы. Начинается разогрев катода лампы Л и загорается сигнальная лампочка ЛС. Затем включается выключатель ВЗ и начинается зарядка конденсаторов, находящихся в работе соответственно необходимому по режиму сварки положению переключателя ПЕ.

После быстрого разогрева лампы L происходит включение находящегося в ее анодной цепи реле P_3 , и примерно через 20 сек после включения под напряжение машина оказывается готовой к работе, которая может производиться автоматически или неавтоматически.

При автоматической работе кнопка $KП$ находится во включенном положении при нажатой рамке педали (см. фиг. 22). При этом, благодаря включенным контактам HO_3 , срабатывает реле P_1 , которое контактами HO_1'' включает реле P_2 . Кроме того, при включении реле P_1 разрывается анодная цепь лампы L (контактами $HЗ_1$), что вызывает отпускание реле P_3 и разрыв цепи питания реле P_1 . Однако последнее продолжает оставаться включенным пока происходит разряд конденсатора C_1 .

Срабатывание реле P_2 обуславливает подачу питания (при включенном $ВМ$) на электромагнит $ЭМ$, который опускает верхний электрод и производит сжатие свариваемых деталей. В конце рабочего хода якоря электромагнита происходит переключение с зарядки на разряд контактного устройства путевого переключателя $ПП$. При этом конденсаторы полностью разряжаются на первичную обмотку трансформатора $ТС$ и сжатые детали свариваются в одной точке.

Быстрый разряд конденсатора C_1 вызывает отключение реле P_1 , которое контактами HO_1'' разрывает цепь питания реле P_2 и отключает электромагнит $ЭМ$.

При разрыве анодной цепи лампы L происходит зарядка конденсатора C_{II} (за счет сеточных токов—через сопротивление и промежуток сетка—катод этой лампы). Тогда под действием напряжения на конденсаторе C_{II} лампа L запирается. Однако замыкание контактов $HЗ_1$ обуславливает разряд конденсатора C_{II} на сопротивления P_7 и R_8 . При достаточном разряде лампа L отпирается, ее анодный ток возрастает, происходит срабатывание реле P_3 , и цикл сварки повторяется.

В схеме имеется также вольтметр V с кнопкой $КВ$ и добавочным сопротивлением R_a . Кроме того, в схеме установлено балластное сопротивление R_b , которое гасит остаточный заряд конденсаторов после отключения машины от питающей ее сети.

Основным преимуществом электрической схемы машины МТК-2 является возможность автоматической работы с заданным циклом сварки, что в основном может иметь применение при сварке изделий из металлов малых толщин двумя и более точками. Однако сложность электрической схемы машины МТК-2, которая является не специализированной машиной, а имеет универсальное назначение, является основным ее недостатком.

Электрические схемы машин МВТУ [19] в основном сходны с рассмотренными выше схемами машин ТКМ-4 и ТКМ-7. Однако принятое в этих машинах регулируемое напряжение зарядки конденсаторов потребовало дополнительной установки в них автотрансформатора.

Электрические схемы шовных машин

Первые опыты по шовой конденсаторной сварке металлов малых толщин [34, 41] проводились при управлении циклом «зарядка—разряд»

конденсаторов с помощью вращающегося контактного переключателя, подававшего управляющие импульсы на сетки вентильных ламп. Однако оказалось, что большие эксплуатационные недостатки коммутатора при частотах срабатывания порядка 25 гц не обеспечивают стабильности сварочного процесса. Поэтому автором и канд. техн. наук С. В. Свечниковым [41] разработаны схемы шовных конденсаторных машин с электронным управлением циклом «зарядка — разряд» конденсаторов, которые обладают высокими эксплуатационными качествами.

При шовной конденсаторной сварке для получения качественного шва необходимо чтобы накапливаемая в рабочей емкости C_p (см. фиг. 4,б) энергия была бы от точки к точке одинакова. Это приводит к условию постоянства напряжения U_c на емкости C_p к моменту начала сварочного периода, а также требует, чтобы во время разряда емкости C_p на сварочный трансформатор ТС отключалась от сети ее зарядная цепь, а в процессе зарядки емкости была разорвана ее разрядная цепь. Такой режим работы обуславливает применение в зарядной и разрядной цепях маломощных шовных конденсаторных машин управляемых вентилей, какими могут служить тиратроны и игнитроны.

К вентилям в схемах таких машин предъявляются требования большой импульсной перегрузки, так как работа системы осуществляется на емкость при сравнительно больших значениях токов, определяемых при заданных C_p и U_c верхним значением частоты f_p образующихся сварных точек. В соответствии с этим в маломощных шовных конденсаторных машинах (типов ШКМ-1 и ШКМ-2) в качестве вентильных элементов B_z и B_p (см. фиг. 4,б) использованы импульсные тиратроны типов ТГИ-200* и ТГИ-400/3,5.

Системы автоматического управления шовными конденсаторными машинами должны обеспечивать регулировку рабочей частоты повторения цикла «зарядка — разряд» конденсаторов в необходимых пределах, требуемых технологическим режимом сварки, четкое чередование процессов зарядки емкости C_p и ее разряда без наложения сети на сварочную цепь и, наконец, надежную зарядку емкости до амплитудного значения напряжения вторичной обмотки анодного трансформатора ТА при заданной частоте f_p .

При питании машины от сети переменного тока промышленной частоты через трансформатор ТА максимальное значение f_p очевидно, определится равенством $f_{p\text{max}} = f_c = 50$ гц. При этом регулировка частоты f_p возможна лишь в сторону ее уменьшения. Нетрудно показать, что устойчивая работа машины будет иметь место лишь при вполне определенных значениях рабочей частоты

$$f_p = \frac{f_c}{n}, \quad (33)$$

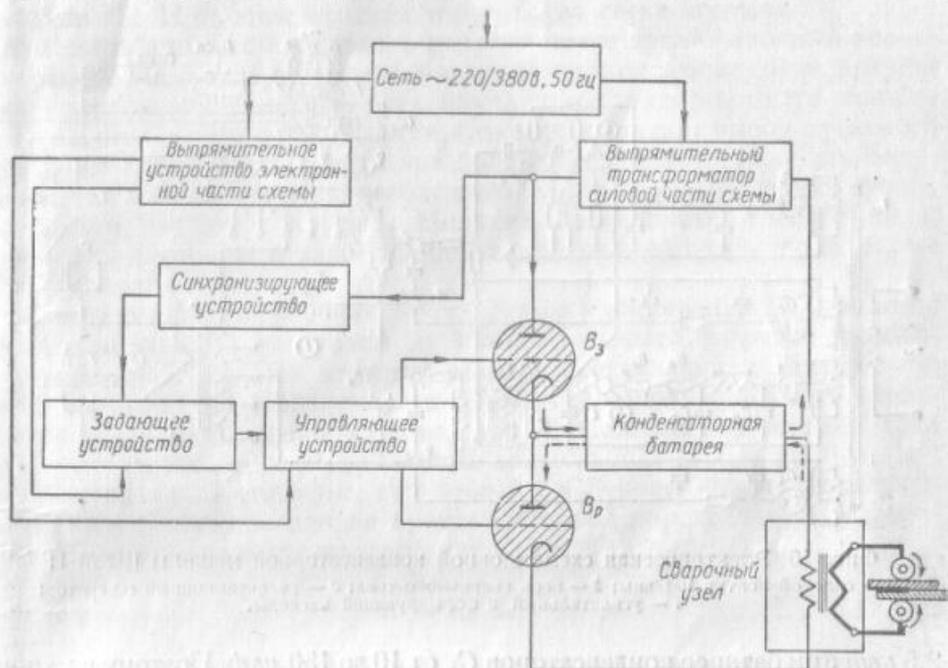
где n — любое целое число;

f_c — частота тока в сети.

* Взамен тиратронов ТГИ-200 могут быть применены любые другие импульсные тиратроны с отрицательной сеточной характеристикой и соответствующей мощностью.

Для большинства случаев применения шовной конденсаторной сварки металлов малых толщин оказывается вполне достаточным ограничиться четырьмя значениями рабочих частот: 50; 25; 12,5 и 6,25 гц, что вполне обеспечивает универсальность машин, используемых для таких целей.

Теоретический анализ показывает, что максимальный к. п. д. и четкая работа машин имеют место лишь тогда, когда клапан B вступает в работу одновременно с нарастанием положительного потенциала на его аноде. Это требует осуществления на всех рабочих режимах,



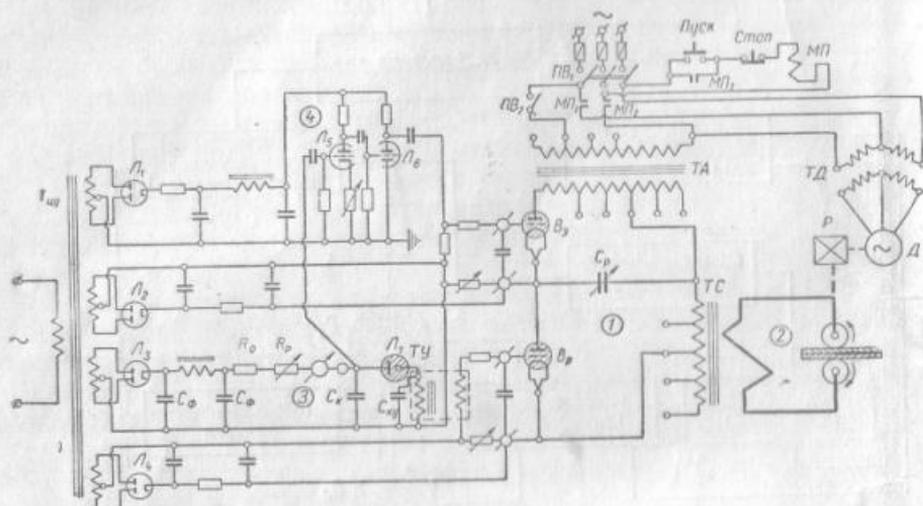
Фиг. 15. Принципиальная взаимосвязь узлов электрической схемы шовной конденсаторной машины.

и в особенности при максимальных частотах, четкой синхронизации управляющего напряжения клапана B с напряжением вторичной обмотки трансформатора $ТД$. При этом для получения четкой поочередной работы зарядной и разрядной цепей необходимо, чтобы управляющие напряжения на клапанах B_z и B_p были сдвинуты на 180° .

В соответствии с изложенным выше система управления шовными конденсаторными машинами будет иметь вид, представленный на фиг. 15. Наиболее ответственными узлами системы являются задающее и управляющее устройства структура и характеристика которых определяются необходимыми характеристиками машины в целом и параметрами входных цепей клапанов B_z и B_p .

Рабочий режим машины по частоте f_p определяется задающим устройством, которое должно представлять собой генератор управляющих

колебаний с регулируемой частотой в заданных пределах. Форма колебаний и их временной сдвиг определяются характеристиками управляющего устройства. При малой мощности входных цепей вентилей B_a и B_p задающее устройство может объединять в себе и элементы управляющего устройства, что имеет место в схеме маломощной машины ШКМ-1 (фиг. 16), выполненной на левых импульсных тиратронах ТГИ-200 в главной цепи передачи мощности. В машине ШКМ-1 установленная мощность трансформатора TA незначительна и равна



Фиг. 16. Электрическая схема шовной конденсаторной машины ШКМ-1:

- 1 — силовой контур машины; 2 — цепь сварочного тока; 3 — релаксационный генератор; 4 — усилительный и формирующий каскады.

2,5 квт при батарее конденсаторов C_p от 10 до 150 мкф. Поэтому в машине рабочий режим вентиля B_a , при прочих равных условиях, будет весьма существенно зависеть от заданного значения f_p .

При больших значениях C_p ее зарядка будет длиться несколько периодов напряжения сети и, следовательно, отпирающий импульс на сетке вентиля B_a должен быть достаточно длительным, чтобы обеспечить завершение этого процесса. При малой емкости C_p время ее зарядки невелико, и весь процесс может завершиться за полпериода сетевого напряжения. В первом случае максимально возможная частота укладывания сварных точек значительно меньше 50 гц, во втором случае она приближается к последней величине. При этом, очевидно, важно, чтобы вентиль B_a открывался сразу в начале положительного полупериода анодного напряжения и оставался бы открытым в течение всего необходимого времени зарядки. Минимальная длительность зарядного импульса определяется полупериодом анодного напряжения, а максимальная, в зависимости от требуемой рабочей частоты, может составлять несколько периодов этого напряжения.

Для получения нормальной работы тиратрона в зарядной цепи при не слишком высокой амплитуде управляющего импульса, обеспечивающей устойчивый термический режим сетки, необходимо, чтобы форма отпирающего сигнала на сетке вентиля B_3 была прямоугольной. Кроме того, длительность импульса должна автоматически возрастать с уменьшением задаваемой частоты укладки точек и снижаться с ростом последней.

При определении рабочего режима разрядного вентиля B_p необходимо иметь в виду, что на его аноде действует постоянный потенциал емкости C_p . При этом входной импульс на сетке вентиля B_p будет определять лишь момент начала разряда емкости на сварочный трансформатор $ТС$. Тогда при малом значении постоянной времени разрядной цепи время разряда во всех случаях оказывается много меньше полупериода сетевого напряжения, что обуславливает выбор пускового импульса малой длительности при большой его амплитуде. Для получения четкого зажигания необходимо также иметь передний фронт пускового импульса крутым. Никаких специальных требований к форме его вершины и заднего фронта при наличии тиратрона B_p не предъявляется.

Описанный выше рабочий режим схемы в машине ШКМ-1 задается релаксационным генератором на лампе тлеющего разряда (стабиловольт типа СГ2С). При этом переменная составляющая напряжения на C_k — коммутирующей емкости генератора используется для управления вентиля B_3 , а напряжение, пропорциональное импульсу тока в стабиловольте, — для управления вентиля B_p .

Управляющий импульс, снимаемый с C_k , имеет форму нарастающей экспоненты, постоянная времени которой определяется параметрами зарядной цепи генератора как

$$\tau_0 = R_{\Sigma} C_k, \quad (34)$$

где R_{Σ} — полное сопротивление зарядной цепи емкости C_k (включая сопротивление источника питания релаксационного генератора).

При выбранном типе лампы тлеющего разряда амплитуда управляющего импульса определяется разностью потенциалов зажигания и погасания этой лампы (порядка 20—30 в), что является недостаточным для обеспечения четкой работы вентиля B_3 . Поэтому в схеме предусмотрен усилитель-формирователь (собранный на лампах L_5 и L_6), на выходе которого импульс имеет форму, близкую к прямоугольной при амплитудном значении порядка 100 в.

Управляющий импульс на сетку вентиля B_p снимается со вторичной обмотки пускового трансформатора $TУ$, включенного в разрядную цепь последовательно с лампой $L7$. Форма импульса соответствует форме разрядного тока емкости C_k и при незначительном сопротивлении первичной обмотки трансформатора $TУ$ будет определяться внутренним сопротивлением лампы $L7$, которое обычно не превышает нескольких сот ом.

Период разрывных колебаний, генерируемых схемой релаксационного генератора, определяется его параметрами в соответствии с выражением

$$T = R_{э2} C_k \left[\ln \frac{U - U_n}{U - U_s} + \frac{R_0}{R_{э2}} \ln \frac{U_s}{U_n} \right], \quad (35)$$

где U , U_s и U_n — соответственно напряжение питания генератора, потенциал зажигания и потенциал погасания лампы Л7;

R_0 — динамическое сопротивление стабиловольта.

При малых частотах, учитывая, что $C_k < C_\phi$, очевидным является неравенство $R_0 \ll R_{э2}$ и, следовательно, в первом приближении

$$T \cong R_{э2} C_k \ln \frac{U - U_n}{U - U_s}. \quad (36)$$

Из соотношения (36) следует, что регулировка рабочей частоты f_p в данной схеме возможна за счет изменения сопротивления $R_{э2}$, которое состоит из регулируемой R_p и нерегулируемой R_0 секций (см. фиг. 16).

Величина регулируемой секции сопротивления $R_{э2}$ определяется величинами $f_{p\max}$ и $f_{p\min}$ — верхним и нижним пределами рабочей частоты укладывания сварных точек.

Величина нерегулируемой секции сопротивления R_0 определяется из условия достаточного запаса устойчивости генератора, причем генерирование схемой разрывных колебаний имеет место лишь при параметрах схемы, удовлетворяющих неравенству

$$R_0 > \frac{U - U_{ст} - U_n}{U_n} (R_0 + R_{np}) - R_u - R_{p\min}, \quad (37)$$

где $U_{ст}$ — нормальное катодное падение напряжения в стабиловольте Л7;

R_{np} — сопротивление нагрузки в его разрядном контуре;

R_u — внутреннее сопротивление источника питания.

Неравенство (37) должно быть достаточно выраженным, чтобы не наступал срыв генерирования при возможных колебаниях напряжения питания, а также сопротивлений схемы при изменениях температуры.

Параметры разрядной цепи лампы Л7 выбираются так, чтобы временной сдвиг между задним фронтом импульса, подаваемого на вентиль B_s , и передним фронтом импульса, подаваемого на вентиль B_p , был больше времени деионизации t_d первого из них. Для этого в разрядном контуре релаксационного генератора устанавливается корректирующая емкость $C_{кy}$, подключенная параллельно первичной обмотке трансформатора ТУ.

Сказанное выше поясняется фиг. 17, на которой приняты следующие обозначения:

$U_{ск}$ — напряжение на коммутирующей емкости C_k ;

$U_{свz}$ — напряжение на сетке вентиля B_s ;

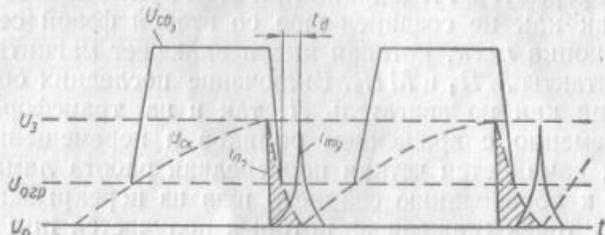
U_a и U_n — потенциалы зажигания и погасания лампы Л7;

$U_{огр}$ — напряжение ограничения;

i_{a7} — ток в цепи лампы Л7;

i_{my} — ток в цепи пускового трансформатора ТУ.

В схеме (фиг. 16) не предусмотрено синхронизирующее устройство. Релаксационный же генератор на лампе тлеющего разряда является нестабильным элементом электрической цепи, параметры и характеристики которого изменяются со временем. Поэтому требуемая рабочая частота может устанавливаться каждый раз подбором величины сопротивления R_p , при непосредственном контроле частоты



Фиг. 17. Токи и напряжения в управляющих цепях тиратронов машины ШКМ-1.

по миллиамперметру (так как постоянная составляющая тока в разрядном или зарядном контуре C_k всегда будет прямо пропорциональна частоте).

Процесс шовной конденсаторной сварки происходит следующим образом. При включении выключателя $ПВ_1$ оказывается под напряжением питающей сети пусковая кнопка, выключатель $ПВ_2$ и магнитный пускатель, а также трансформатор цепей управления $T_{цф}$, накальный трансформатор (на схеме не показан) и одна фаза трансформатора $TД$. Накальный трансформатор питает накалы тиратронов B_a и B_p , которые начинают разогреваться. В течение нескольких минут, необходимых для полного прогрева ламп, производится проверка работы электронного блока управления машины и двигателя * D , вращающего ролики, а также устанавливается между последними свариваемое изделие.

Правильность и четкость работы электронного блока проверяется по беспрерывному миганию стабилovolта Л7 с необходимой по технологическому режиму частотой, величина которой проверяется по миллиамперметру mA .

Проверка двигателя D производится нажатием (с последующим отпусканием) кнопки *пуск*, которая подает напряжение от питающей сети на катушку $МП$, что обуславливает включение контактов $МП_1$ и $МП_2$ магнитного пускателя. При этом через $МП_1$ получает

* В машинах ШКМ-1 установлены двигатели на рабочее напряжение 36 в (широко используемые в автосварочных установках), что, однако, не исключает возможности их замены двигателями на напряжение 220/380 в.

питание катушка $МП$, а через $МП_2$ — две фазы понижающего трансформатора $ТД$, и начинается вращение двигателя $Д$, который передает его через редуктор $Р$ на ролики машины. После необходимости проверки правильности вращения роликов двигатель останавливается (нажатием кнопки *стоп*), а между роликами машины устанавливается свариваемое изделие, которое сжимается в них с усилием, соответствующим режиму сварки.

По окончании разогрева ламп B_3 и B_p включается выключатель $ПВ_3$, который подает напряжение от одной из фаз питающей сети на анодный трансформатор $ТА$ (однако при этом последний током еще не обтекается, так как не соединен еще со второй фазой сети). Затем нажимается кнопка *пуск*, которая вновь включает магнитный пускатель и его контакты $МП_1$ и $МП_2$. Включение последних обеспечивает подачу питания как на двигатель $Д$, так и на трансформатор $ТА$. Тогда одновременно с вращением роликов и перемещением между ними изделия начинается четкая поочередная работа ламп B_3 и B_p , что приводит к образованию сварного шва из перекрывающихся друг друга сварных точек (каждая из которых получается при единичном разряде емкости C_p на трансформатор $ТС$).

После сварки изделия нажимается кнопка *стоп*, что вызывает остановку двигателя $Д$ и снятие питания с трансформатора $ТА$.

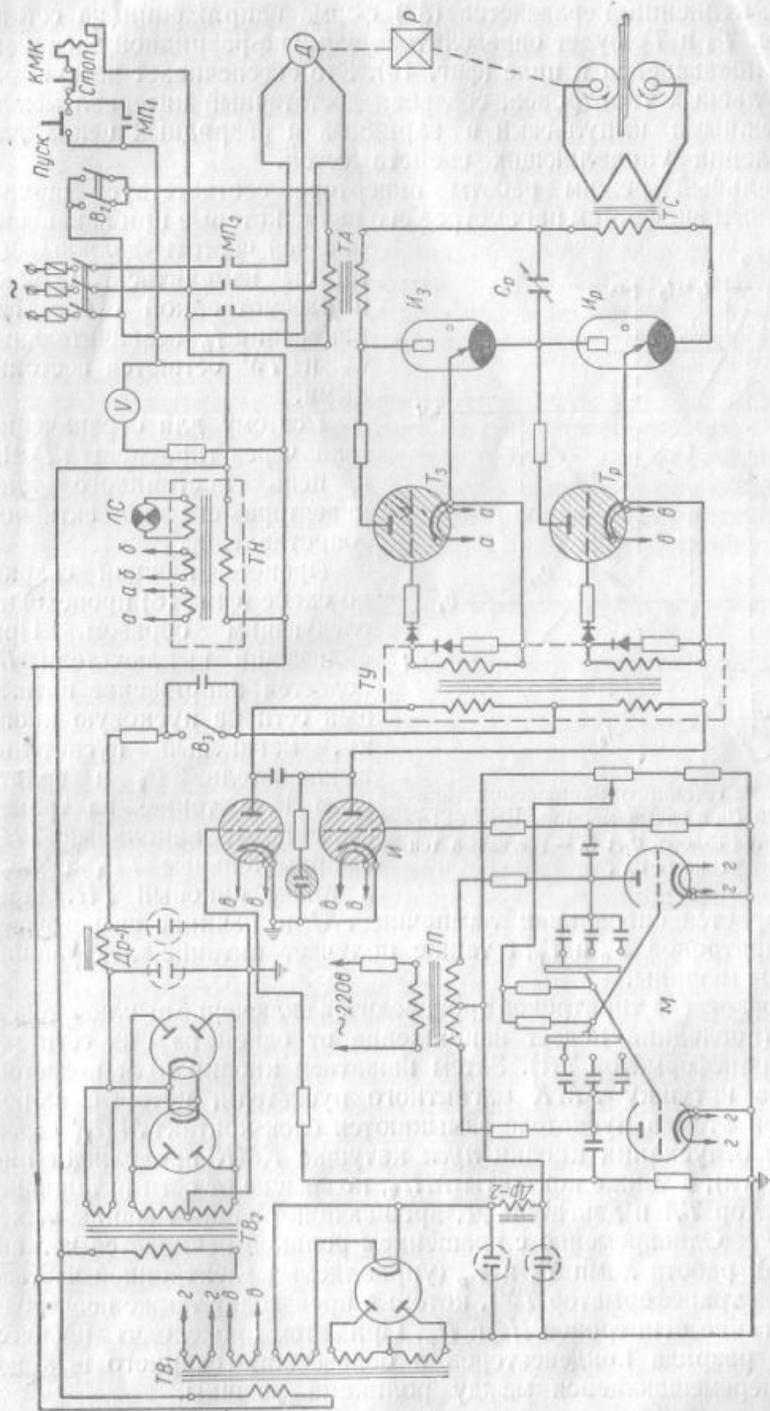
Сварка на заданном режиме второго и следующих изделий производится только коммутированием кнопками. При необходимости можно произвести изменение одного или нескольких из электрических режимов сварки (емкость конденсаторов, напряжение их зарядки, частота циклов «зарядка—разряд» конденсаторов и коэффициент трансформации сварочного трансформатора).

Описанная выше схема управления машины ШКМ-1 рассчитана на работу в сравнительно маломощных цепях. С ростом мощности шовных конденсаторных машин неизбежно возрастает и мощность импульсных вентилях B_3 и B_p . Кроме того, при этом повышаются требования к надежности работы схемы, и тогда схема (фиг. 16) не дает вполне надежного решения. Поэтому в схеме машины ШКМ-2 (фиг. 18) в качестве вентильных элементов используются игнитроны И-20/1500, а также имеется улучшенное электронное управление циклами «зарядка — разряд» конденсаторов.

В качестве задающего устройства применен мультивибратор с положительной сеткой, собранный на лампе 6Н8, который имеет три фиксированные частоты: 25, 12,5 и 6,25 гц, а также подстроечный элемент в виде регулируемого сопротивления в одном из плечей цепи связи.

В схеме машины ШКМ-2 функцию управляющего устройства выполняет параллельный инвертор с независимой коммутацией, собранный на тиратронах ТГ-213. Параметры инвертора выбираются таким образом, чтобы постоянная времени зарядки коммутирующей емкости удовлетворяла соотношению

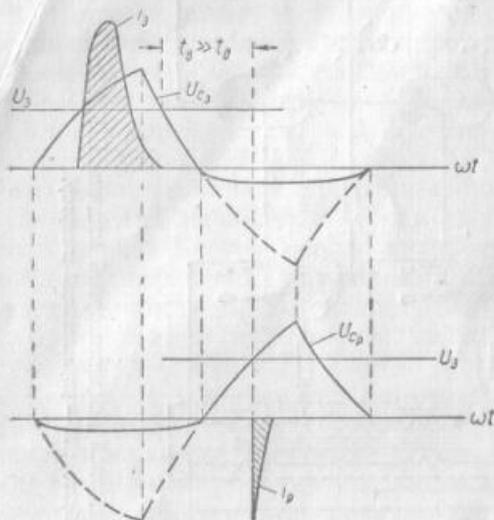
$$\tau_k = C_k R_k \leq \frac{1}{f_p \min} \quad (38)$$



Фиг. 18. Электрическая схема шовной конденсаторной машины ШКМ-2;
 И — зарядный мультивибратор; И — управляющий инвертор.

При выполнении неравенства (38) форма напряжения на сетках тиратронов T_3 и T_p будет определяться зарядно-разрядной экспонентой, приближающейся к пиле (фиг. 19). Это обеспечивает четкую работу импульсных тиратронов, создавая достаточный интервал между двумя смежными импульсами в зарядных и разрядных цепях для восстановления управляющих свойств сеток.

Оптимальный режим работы инвертора соответствует вполне определенным значениям параметров его цепи, которые при изменении



Фиг. 19. Форма сеточного напряжения тиратронов B_3 и B_p в схеме машины ШКМ-2: $i_з$ — зарядный ток емкости C_p ; i_p — разрядный ток емкости C_p .

этом загорается сигнальная лампочка $ЛС$ и начинается разогрев катодов тиратронов T_3 и T_p , а также получает питание электронная часть схемы машины.

После разогрева тиратронов производится включение выключателей B_3 и B_2 , (последний подает напряжение от одной из фаз сети на анодный трансформатор $ТА$). Затем нажатием кнопки *пуск* подается питание на катушку $КМК$ магнитного пускателя, который включается. При этом в пускателе замыкаются блок-контакт $МП_1$ (через него после отпускания кнопки *пуск* катушка $КМК$ продолжает питаться от сети), а также контакты $МП_2$, подающие от сети питание на трансформатор $ТА$ и двигатель $Д$, вращающий ролики машины через редуктор P . Одновременно с вращением роликов начинается четкая поочередная работа ламп T_3 и T_p (управляемых электронной частью схемы через трансформатор $TУ$), которые производят также поочередное поджигание игнитронов $И_3$ и $И_p$. При этом происходит процесс зарядки и разряда конденсаторов и образование сварного шва на изделии, перемещающемся между роликами машины.

рабочей частоты должны были бы изменяться. Однако в рассматриваемой схеме, где изменения f_p незначительны, C_k и $TУ$ остаются постоянными.

Поэтому для ограничения тока через тиратроны $TГ-213$ в цепь постоянного тока инвертора введено активное сопротивление.

Процесс шовной сварки по схеме (фиг. 18) происходит следующим образом. При включении выключателя B_1 подается напряжение питающей сети на пусковую кнопку, магнитный пускатель, выключатель B_2 и вольтметр V , а также на трансформаторы: накальный $TН$, выпрямительные $TВ_1$ и $TВ_2$, а также пиковый $TП$. При

По окончании сварки нажимается кнопка *стоп*, что приводит к остановке двигателя *Д* и снятию питания с трансформатора *Т.А.*

Конденсаторы и выпрямители

Выше указывалось, что для маломощных конденсаторных машин желательно в основном принимать напряжение зарядки конденсаторов порядка 500—600 в. При этом следует учитывать, что необходимость монтировать в маломощных машинах батареи конденсаторов общей емкостью в несколько сот микрофарад [34, 37, 40] указывает на вполне очевидную целесообразность использования стандартных и относительно недефицитных конденсаторов с возможно большей емкостью в одном корпусе.

Из выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью многих типов конденсаторов на рабочее напряжение 450—600 в и с наибольшей емкостью в одном корпусе [58] для маломощных конденсаторных машин могут быть рекомендованы следующие:

1) бумажные — типа КБГ-МН на рабочее напряжение 600 в, емкостью 4 и 6 мкф, а также типа МКВ на рабочее напряжение 500 в, емкостью 4 и 8 мкф;

2) металобумажные — типа МБГП-1 на рабочее напряжение 600 в, емкостью 4 и 10 мкф;

3) электролитические — типов КЭ-2 и КЭГ-2 на рабочее напряжение 450 в, емкостью 10 и 20 мкф.

Основные технические данные всех перечисленных типов конденсаторов приведены в табл. 1.

При выборе типа конденсаторов для проектируемой машины следует руководствоваться следующими положениями:

1) для стационарных машин, где габариты и вес батареи конденсаторов не имеют особого значения, выбранный тип конденсаторов должен быть максимально надежным в эксплуатации и иметь возможно меньшую стоимость;

2) для переносных машин, где весьма важно иметь минимальные габариты и вес батареи конденсаторов, выбранный тип конденсаторов должен иметь возможно меньшие размеры и вес, а также быть достаточно надежным в эксплуатации и дешевым;

3) во всех машинах напряжение зарядки конденсаторов не должно превышать рабочего напряжения выбранного типа конденсаторов.

Кроме того, для сравнительной оценки перечисленных в указанной выше таблице типов конденсаторов необходимо учитывать следующие основные показатели на 1 вт-сек аккумулируемой в них электрической энергии:

1) удельный объем ($см^3/вт-сек$);

2) удельный вес ($г/вт-сек$);

3) удельная стоимость ($руб/вт-сек$).

На основании перечисленных показателей, а также с учетом трех упомянутых ранее положений и должен производиться выбор типа конденсаторов при проектировании машин.

Таблица 1

Основные характеристики и удельные показатели низковольтных конденсаторов отечественного производства на рабочее напряжение 450—600 в и емкость 4—20 мкф в одном корпусе

Тип конденсатора	Рабочее напряжение постоянного тока, в	Номинальная емкость мкф	Аккумулятивная энергия, вт·сек	Конструкция и материал корпуса	Габаритные размеры (без выводов и крепления), мм			Эквивалентная емкость, см ²	Вес, г	Стоимость, руб.	Удельные показатели на 1 вт·сек аккумулятивной энергии		
					длина	ширина (диаметр)	высота				см ² /вт·сек	г/вт·сек	руб/вт·сек
А. Конденсаторы бумажные													
КБГ-МН-600-4,0 КБГ-МН-600-6,0	600	4	0,72	Нормальные, прямоугольные, герметизированные, металлические	6,9	3,9	11,0	296	390*	13,2	412	540*	18,2
	600	6	1,08			6,9	6,4	11,0	486	640	17,2	450	590
МКВ-500-4,0 МКВ-500-8,0	500	4	0,50	Малогобаритные, прямоугольные, герметизированные, металлические	12,5	5,0	4,7	294	480*	13,0	588	960*	26,0
	500	8	1,00			12,5	5,0	9,4	588	870	21,0	588	870
Б. Конденсаторы металлобумажные													
МБГП-1-600-4,0 МБГП-1-600-10	600	4	0,72	Малогобаритные, прямоугольные, герметизированные, металлические с диэлектриком из металлизированной бумаги	5,6	4,6	5,0	128	200*	14,4	178	278*	20,0
	600	10	1,80			4,7	6,9	11,5	374	534	27,3	208	295
В. Конденсаторы электролитические													
КЭ-2-450-10 КЭ-2-450-20	450	10	1,01	Цилиндрические, в алюминиевом корпусе	6,0	∅2,6	—	32	40*	2,9	32	40*	2,9
	450	20	2,02			6,5	∅3,4	—	59	70*	4,5	29	35*
КЭГ-2-450-10 КЭГ-2-450-20	450	10	1,01	Герметизированные, металлические, в прямоугольном (нормальном) корпусе	3,7	2,2	6,0	49	65*	7,2	49	65*	7,1
	450	20	2,02			4,9	2,9	6,0	86	95*	9,8	42*	47*

* Ориентировочные данные.

В стационарных точечных конденсаторных машинах ТКМ-4 и ТКМ-5 использованы конденсаторы типа КБГ-МН на рабочее напряжение 600 в и емкостью 6 мкф в одном корпусе, а для наиболее новой машины ТКМ-7 — конденсаторы типа МБГП-1. Основными показателями, обусловившими выбор этих типов конденсаторов, являются их небольшая стоимость, небольшой вес и занимаемый объем, а также достаточно высокая надежность в работе.

Практика эксплуатации машин типа ТКМ-4 показала, что смонтированные в них бумажные конденсаторы КБГ-МН работают безаварийно в течение ряда лет при напряжении зарядки конденсаторов 600 в. Есть все основания полагать, что и конденсаторы МБГП-1 на 600 в также могут быть рекомендованы как вполне надежные для широкого использования в стационарных маломощных конденсаторных машинах.

Необходимо также отметить, что автору представляется недостаточно оправданным использование в машине МТК-2 [56] конденсаторов типа ИМ 0,5-250 (рабочее напряжение 500 в и емкость 250 мкф). Эти конденсаторы изготавлиются пока небольшими партиями и поэтому являются остродефицитными, а главное имеют по сравнению с конденсаторами МБГП-1 и КБГ-МН (см. табл. 1) весьма высокие удельные показатели (порядка $550 \text{ см}^3/\text{вт-сек}$ и $830 \text{ г}/\text{вт-сек}$).

Использование для стационарных машин электролитических конденсаторов является допустимым, но все же не рекомендуется ввиду меньшей их надежности, незначительного срока службы по сравнению с бумажными конденсаторами и недопустимости эксплуатации при напряжении несколько большем, чем их рабочее, что иногда может иметь место при повышении сетевого напряжения.

В переносной точечной конденсаторной машине типа ПТКМ-1 монтируются электролитические конденсаторы типа КЭ-2 на рабочее напряжение 450 в, емкостью 20 мкф в одном корпусе, которые имеют минимальные удельные показатели.

Применение в переносных конденсаторных машинах бумажных и металло-бумажных конденсаторов не может быть рекомендовано ввиду их значительного удельного объема и веса, а также довольно высокой стоимости. Несколько пониженная надежность электролитических конденсаторов в эксплуатации и меньший срок их службы в значительной мере компенсируется возможностью конструирования малогабаритных и дешевых машин небольшого веса.

Выпрямитель точечной конденсаторной машины малой мощности должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) иметь достаточно высокую надежность в эксплуатации;
- 2) быть относительно недефицитным;
- 3) обеспечивать зарядку максимальной емкости конденсаторов до номинального напряжения при максимальной производительности машины;
- 4) иметь незначительные габариты и небольшую стоимость.

С учетом перечисленных выше требований в маломощных конденсаторных машинах в качестве выпрямителей могут быть применены:

малогабаритные кенотроны, селеновые выпрямители, тиратроны (нормальные или импульсные) и др.

В серийной точечной машине ТКМ-4 для зарядки конденсаторов используются два кенотрона ВО-188 (см. фиг. 11), включенные по двухполупериодной схеме. Такая же схема выпрямления принята и в переносной машине ПТКМ-1 [39, 40].

В точечных машинах ТКМ-5 и ТКМ-6 (см. фиг. 12), в разрядных цепях которых имеются импульсные тиратроны ТГИ1-400/3,5 для зарядки конденсаторов используются точно такие же тиратроны.

В наиболее новой машине ТКМ-7 (см. фиг. 13), а также в машинах МТК-2 (см. фиг. 14) и МВТУ [19] для зарядки конденсаторов используются селеновые выпрямители, которые в настоящее время не являются остродефицитными, а поэтому сравнительно легко могут быть приобретены для ремонта конденсаторных машин.

Из схем (фиг. 16 и 18), а также из принципа работы маломощных шовных конденсаторных машин можно заключить, что в таких машинах для зарядки конденсаторов должны применяться управляемые вентили (тиратроны и игнитроны).

Сварочные и вспомогательные трансформаторы

Сварочные трансформаторы. Как и в однофазных контактных машинах [2, 10], сварочные трансформаторы маломощных конденсаторных машин служат для получения в сварочной цепи значительных токов при низком напряжении. Кроме того, они позволяют создавать технологически необходимые формы кривой сварочного тока что обычно достигается ступенчатой регулировкой их коэффициента трансформации [37, 40]. Однако, в отличие от однофазных машин, сварочный трансформатор в конденсаторных машинах не только не включается в электрическую сеть промышленной частоты, а обязательно должен быть отключен от нее, и его первичная обмотка при сварке может обтекаться только разрядным током конденсаторов. Нарушение этого условия приводит к наложению сетевого тока, увеличению $A_{к1}$ и прожогу деталей.

Технически правильный и практически точный расчет сварочного трансформатора конденсаторных машин может быть произведен на основании работ [3, 6, 10, 16]. Ниже даны лишь некоторые основные сведения об этом расчете и описана наиболее характерная конструкция сварочного трансформатора маломощных конденсаторных машин.

Расчет сварочного трансформатора следует производить для заданных или рассчитанных значений U_c и C_p , которые могут быть получены после определения $A_{к1}$ по формуле (21). Кроме того, следует задаться значениями U_{2max} и U_{2min} — максимального и минимального напряжений вторичной обмотки сварочного трансформатора. Ориентировочно для стационарных точечных машин малой мощности значения U_{2max} и U_{2min} следует соответственно принимать в пределах 8—10 в и 4—5 в, а для переносных машин с выносными сварочными клещами (с дли-

ной гибкого провода до 0,8—1 м) 18—22 в и 12—14 в. Если заданы $U_{2\max}$ и $U_{2\min}$, то легко определить $\omega_{1\min}$ и $\omega_{1\max}$ — минимальное и максимальное число витков первичной обмотки сварочного трансформатора.

$$\omega_{1\min} = \frac{U_c}{U_{2\max}} \quad (39)$$

$$\omega_{1\max} = \frac{U_c}{U_{2\min}} \quad (40)$$

После нахождения токов и магнитных потоков по работам [3, 6, 10, 16] основной задачей является определение габаритов сердечника трансформатора и длительного тока в его обмотках [6]. Дальнейший расчет сварочного трансформатора производится обычным для контактных машин путем [2, 10].

Необходимо отметить, что нередко случаи, когда определение сопротивлений, а также других величин, требуемых для расчета сварочного трансформатора, по работам [3, 6, 10, 16] оказывается затруднительным. Тогда для грубых ориентировочных расчетов сечения железного сердечника сварочного трансформатора маломощных конденсаторных машин может быть рекомендована следующая упрощенная эмпирическая формула автора

$$F_{ж} \approx \frac{C_{p\max}}{8} \left(\frac{U_{c\max}}{600} \cdot \frac{15000}{B_{\max}} \right) \approx 3,12 \frac{C_{p\max} U_{c\max}}{B_{\max}}, \quad (41)$$

где $F_{ж}$ — сечение железного сердечника в $см^2$;

$C_{p\max}$ — максимальная емкость конденсаторов машины в $мкф$;

$U_{c\max}$ — максимальное напряжение зарядки конденсаторов в в;

B_{\max} — максимальная индукция железа сварочного трансформатора в $гс$.

Следует учитывать, что формула (41) дает наиболее точные значения $F_{ж}$ при таких параметрах маломощных конденсаторных машин: $C_{p\max} \leq 600—800$ $мкф$; $U_{c\max} \leq 600$ в; $\omega_1 \leq 200—250$; $\omega_2 = 1$; полезном вылете электродов до 60—120 мм.

Сварочный трансформатор маломощной конденсаторной машины состоит из сердечника (магнитопровода), первичной и вторичной обмоток. Наиболее целесообразной конструкцией является броневой тип сварочного трансформатора, который экономичен по весу [10].

Сварочный трансформатор должен иметь коэффициент связи k_c между его первичной и вторичной обмотками [3], возможно более близкий к единице.

$$k_c = \sqrt{\frac{L_{1_2} L_{2_1}}{(L_{1_2} + L_{1_1})(L_{2_1} + L_{2_2})}} \quad (42)$$

где L_{1_2} — часть индуктивности первичной обмотки, поток которой полностью связан с индуктивностью L_{2_1} вторичной обмотки;

L_{2_1} — часть индуктивности вторичной обмотки, поток которой полностью связан с индуктивностью L_{1_2} первичной обмотки;

L_{1s} — индуктивность рассеяния первичной обмотки;

L_{2s} — индуктивность рассеяния вторичной обмотки.

Формула (42) показывает, что значение k_c тем ближе к единице, чем меньше индуктивности рассеяния L_{1s} и L_{2s} . Теоретически, для идеального трансформатора, эти индуктивности равны нулю и тогда $k_c = 1$.

Сварочные трансформаторы маломощных конденсаторных машин следует изготовлять с минимальными индуктивностями рассеяния. Достаточно рациональна принятая в машинах типов ТКМ и ШКМ конструкция сварочных трансформаторов, имеющих: 1) сердечник броневого типа; 2) вторичный виток из жестких элементов большого сечения; 3) первичную обмотку из отдельных дисковых катушек, которые укладываются в зазоры между элементами вторичного витка (число дисковых катушек должно быть на единицу меньше числа элементов вторичного витка).

Магнитопровод такого сварочного трансформатора изготовляется из штампованных листов трансформаторной или динамной стали толщиной 0,35—0,5 мм. Для взаимной изоляции листы достаточно покрывать с одной или обеих сторон лаком. Сборка магнитопровода производится из отдельных листов внахлестку. Для уменьшения сопротивления магнитной цепи зазоры в стыках между листами должны быть порядка 0,1—0,15 мм. Количество стыков в магнитопроводе обычно не более 2—3.

В сварочных трансформаторах конденсаторных машин применяется один вторичный виток, который обычно выполняется жестким. Концы витка соединяют с подвижными токоведущими частями конденсаторной машины при помощи специальных гибких шин (из медной фольги или мягкого многожильного провода). Элементы вторичного витка вырезают из медных листов, а затем спаивают между собой латунью. Вторичный виток может быть отлит из высокоэлектропроводного медного сплава [10].

В переносных конденсаторных машинах, где требуется высокое значение вторичного напряжения, необходимо делать не менее двух витков вторичной обмотки.

Первичная обмотка сварочного трансформатора выполняется из медного провода круглого сечения. При этом наиболее рационально применять дисковую обмотку, которая облегчает ее ремонт при повреждениях и позволяет делать замену отдельных катушек без общей перемотки трансформатора [10].

Катушки первичной обмотки наматывают из витков медного провода марки ПБД, укладываемых в несколько слоев. Готовые катушки изолируют намоткой хлопчатобумажной ленты, после чего пропитывают изоляционным лаком и просушивают в печи при температуре 100—105° С. Изоляция катушек первичной обмотки от вторичного витка и от сердечника трансформатора производится прессшпаном, гетинаксом, текстолитом и фиброй.

После укладки обмоток и сборки сварочного трансформатора некоторая часть катушек первичной обмотки соединяется между собой

последовательно, а концы остальных выводятся на панель трансформатора, что дает возможность регулирования коэффициента трансформации.

Обычно сварочные трансформаторы маломощных точечных и шовных конденсаторных машин не требуют специального охлаждения и вполне удовлетворительно работают при естественном воздушном охлаждении (при температуре воздуха до $+35 \div +40^\circ\text{C}$).

Вспомогательные трансформаторы. К вспомогательным трансформаторам маломощных точечных и шовных конденсаторных машин относятся (см. фиг. 11—14, 16 и 18): выпрямительные, анодные, накатальные, сеточные, цепей управления и др.

Мощность и другие параметры каждого из этих трансформаторов зависят от назначения конденсаторной машины (точечная, шовная, стыковая), накопленной энергии в конденсаторах и напряжения их зарядки, типа выпрямителя (селеновый, ламповый и др.), производительности машины, толщины свариваемых на ней металлов и т. д.

Выключатели в разрядной цепи конденсаторов

Выключатели сварочного тока в сочетании с механизмами сжатия электродов являются основными узлами контактных машин [2, 10, 23]. В точечных и шовных конденсаторных машинах во всех случаях включение сварочного тока должно производиться после приложения к электродам полного усилия сжатия, а отключение тока — до снятия этого усилия.

Заданный цикл сжатия и коммутирования сварочного тока в маломощных точечных конденсаторных машинах часто достигается соответствующим устройством механизмов сжатия и сблокированными с ними кнопками, включающими катушки контакторов и магнитных пускателей (см. фиг. 11) или управляющими отпиранием тиратронов и игнитронов (см. фиг. 12), установленных в разрядной цепи конденсаторов. Кроме того, надежное коммутирование разрядного тока конденсаторов осуществляется установкой механических переключателей (см. фиг. 13 и 14), также сблокированных с механизмами сжатия.

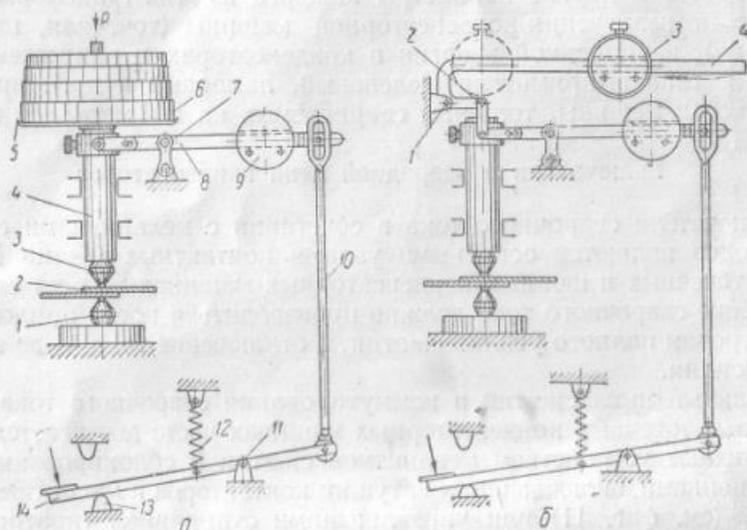
Отличительной особенностью некоторых выключателей в разрядной цепи конденсаторов является то, что они также служат выключателями в зарядной цепи конденсаторов (см. фиг. 11, 13 и 14). При этом коммутирование зарядного и разрядного токов конденсаторов производится поочередно: за счет подтягивания якоря магнитного пускателя (см. фиг. 11) или благодаря переключению подвижной системы механического переключателя (см. фиг. 13 и 14).

Коммутирование разрядного тока конденсаторов с помощью магнитных пускателей с серебряными контактами и механических переключателей с вольфрамовыми или вольфрамово-медными контактами является наиболее простым способом, однако требуется тщательный уход за контактами (особенно серебряными), что затрудняет их эксплуатацию при очень большой производительности и значительных токах. Поэтому более приемлемо использование в разрядной цепи

конденсаторов импульсных тиратронов и игнитронов. При этом следует учитывать, что во время разряда конденсаторов, благодаря вентильному действию тиратронов и игнитронов, срезаются обратные полу-волны тока.

Механизмы сжатия

Исследования и опыт внедрения конденсаторной сварки различных металлов и сплавов малых толщин показывают, что постоянство приложенного к электродам усилия является одним из решающих факторов, гарантирующих стабильность сварочного процесса,



Фиг. 20. Кинематические схемы педально-грузовых механизмов сжатия точечных конденсаторных машин типов:
а — ТКМ-2; б — ТКМ-3; ТКМ-4 и ТКМ-7.

Механизмы точечных конденсаторных машин. В первой из промышленных маломощных точечных машин ТКМ-2 для создания небольших постоянных усилий (от 0,5 до 15 кг) был применен простейший механизм сжатия, кинематическая схема которого приведена на фиг. 20, а [35, 40].

При нажатии ногой на педаль 14 она поворачивается на оси 11 до упора в кулачок 13 и натягивает пружину 12. Штанга 10 принимает положение, при котором рычаг 8, перемещающийся в продолговатой проушине (в верхнем конце штанги), освобождается от связи с педалью. Поворачиваясь вокруг оси 7, рычаг 8 опускает шток 4 с грузами 6, уложенными на тарелке 5. Происходит сжатие свариваемых деталей 2 между подвижным электродом 3 и неподвижным 1.

Вес подвижной системы механизма сжатия при снятых грузах 6 можно уравновесить противовесом 9. Тогда усилие на электродах

будет определяться только весом грузов, накладываемых на тарел. 5. Грузы 6 изготовляют разного веса и в количестве, необходимом по условиям работы машины.

После сварки деталей 2 освобождают педаль 14; при этом пружина 12 возвращает систему рычагов в исходное положение. Сварка новой точки происходит в таком же порядке.

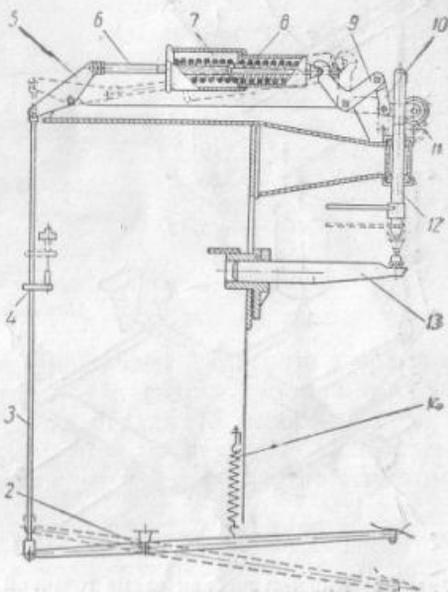
При разработке новых конденсаторных машин описанный выше механизм сжатия был модернизирован, что позволило значительно снизить его вес.

Кинематическая схема механизмов сжатия машин ТКМ-3, ТКМ-4 и ТКМ-7 приведена на фиг. 20,б. Основное отличие этой схемы от фиг. 20,а состоит в том, что вместо тарелки и большого числа съемных грузов имеются рычаг 4, поворачивающийся на осях 1 и 2, а также сменный груз 3, который можно перемещать и фиксировать в необходимом положении на этом рычаге. Работа механизма сжатия по схеме (фиг. 20,б) в основном аналогична работе механизма сжатия машины ТКМ-2.

Высокую стабильность процесса сварки обеспечивает рычажно-грузовой механизм сжатия машины К-4 системы МВТУ [19], весьма сходный с механизмами машин ТКМ-3, ТКМ-4 и ТКМ-7.

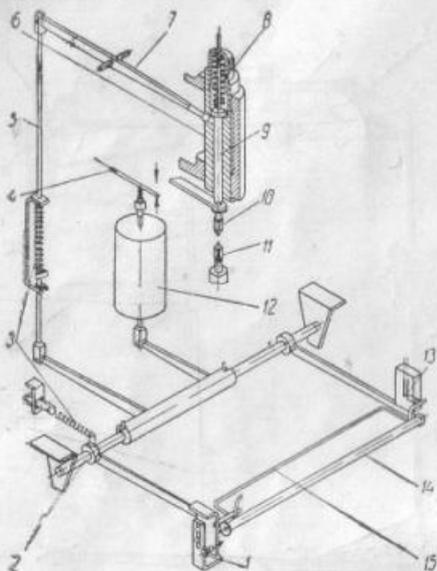
Рассмотренные механизмы сжатия обеспечивают точное и простое регулирование усилия сжатия, что при сварке плоских деталей гарантирует высокую стабильность процесса. Однако из-за малой инерционности таких механизмов они не рекомендуются для сварки крестообразных соединений из одножильных проводов, которые в процессе сплавления осаживаются и поэтому требуют механизмов с большой инерцией. Кроме того, рычажно-грузовые механизмы оказываются громоздкими и неудобными в эксплуатации при усилиях сжатия порядка 50 кг и выше, когда необходимо иметь большое число сменных гирь и увеличивается вес конденсаторной машины. Наконец, такие механизмы оказываются конструктивно непригодными в ручных сварочных клещах.

Поэтому в некоторых маломощных точечных конденсаторных машинах применяются другие типы механизмов сжатия (в основном пружинные и реже — электромагнитные).



Фиг. 21. Кинематическая схема педально-пружинного механизма сжатия точечной конденсаторной машины ТКМ-6.

Кинематическая схема педально-пружинного механизма сжатия точечной конденсаторной машины ТКМ-6* показана на фиг. 21. При нажатии ноги сварщика на педаль 1 последняя поворачивается вокруг оси 2, что вызывает подъем тяги 3 с укрепленным на ней толкателем 4, который производит включение и отключение контактов НРК и НЗК кнопки управления электрической схемы машины (см. фиг. 12). Тяга поворачивает двуплечий рычаг 5, приводящий в поступательное движение шток 6. Последний с помощью резьбы жестко связан с цилиндрической гайкой 7, закручивание или откручивание которой сжимает (или ослабляет) пружину в цилиндре 8, имеющем шарнирный зуб. Усилие сжатой в цилиндре 8 пружины передается на его шарнирный зуб, а от последнего через ломанный рычаг 9 и серьгу 10 — к верхнему электрододержателю 12. Нижний электрододержатель 13 крепится жестко. Тогда при нажатой педали 1 помещенные между верхним и нижним электродом свариваемые детали зажимаются усилием, соответствующим степени сжатия пружины в цилиндре 8. При освобождении педали пружина 14 приводит систему в исходное положение. Установка необходимого зазора между электродами осуществляется перемещением верхнего электрододержателя 12 при ослабленном зажимном хомуте 11.



Фиг. 22. Кинематическая схема точечной конденсаторной машины МТК-2.

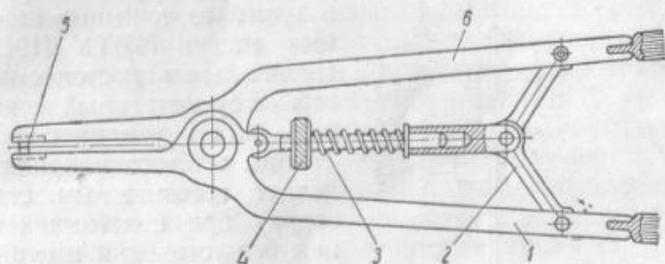
Точечная конденсаторная машина МТК-2 имеет педальный и электромагнитный приводы верхнего электрода [24, 25, 56], однако в обоих режимах ее работы усилие на электродах 10 и 11 (фиг. 22) определяется натяжением пружины 8.

При неавтоматической работе машины МТК-2 может быть включен как педальный, так и электромагнитный привод. В первом случае сварка каждой точки производится единичным нажатием на педаль 14 до упора. Тогда поворачивается вал педали 2 и поднимается тяга 5, которая преодолевает силы сжатия возвратных пружин 3 и опускает вниз правую часть коромысла 7 с ползуном 6. При этом шток 9 благодаря сжатой пружине 8 опускает вниз электрод 10. Одновременно с подъемом тяги 5 происходит перемещение вверх якоря электромагнита 12 и переключение контактной системы путевого переключателя 11.

* Конструкция механизма разработана автором совместно с инж. С. И. Семергеевым.

теля 4 с зарядки на разряд конденсаторов (см. фиг. 14), что и обуславливает сварку в одной точке деталей, зажатых между электродами 10 и 11. После сварки первой точкой освобождают педаль 14, и пружины 3 возвращают систему рычагов механизма в исходное положение. Сварка новой точки происходит в таком же порядке.

При неавтоматической работе машины МТК-2 с электромагнитным приводом верхнего электрода 10 между последним и электродом 11 устанавливается зазор до 5 мм. Затем нажимается рамка педали 15, которая с помощью микропереключателя 13 включает электромагнит 12. Последний срабатывает, поворачивает вал педали 2 и всю связанную с ним систему рычагов, что вызывает сжатие деталей между



Фиг. 23. Ручные сварочные клещи переносной точечной конденсаторной машины ПТКМ-1.

электродами. При этом перемещение якоря электромагнита вверх приводит к срабатыванию переключателя 4 и сварке деталей в одной точке. После сварки этой точки рамка педали 15 освобождается, и пружины 3 возвращают систему рычагов в исходное положение. Сварка новых точек производится каждый раз единичным нажатием на рамку педали 15.

При автоматической работе машины МТК-2 педаль 14 фиксируется болтом 1 в положении, при котором ход верхнего электрода 10 равен 5 мм. Тогда удерживание рамки 15 в нажатом положении обуславливает периодическое включение электромагнита 12 и сварку деталей с заданным темпом (см. описание схемы, фиг. 14).

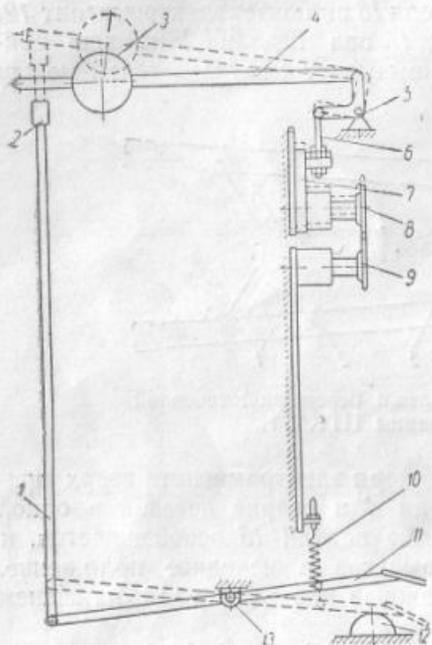
Ручные сварочные клещи * переносной точечной конденсаторной машины ПТКМ-1 (фиг. 23) с рычажно-пружинным механизмом сжатия обеспечивают достаточную стабильность усилия сжатия свариваемых деталей, а также маневренность при сварке в труднодоступных местах.

Токопроводящие рукоятки 1 и 6, изолированные одна от другой, изготавливаются из высокоэлектропроводных материалов (медь, латунь и др.). Рычажный механизм 2 с пружиной 3 при определенном для данного режима сварки положении регулировочной гайки 4 обеспечивает практически постоянное усилие сжатия свариваемых деталей между электродами 5. Эти электроды изготавливаются в виде

* Конструкция клещей разработана автором совместно с инж. И. З. Хоменко.

вставок (см. фиг. 34), плотно запрессованных в рабочие концы клещей. Рукоятки 1 и 6 изолируются установкой изоляционных втулок и прокладок. Токоподвод от сварочного трансформатора осуществляется проводами, припаянными к концам обоих рукояток.

При работе с клещами сварщик не утомляется, так как ему приходится только сжимать их небольшим усилием для того, чтобы освободить или заложить свариваемые детали и фиксировать точное положение концов электродов 5 при сварке новой точки.



Фиг. 24. Кинематическая схема рычажно-грузового механизма сжатия шовных конденсаторных машин ШКМ.

шовных конденсаторных машин ШКМ-1 и ШКМ-2 использован механизм сжатия (фиг. 24), во многом сходный с механизмом (фиг. 20, б), но имеющий некоторые отличия.

Нормально педаль 11 под действием возвратной пружины 10 находится в верхнем положении. При этом связанная с педалью тяга 1 с вилкой 2 не имеют механической связи с остальной частью кинематической схемы машины, и подвижный верхний ролик 8 прижимается к неподвижному ролику 9. Тогда усилие сжатия на них определяется положением сменной гири 3 на рычаге 4 и передается к верхнему ролику через ось 5, болт 6 и подвижную плиту 7.

При нажатии до упора 12 педаль 11 поворачивается в оси 13 и поднимает тягу 1. Последняя упирается вилкой 2 в конец рычага 4 и перемещает вверх ролик 8. Тогда в образовавшийся зазор между этим и нижним роликом 9 укладываются свариваемые детали. После

Электромагнитный механизм сжатия электродов, примененный в одной из точечных конденсаторных машин МВТУ [19], при его значительных достоинствах имеет весьма существенный недостаток — зависимость усилия сжатия от величины сетевого напряжения. Это делает невозможным стабильную сварку при колебаниях напряжения без установки в цепи питания электромагнита (или всей конденсаторной машины) стабилизатора напряжения. Кроме того, использование электромагнитных механизмов сжатия оказывается нецелесообразным для сварки однотипных соединений на одной силе нажатия, так как в этих случаях такой механизм усложняет конструкцию машины и несколько ограничивает производительность труда.

Механизмы шовных конденсаторных машин.

В конструкциях

этого педаль 11 освобождается, пружина 10 возвращает систему рычагов в исходное положение, и свариваемые детали оказываются зажатыми между роликами машины. Затем включаются не показанный на схеме механизм вращения обоих роликов и сварочный ток. Сваренные детали освобождаются нажатием педали 11, а сварка новых деталей производится в описанном выше порядке.

Конструкции маломощных конденсаторных машин

Известно, что в контактных машинах требуется хорошая увязка конструкции всех ее механизмов с электрической частью [2, 10, 23].

Маломощную конденсаторную машину следует рассматривать как комплекс, состоящий из батареи конденсаторов, выпрямительного устройства, а также сварочного и вспомогательных трансформаторов со станком, на котором выполняется определенная механическая работа. При указанном монтаже основных узлов маломощной конденсаторной машины ее габариты, вес и стоимость получаются минимальными. Поэтому не может быть рекомендовано выделение батареи конденсаторов и выпрямительного устройства в отдельный блок, как это имеет место в мощных конденсаторных машинах [2, 23, 46].

В основу компоновки всех основных узлов стационарных неавтоматических маломощных конденсаторных машин универсального назначения могут быть в основном приняты следующие главные положения:

1) неизменное усилие сжатия электродов на протяжении всего сварочного цикла ввиду достаточной его рациональности для металлов малых толщин;

2) удобное и легкое управление механизмом сжатия электродов и включением сварочного тока — для облегчения работы сварщика и исключения возможности брака по этим причинам;

3) максимальное сближение электродов со сварочным трансформатором при минимально возможных размерах вторичного контура — для повышения к. п. д. машин;

4) нормальное положение сварщика при работе — сидячее, так как от него требуется визуальное наблюдение за процессом сварки с близкого расстояния ввиду необходимости точной фиксации точек или шва на мелких и узких изделиях;

5) обеспечение полной безопасности работы сварщика на машинах

Точечные машины. Технические характеристики основных типов маломощных точечных конденсаторных машин приведены в табл. 2.

Конденсаторные машины типов ТКМ и ПТКМ-1 предназначены для точечной сварки взамен пайки мягкими и твердыми припоями, а также механических способов соединения изделий из различных металлов и сплавов толщиной от 0,02 до 0,8 мм. Лабораторные исследования и широкий опыт внедрения показали, что точечная конденсаторная сварка обеспечивает качественные неразъемные соединения из многих марок цветных и черных металлов малых толщин (см. табл. 6). Кроме того, в ряде случаев возможна приварка мелких

Технические характеристики малоомощных точечных конденсаторных машин

Таблица 2

Показатели	Типы машин							Переносные	
	ТКМ-4	ТКМ-5	ТКМ-6	ТКМ-7	МТК-2	ПТКМ-1	МТК-0,1*	ПТКМ-1	МТК-0,1*
Напряжение питающей сети переменного тока 50 гц, в	220	220; 380	220; 380	220	220; 380	127/220	220	127/220	220
Максимальная потребляемая мощность (средняя), вт	100	400	650	200	650	—	—	100	—
Максимальный зарядный ток, а	—	—	—	—	—	4	0,8	—	0,8
Емкость конденсаторов, мкФ	400	1000	800	800	800	500	240	500	240
Напряжение зарядки конденсаторов, в	600	600	1000	600	1000	450	200/400	450	200/400
Максимальная накопленная энергия, вт-сек	72	180	400	144	400	50,6	19,2	50,6	19,2
Число ступеней регулирования сварочного трансформатора	4	4	4	4	4	5	4	5	4
Тип выпрямителя	ВО-188	ТТИ-400/3,5	Неавтоматический	ВС-45	и АВС-45	ВО-188	—	ВО-188	—
Характер действия машины	Неавтоматический							Неавтоматический	
Привод механизма сжатия	Педальный							Ручной	
Полезный вылет, мм	65	100	250	150	80	65	—	65	—
Рабочий ход электродов, мм	6	12	25	15	5	—	—	—	—
Пределы регулирования усилия на электродах, кг	0,5—25,0	4—50	6—80	1—56	2—15	3—12	1,5—2,5	3—12	1,5—2,5
Способ включения	Магнитный контактор	Импульсный тиристор	Педальный Игнитрон	Механический переключатель	Магнитный Игнитрон	Ножная педаль контактор	Магнитный Игнитрон	Ножная педаль контактор	Магнитный Игнитрон
Тип включателя	Педальный							Ручной	
Максимальная толщина свариваемых цветных и черных металлов, мм	0,5+0,5	0,7+0,7**	0,8+0,8**	0,7+0,7**	0,3+0,3	0,3+0,3	0,15+0,15	0,3+0,3	0,15+0,15
То же, минимальная, мм	0,02+0,02	0,05+0,05	0,05+0,05	0,02+0,02	0,1+0,1	0,02+0,02	0,02+0,02	0,02+0,02	0,02+0,02
Производительность, свар/мин	до 20	до 18	до 18	до 20	до 20	до 10	до 10	до 10	до 10
Габариты, мм:	1245	1315	1335	1260	1095	410	280	410	280
высота	800	850	580	800	650	470	255	470	255
ширина	625	810	1010	685	572	290	240	290	240
глубина	165	320	365	170	150	34	17	34	17
Вес, кг									

* Более подробные данные о машине МТК-0,1 не опубликованы.

** Для машин типов ТКМ-5, ТКМ-6 и ТКМ-7 максимальная толщина свариваемого металла показана для нержавеющей стали типа 18-8.

штифтов, болтов, контактов, шариков и т. д., а также деталей толщиной 0,02—0,45 мм к деталям практически любой толщины (по лабораторным исследованиям — до 35 мм).

Все конструкции машин типа ТКМ являются стационарными неавтоматическими универсального назначения и могут быть использованы как в производственных, так и в лабораторных условиях.

Основными преимуществами машин типа ТКМ, кроме их универсальности, являются очень большой диапазон свариваемых марок металлов многих толщин, а также простота их устройства и эксплуатации. Наконец, важно отметить, что во многих случаях машины типа ТКМ могут быть с успехом применены взамен однофазных контактных машин; они дают более высокое и стабильное качество сварки, а также очень большую экономию электроэнергии.

Машины МТК-2 и МТК-0,1 предназначены для точечной конденсаторной сварки деталей из цветных и черных металлов и их сплавов толщиной от 0,1 до 0,3 мм (МТК-2) и от 0,02 до 0,15 мм (МТК-01). Кроме того, на машине МТК-2 можно сваривать [25] крестообразные пересечения из проволок диаметрами от 0,6 до 1 мм. Поэтому они могут быть использованы в радиотехнических производствах, где в основном применяются детали из указанных выше толщин и диаметров цветных и черных металлов.

Машины МВТУ* предназначены [19] для сварки особо тонких деталей электровакуумных изделий, контрольно-измерительных приборов высокой точности и радиомонтажных схем.

Конструктивно серийная точечная конденсаторная машина ТКМ-4 (фиг. 25) оформлена в виде сварного металлического шкафа с небольшим рабочим столиком. Внутри шкафа на полках смонтированы блоки конденсаторов, выпрямительные трансформатор и лампы, разрядное и зарядное сопротивление, магнитный пускатель, кнопка пускателя, сварочный трансформатор и добавочное сопротивление к вольтметру. Кроме того, внутри шкафа проходит тяга, соединяющая механизм сжатия с педальным механизмом.

На верхней передней стенке шкафа (над рабочим столиком) машины ТКМ-4 установлены: механизм сжатия, сигнальная лампа, вольтметр, штепсельный переключатель, выключатели питания машины и вольтметра, а также переключатель выпрямительного трансформатора, который в зависимости от напряжения сети может устанавливаться в одном из таких положений: 190, 200, 210 и 220 в.

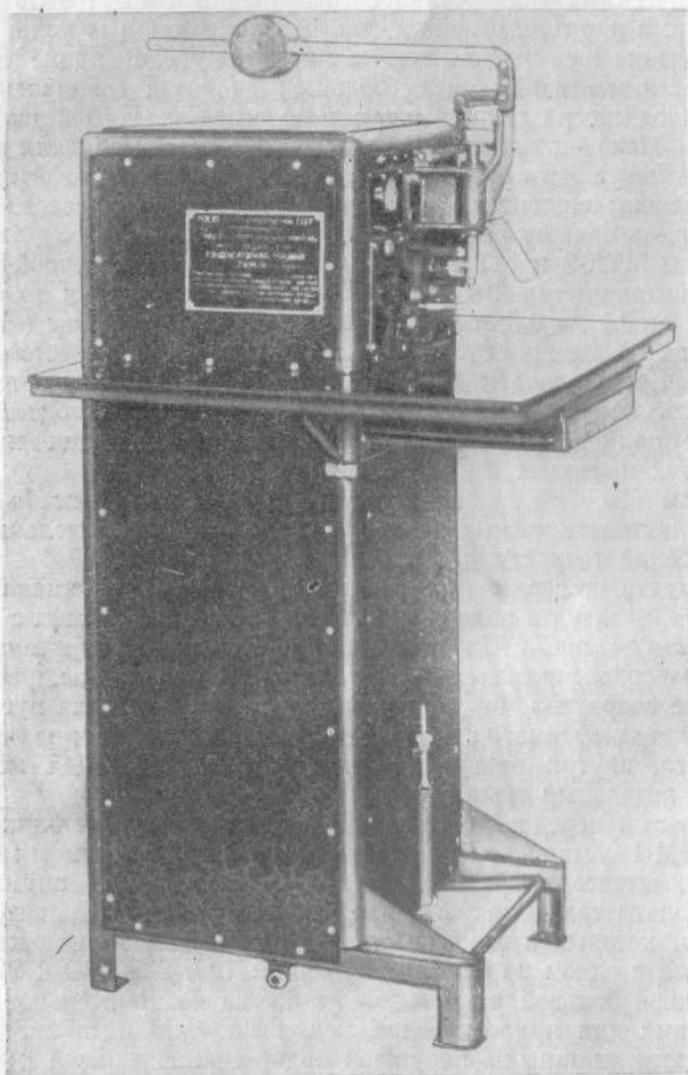
В верхней боковой части машины помещено штепсельное гнездо с контактами для присоединения машины к сети питания. Внутри этой же части машины за наружной подъемной задвижкой находятся предохранители. Задвижка предусмотрена как блокировка, которая делает невозможными проверку и замену предохранителей до того, как будет вынута из гнезда штепсельное устройство, чем обеспечивается отключение машины от сети**.

* Технические данные этих машин не опубликованы.

** Такая же блокировка применена в описанных ниже точечных машинах ТКМ-6 и ТКМ-7.

Под рабочим столиком находится выдвижной ящик для хранения мелкого инструмента и запасных электродов.

В механизме сжатия имеется рычаг с передвижными грузами для регулирования усилия сжатия. Рычаг соединен с цапфами хомутика,



Фиг. 25. Точечная конденсаторная машина ТКМ-4.

укрепленного на штоке, к наконечнику которого при помощи гибкой медной шины подключается один из концов вторичной обмотки сварочного трансформатора. В конусное гнездо наконечника вставляются сменные верхние электроды.

Для защиты глаз сварщика от возможных мелких выплесков металла в машине имеется защитный щиток из плексигласа, укрепленный на механизме сжатия электродов.

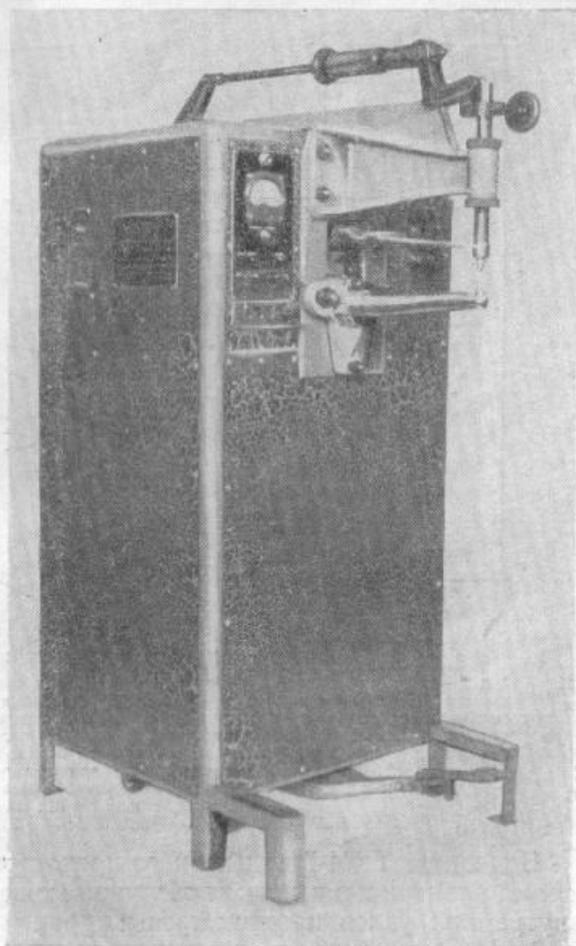
Точечные конденсаторные машины ТКМ-5 и ТКМ-6 (фиг. 26) имеют педально-пружинные механизмы сжатия и отличаются от машины ТКМ-4 большими габаритами и мощностями, а также электрическими схемами.

Конструктивно серийная конденсаторная машина ТКМ-7 (фиг. 27) не только внешне сходна с машиной ТКМ-4, но и изготовлена на базе ее каркаса, что осуществлено благодаря использованию в машине ТКМ-7 малогабаритных металло-бумажных конденсаторов. Поэтому при вдвое большей накопленной энергии в конденсаторах (см. табл. 2) машина ТКМ-7 получилась примерно таких же габаритов и веса, как машина ТКМ-4, и имеет следующие основные преимущества: 1) больший диапазон толщин свариваемого металла; 2) увеличенный полезный вылет и 3) улучшенную электрическую схему.

В машине ТКМ-7 увеличен до 250 мм полезный вылет и до 15 мм — рабочий ход верхнего электрода, а также имеются следующие основные конструктивные улучшения.

1. Легко снимается вместе с ящиком средняя часть рабочего столика, что позволяет сваривать на машине довольно крупные детали.

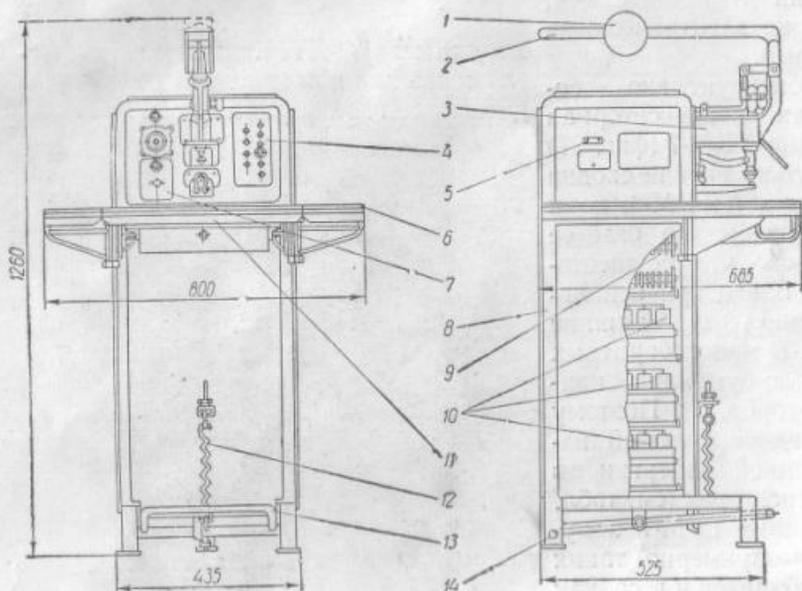
2. Могут быть быстро сняты обе (или одна) откидные полки рабочего столика машины, что дает возможность сваривать на ней детали еще больших размеров.



Фиг. 26. Точечная конденсаторная машина ТКМ-6.

3. Быстро открывается задняя крышка машины для осмотра и ремонта ее внутренних узлов при полной гарантии безопасности проведения этих работ для обслуживающего персонала (благодаря описанным ниже блокировкам).

4. Удобно и надежно крепится нижний электрододержатель машины.



Фиг. 27. Точечная конденсаторная машина ТКМ-7 (разрезы):

1 и 2 — передвижной груз и рычаг для изменения давления на электродах; 3 — механизм сжатия электродов; 4 — панель штепсельного переключателя; 5 — штепсельное гнездо для подключения машины к электрической сети; 6 — рабочий стол машины с двумя откидными полками; 7 — панель с сигнальной лампой, выключателями сети и вольтметра; 8 — металлический каркас машины; 9 — селеновый выпрямитель; 10 — блоки конденсаторов; 11 — средняя съемная часть рабочего стола с выдвижным ящиком; 12 — пружина pedalного механизма; 13 — ножная педаль; 14 — болт для заземления машины.

В машине ТКМ-7 для полного предотвращения возможности поражения электрическим током обслуживающего персонала при осмотре внутренних узлов предусмотрены:

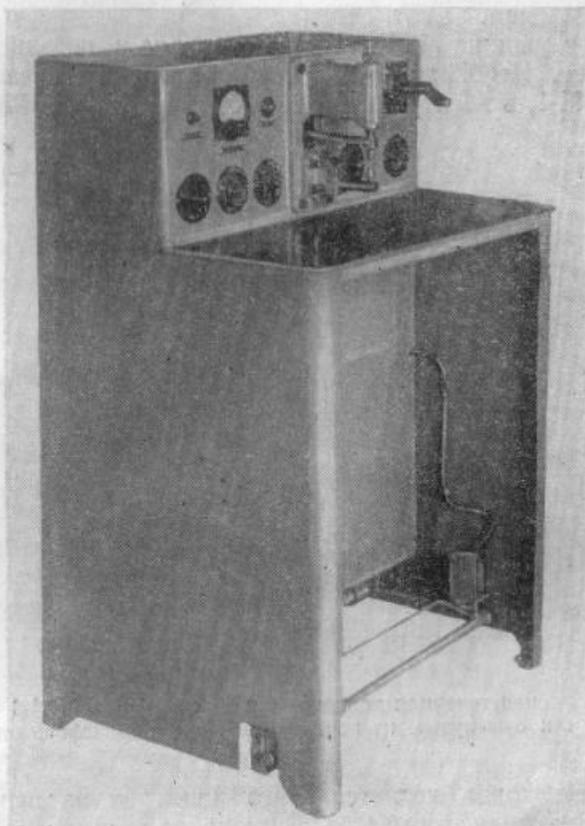
1. Механическая блокировка, которая делает невозможным снятие задней крышки машины до тех пор, пока не будет вынута из гнезда в боковой ее части штепсельное устройство (это обеспечивает отключение машины от питающей сети при снятии указанной крышки).

2. Электрическая блокировка, обеспечивающая полный разряд находившихся в работе конденсаторов при снятии задней крышки машины.

Конструктивно серийная точечная конденсаторная машина МТК-2 (фиг. 28) выполнена в виде сварного металлического шкафа с небольшим рабочим столиком и в этом сходна с машинами ТКМ-4 и ТКМ-7.

Внутри машины МТК-2 смонтированы конденсаторы, сварочный трансформатор и основные узлы остальной части ее электрической схемы.

Машина типа МТК-2 может быть с наибольшим успехом использована в крупносерийных производствах однотипных изделий из цветных и черных металлов малых толщин.



Фиг. 28. Точечная конденсаторная машина МТК-2.

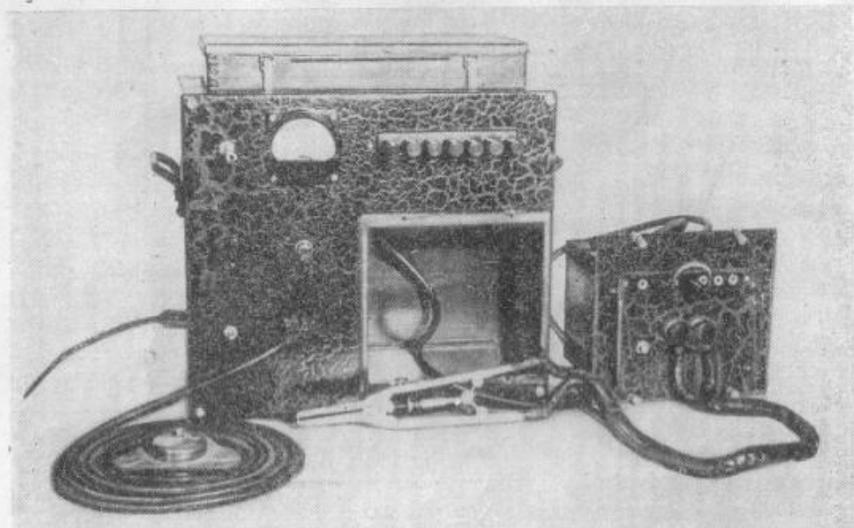
Основными недостатками машины типа МТК-2 являются: узкий диапазон свариваемых толщин, малая ее универсальность, сложность электрической схемы и наличие пружинного механизма сжатия электродов, известные недостатки которого [10] не могут обеспечить высокой стабильности качества сварки тонкого металла.

В переносной точечной конденсаторной машине ПТКМ-1 (фиг. 29) основные узлы и блок электролитических конденсаторов монтируются в небольшом металлическом корпусе.

На лицевой стороне машины ПТКМ-1 имеется съемная панель, на которой расположены: 1) два штепсельных магазина — для

регулирования емкости конденсаторов и коэффициента трансформации сварочного трансформатора; 2) два контактных болта (к которым выведены концы от вторичной обмотки сварочного трансформатора) — для подключения сварочных клещей; 3) два гнезда — для подключения ножной пусковой кнопки; 4) сетевой выключатель и переключатель выпрямительного трансформатора; 5) вольтметр с выключателем в его цепи; 6) заземляющий болт — для подключения машины к сети защитного заземления.

Переносная машина МТК-0,1 смонтирована в небольшом металлическом корпусе. Необходимая для сварки энергия запасается, как и в машине ПТКМ-1, в электролитических конденсаторах. Разрядный ток



Фиг. 29 Переносная точечная конденсаторная машина ПТКМ-1 (в рабочем положении с вынутым из корпуса сварочным трансформатором).

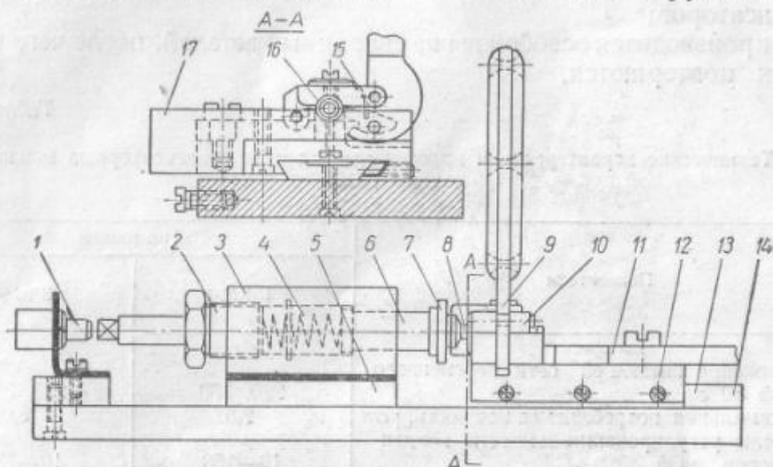
от этих конденсаторов подается через игнитрон на первичную обмотку сварочного трансформатора. Включение разрядного тока производится ножной педалью, а зажатие деталей при сварке — сменными клещами с пружинным механизмом (аналогичными фиг. 23).

За последние несколько лет для важных крупносерийных производств разработаны и внедрены специализированные установки для конденсаторной сварки изделий из металлов малых толщин и небольших диаметров.

В качестве примера можно указать на установку [53] для конденсаторной сварки в стык колпачков (никелированный томпак Л90 толщиной 0,3 мм) с проводником — выводом (серебряная медь диаметром 1 мм), являющихся деталями крупносерийных радиотехнических изделий. Электрическая схема такой установки проста и состоит из двухполупериодного селенового выпрямителя, блоков конденсато-

ров, контактного устройства и автотрансформатора, а также повышающего и сварочного трансформаторов. При недопустимых колебаниях сетевого напряжения в цепь питания установки включается стабилизатор напряжения.

Приспособление (фиг. 30) для подвода тока и сжатия свариваемых деталей монтируется на стальной плите 14, закрепленной на установке рядом со сварочным трансформатором [53]. Разъемный электрод 16 (для проводника-вывода) состоит из двух половинок, изготовленных из молибдена. Верхняя половинка электрода закреплена в откидном устройстве, состоящем из прижима 10 и защелки с рукояткой 9.



Фиг. 30. Приспособление для подвода тока и сжатия деталей в специализированной конденсаторной установке.

Электрод имеет горизонтальное перемещение вместе с кареткой, перемещающейся по направляющей 13 благодаря рычагу с рукояткой 11.

Второй электрод 8 (для колпачка) изготовлен из меди, имеет молибденовый наконечник с круглой центральной лункой (диаметром 1,6 мм и глубиной 0,7 мм), крепится на стержне 6, который помещается в обойме 3 и отжимается пружиной 4 в крайнее правое положение. Усилие сжатия свариваемых деталей определяется степенью сжатия пружины, регулируемой винтом 2.

Для изоляции электрода 8 от плиты 14 служит гетинаксовая прокладка 5. По оси стержня 6 (левого его конца) закреплена кнопка 1 контактного устройства электрической схемы установки. Оба электрода (8 и 16) соединяются с выводами вторичной обмотки сварочного трансформатора с помощью гибких шин 7 и 17.

Для защиты сварщика от выплесков металла (при подборе режима сварки или случайных его нарушениях) служит защитное стекло 15.

Подготовка специализированной установки для сварки колпачков с проводниками-выводами состоит в следующем:

1) включается питание от сети переменного тока и происходит зарядка конденсаторов;

2) устанавливаются необходимые значения параметров режима сварки (емкость конденсаторов, напряжение их зарядки, коэффициент трансформации и усилие сжатия);

3) на электрод 8 надевается колпачок, а в электроде 16 зажимается проволочный вывод (с выступающим на 2 мм за электрод концом);

4) рычагом с рукояткой 11 перемещается подвижная часть приспособления, вследствие чего происходит соприкосновение колпачка и проволочного вывода, которые в определенный момент сжатия пружины 4 при смещении электродов влево свариваются, чему предшествует замыкание кнопки 1, включающей контактор в цепи разряда конденсаторов;

5) производится освобождение сваренных деталей, после чего циклы сварки повторяются.

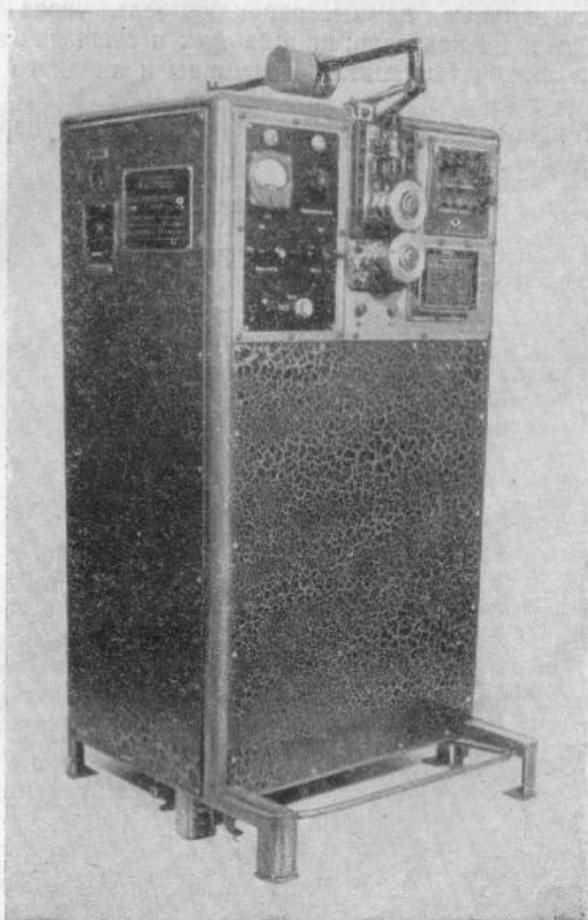
Таблица 3

Технические характеристики маломощных шовных конденсаторных машин типа ШКМ

Показатели	Тип машин	
	ШКМ-1	ШКМ-2
Напряжение питающей сети переменного тока 50 гц, в	220, 380	220, 380
Максимальная потребляемая мощность, квт	2,5	8,0
Пределы регулирования емкости конденсаторов, мкф	10—150	10—150
Пределы регулирования напряжения зарядки конденсаторов, в	600—1000	600—1000
Максимальная накопленная энергия, вт-сек	75	75
Направление свариваемых швов	Поперечное Педальный Вертикальный	
Привод механизма сжатия		
Ход верхнего ролика		
Максимальное усилие на роликах, кг	40	80
Рабочий ход верхнего ролика, мм	7	12
Характеристика привода подачи	Принудительное вращение обоих роликов Ступенчатое	
Регулирование скорости		
Скорость сварки, м/мин	0,23—0,83	0,34—1,22
Толщина свариваемого металла, мм		
а) минимальная	0,05+0,05	0,05+0,05
б) максимальная	0,4+0,4	0,4 +0,4
Мощность электродвигателя, квт	0,1	0,1
Габариты, мм		
высота	1250	1280
ширина	870	610
глубина	650	685
Вес, кг	270	360

Примечание. Для обоих типов машин показана максимальная толщина свариваемой нержавеющей стали типа 18-8.

Важным преимуществом приспособления является то, что принятое в нем способ контактирования электродов со свариваемыми деталями и материал электродов обеспечивают длительную работу последних без практически заметных следов подгорания [53].



Фиг. 31. Шовная конденсаторная машина ШКМ-2.

Шовные машины. Для шовной сварки металлов малых толщин (от 0,05 до 0,4 мм) наиболее успешно могут применяться шовные конденсаторные машины типа ШКМ (табл. 3).

Машины типов ШКМ-1 и ШКМ-2 предназначены для шовной конденсаторной сварки тонких изделий из различных металлов и сплавов в приборостроении, радиотехнике.

Шовная конденсаторная машина ШКМ-2 (фиг. 31) в основном предназначена для сварки поперечных швов. Конструктивно машина ШКМ-2 оформлена в виде металлического шкафа с несколькими съем-

ГЛАВА III

ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ТОЧЕЧНОЙ И ШОВНОЙ КОНДЕНСАТОРНОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ МАЛЫХ ТОЛЩИН

Материалы для электродов

Электроды точечных и шовных конденсаторных машин выполняют следующие функции: подводят ток к месту сварки, передают на место сварки необходимое давление и отводят тепло от наружных поверхностных слоев свариваемых деталей.

Электроды конденсаторных машин должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) обладать высокой электро- и теплопроводностью;
- 2) иметь достаточную прочность для передачи необходимых давлений;
- 3) обладать возможно большей стойкостью в эксплуатации;
- 4) иметь форму и габаритные размеры, удобные для их доступа к местам сварки;
- 5) иметь контактные поверхности, форма и размеры которых обеспечивали бы надежный подвод тока и передачу давления;
- 6) иметь удобное и надежное крепление в электрододержателях;
- 7) обладать достаточной массой для воздушного охлаждения или иметь принудительную систему охлаждения;
- 8) иметь высокую температуру рекристаллизации, т. е. сохранять твердость, полученную при наклепе, до возможно более высоких температур;
- 9) обладать минимальной склонностью к образованию сплавов со свариваемыми металлами.

Хорошо известно, что в отношении удовлетворения большинства перечисленных выше требований к электродам лучшим материалом для них является медь, обладающая высокой электро- и теплопроводностью. Однако электроды, изготовленные из мягкой меди, имеющей малую твердость и низкий предел текучести, при работе быстро расклевываются, а их контактные поверхности деформируются и изменяют форму. Это вызывает необходимость в частой запиловке электродов, в результате которой они быстро изнашиваются. Поэтому для повышения стойкости электродов необходимо их изготавливать из твердотянутой (наклепанной) красной меди или из ее сплавов [10, 13, 17].

Известно также [10], что для сварки некоторых материалов (медь и ее высокоэлектропроводные сплавы) применяются медные электроды со вставками из чистого вольфрама и молибдена.

Исследования [40] показали, что при точечной конденсаторной сварке металлов малых толщин к механической прочности материалов для электродов могут быть предъявлены несколько менее жесткие требования ввиду практически незначительного нагрева рабочих концов электродов, что объясняется малым временем сварки (тысячные доли секунды) и относительно большими паузами между сваркой двух точек, а также меньшего, чем при обычной сварке [10], удельного давления на контактные поверхности электродов (не более 3—5 кг/мм²). Поэтому при точечной конденсаторной сварке металлов и сплавов малых толщин (до 0,5 мм) допустимо изготовление электродов из меди М1 как мягкой, так и твердотянутой (последняя предпочтительнее). Однако наиболее целесообразно изготавливать электроды из высокоэлектропроводных медных сплавов. В табл. 4 приведены свойства материалов, рекомендуемых для изготовления электродов маломощных конденсаторных машин.

Таблица 4

Свойства основных материалов, рекомендуемых для изготовления электродов маломощных точечных и шовных конденсаторных машин

Показатели	Состав, %	Электропроводность в % к проводимости мягкой меди	Предел прочности, кг/мм ²	Твердость по Бринеллю, кг/мм ²	Температура рекристаллизации, °С
Медь М1 мягкая	Cu — 99,9	100	20—22	41—44	—
Медь М1 твердотянутая	Cu — 99,9	98	25—35	75—100	200
Хромоцинковая бронза (сплав ЭВ)	Cr — 0,4 Zn — 0,8 Cu — остальное	70—80	40—50	110—140	400
Кадмиевая медь	Cd — 0,9-1,2 Cu — остальное	90	40	107—114	250
Хромистая медь	Cr — 0,5 Cu — остальное	85	50	130	—
Сплав МЦ4	Cr — 0,5-1,0 Al — 0,1-0,25 Mg — 0,1-0,25 Cu — остальное	65—75	48—50	110—135	—
Сплав МЦ5Б	Cr — 0,2-0,35 Cd — 0,15-0,25 Cu — остальное	80—85	—	120—140	—
Кирит А	W — 55-60 Cu — остальное	45	—	225	—

Примечание. Указанные в таблице свойства хромоцинковой бронзы, кадмиевой и хромистой меди, а также сплава МЦ5Б показаны для их состояния после механо-термической обработки.

Опыт эксплуатации электродов из мягкой и твердотянутой меди М1, установленных на точечной конденсаторной машине ТКМ-4, показал, что такие электроды могут работать при постановке большого числа сварных точек. После этого изнашиваются только их рабочие концы на длине 2—4 мм, которые легко можно восстановить переточкой электродов или напайкой вставки из проволоки нужного диаметра.

Для точечной конденсаторной сварки металлов малых толщин (например, меди, серебра и т. д.) иногда рекомендуется применять медные электроды с вольфрамовыми и молибденовыми вставками. Как показывает опыт эксплуатации таких электродов, даже при очень плотной запрессовке контакт между медным телом электрода и вставкой часто нарушается из-за высокого удельного сопротивления вольфрама и молибдена, что изменяет режим сварки, выводит из строя электроды и служит причиной брака изделий. Поэтому при использовании медных электродов с вольфрамовыми и молибденовыми вставками последние рекомендуется впаивать твердыми припоями. Также следует впаивать и серебряные вставки, хотя их можно и запрессовывать.

На маломощных шовных конденсаторных машинах сварочные ролики работают примерно в таких же условиях, как и при обычной шовой сварке [10], а поэтому для их изготовления надо применять такие же материалы.

Электроды для точечной сварки

Нормальные электроды, применяемые для обычной контактной сварки, имеют [10] формы контактной поверхности: плоскую, сферическую и коническую.

Теоретические и экспериментальные исследования автора по изысканию оптимальной формы рабочего конца и контактной поверхности нормальных электродов для точечной конденсаторной сварки металлов малых толщин показали, что указанные выше формы контактных поверхностей электродов для этой цели непригодны по следующим причинам:

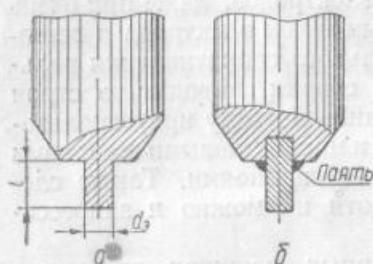
1) при износе или деформации любой из контактных поверхностей увеличивается их площадь, уменьшается плотность сварочного тока и нарушается режим сварки (получается непровар);

2) при сферической и конической формах контактных поверхностей электродов получают значительные вмятины на свариваемых изделиях из тонкого металла, что нежелательно, а часто и недопустимо.

В результате проведенных исследований автором [36, 38, 40, 57] разработана новая форма электродов для точечной конденсаторной сварки металлов малых толщин (фиг. 32), которые имеют цилиндрический рабочий конец и плоскую контактную поверхность.

Основным преимуществом новой формы электродов является постоянство диаметра их контактной поверхности при сварке и после запиловки рабочих концов. Это обеспечивает стабильную плотность сварочного тока и не нарушает режим сварки.

Указанное положение может быть пояснено теоретически на основании анализа формулы [21]. Действительно, если на оптимальном режиме точечной конденсаторной сварки какого-либо металла толщиной 2δ , произойдет изменение $d_{эл}$, то это неизбежно должно вызвать однонаправленное изменение накопленной энергии $A_{кл}$. В процессе сварки на оптимальном режиме энергия должна оставаться неизменной; в этом случае при увеличении $d_{эл}$ будет иметь место непровар, а при уменьшении — прожоги. Это объясняется тем, что в первом случае величина $A_{кл}$ будет недостаточной для расплавления увеличившегося объема столбика металла между электродами (см. фиг. 7), а во втором —



Фиг. 32. Нормальные электроды маломощных точечных конденсаторных машин (конструкция автора):

а — изготовленные заодно с электродом;
б — изготовленные спайванием.

В электродах новой конструкции рабочие концы могут изготавливаться заодно с электродом (фиг. 32,а) или впаиваться в него как отдельная вставка из проволоки нужного диаметра (фиг. 32,б). Опыт показывает, что запрессовка вставки нежелательна, так как в процессе эксплуатации электрода происходит нарушение контакта между вставкой и основным телом электрода, что снижает величину сварочного тока и вызывает брак изделий. Также не рекомендуется сварка электродами с отрезками медного провода, зажимаемыми в них с помощью цапги, что принято в машине МТК-2 [56]. Кроме указанных выше явлений, возможно проскальзывание отрезков медного провода, что при сварке также недопустимо.

Наконец, не рекомендуется крепить сменные рабочие части электродов на резьбе, так как при сжатии на нее передаются значительные механические усилия, вызывающие быстрый износ резьбы. Кроме того, в резьбовых соединениях может произойти окисление, вследствие чего увеличивается сопротивление в контакте рабочей части электрода с его основным телом.

Исследования и опыт эксплуатации электродов для точечной конденсаторной сварки металлов малых толщин [36, 40, 57] показывают, что длину и диаметр рабочего конца электродов следует выбирать в зависимости от давления на электродах и количества энергии, расходуемой на сварку при данном режиме.

При увеличении давления на электроды следует для поддержания его удельного значения в допустимых пределах увеличивать диаметр

их рабочего конца, а также выдерживать отношение $\frac{l}{d_s}$, (см. фиг. 32, а), равное 2—2,5, во избежание искривления рабочих концов электродов при прохождении сварочного тока.

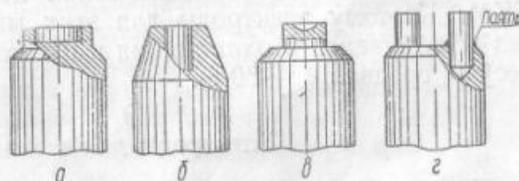
С увеличением энергии, расходуемой на сварку, нужно увеличивать диаметр рабочего конца электрода, чтобы удельная энергия на единицу площади рабочей части электрода оставалась в допустимых пределах. Увеличение удельной энергии сверх этих пределов может привести к прожогу свариваемых изделий, перегреву рабочих концов электродов и к быстрому их износу. Снижение удельной энергии вызывает уменьшение плотности тока и, следовательно, непровар свариваемых изделий.

Таблица 5

Ориентировочные данные для выбора размеров рабочего конца электродов из меди и ее сплавов (кадмиевая медь, хромцинкавая бронза и хромистая медь) при сварке на машинах типа ТКМ

Толщина свариваемых между собой листовых материалов, мм	Ориентировочные режимы при $U_c = 600 \text{ в} \pm 1\%$		Рекомендуемые размеры рабочего конца электродов (см. фиг. 32), мм	
	осадочное давление $P_3, \text{ кг}$	емкость конденсаторов $C_p, \text{ мкф}$	диаметр d_s	длина l
0,02—0,08	до 3,0	10—50	1,0 —1,25	1,5—2,0
0,08—0,15	3,0—6,0	50—100	1,25—1,50	2,0—2,5
0,15—0,25	6,0—9,0	100—200	1,50—1,75	2,5—3,0
0,25—0,35	9,0—15,0	200—300	1,75—2,0	3,0—3,5
0,35—0,50	15,0—25,0	300—400	2,0 —2,25	3,5—4,5
0,50—0,80	25,0—50,0	400—800	2,5 —3,5	4,5—5,0

В табл. 5 приведены ориентировочные данные для выбора размеров рабочего конца электродов (по фиг. 32) из меди и ее сплавов в зависимости от толщины свариваемых материалов, осадочного давления на электродах и количества энергии, аккумулируемой в конденсаторах. Однако практически можно рекомендовать сварку электродами с диаметрами рабочих концов—2—2,5 мм для металов толщиной до 0,5 мм и 3—3,5 мм — толщиной 0,6—0,8 мм.



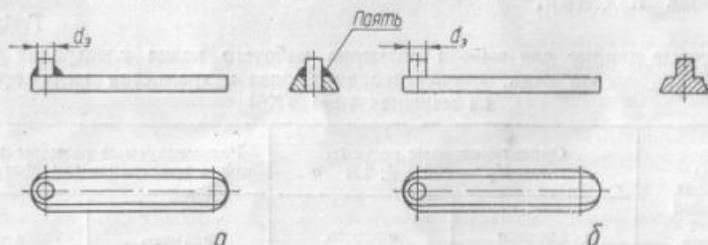
Фиг. 33. Фигурные электроды для конденсаторной сварки:

а — контактов; б — штифтов; в — шариков; г — двух точек одним импульсом разрядного тока.

В серийных точечных контактных машинах обычной распространенной системой крепления электродов в электрододержателях является их посадка на конус. Также применяется крепление электродов на резьбе и при помощи накидной гайки [2, 10]. Наиболее рациональной системой крепления электродов в маломощных точечных конденса-

торных машинах является посадка на конус, которая обеспечивает надежный контакт с электрододержателями, а также быструю и удобную замену электродов.

Для сварки открытых плоских деталей или деталей с незначительной кривизной следует применять нормальные электроды с плоской заточкой. При сварке деталей любой иной формы контактными поверхностям электродов следует придавать соответствующую конфигурацию. На фиг. 33 показаны фигурные электроды для конденсаторной сварки контактов, штифтов и шариков, а также для сварки двух точек одним импульсом разрядного тока конденсаторов. В переносной точечной конденсаторной машине ПТКМ-1 электроды крепятся при помощи



Фиг. 34. Электрод-вставка для ручных сварочных клещей машины ПТКМ-1:

а — с впаянным рабочим концом; б — с рабочим концом, изготовленным вместе с электродом.

выносных сварочных клещей (см. фиг. 23), в рабочие концы которых впаиваются или запрессовываются сменные электроды — вставки (фиг. 34).

При точечной конденсаторной сварке нагрев рабочих концов электродов практически незначителен. Как показали исследования, он не превышает нескольких десятков градусов даже при самой интенсивной работе на неавтоматических конденсаторных машинах типа ТКМ. Поэтому электроды для этих машин вполне могут работать без искусственного охлаждения и изготавливаться незначительными по весу (в среднем 15—30 г).

Электроды для шовной сварки

При шовной конденсаторной сварке электроды (ролики) выполняют не только те же функции, что и при точечной сварке, но также осуществляют перемещение свариваемых деталей.

При поперечной шовной сварке тонких металлов наиболее рационально принудительное вращение обоих роликов. При этом может быть исключено проскальзывание свариваемых деталей между роликами машины, что часто имеет место при свободном вращении одного из них и вызывает быстрый его износ, а главное — подплавление или прожоги деталей.

Проскальзывание роликов может быть полностью исключено только при равенстве линейных скоростей на их рабочих поверхностях.

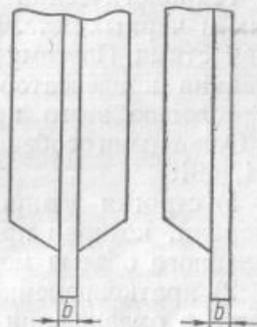
Поэтому в процессе эксплуатации роликов следует производить замеры их диаметров и при необходимости перетачивать ролики до одинакового диаметра.

Конструкция и размеры роликов зависят от их назначения а также от системы привода шовной машины.

Для стабильности шовной конденсаторной сварки металлов малых толщин большое значение имеет ширина рабочей части роликов. Поэтому по аналогии с конструкцией нормальных электродов для точечных конденсаторных машин (см. фиг. 32) автором разработаны нормальные формы рабочей поверхности сварочных роликов для шовной конденсаторной сварки металлов малых толщин [40], показанные на фиг. 35. Новая форма отличается от обычной [10] тем, что ширина рабочей части ролика b при срабатывании и повторных заточках не изменяется. Это гарантирует, при прочих равных условиях, стабильность шовной конденсаторной сварки металлов малых толщин.

В соответствии с теоретическими расчетами, по технологическим соображениям и по опыту внедрения машин типа ШКМ оптимальная ширина рабочей части ролика при сварке металлов толщиной от $0,05 + 0,05$ мм до $0,5 + 0,5$ мм может быть равной 1,5—2,5 мм.

Охлаждение роликов в машинах типа ШКМ может быть воздушным и водяным. Воздушное охлаждение роликов предусмотрено в машине ШКМ-1. Машина ШКМ-2 может работать как при воздушном, так и при водяном охлаждении. Шовная сварка без водяного охлаждения возможна при использовании массивных роликов большого диаметра, имеющих большую теплоемкость. Сварка изделий должна производиться при небольшой силе тока и значительных интервалах между сварочными операциями. В случае невозможности использования массивных роликов большого диаметра и недопустимом их нагреве следует включать водяное охлаждение (если оно имеется) или увеличивать интервал между сварочными операциями, а при возможности — применять обдувание роликов струей воздуха или их наружное водяное охлаждение [10]. Охлаждение роликов должно быть тем интенсивнее, чем больше сила сварочного тока и объем выполняемых работ, меньше масса ролика и толще свариваемые детали.



Фиг. 35. Нормальная форма рабочей поверхности сварочных роликов шовных конденсаторных машин ШКМ. (конструкция автора).

ГЛАВА IV

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ЦВЕТНЫХ И ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ НА ТОЧЕЧНЫХ КОНДЕНСАТОРНЫХ МАШИНАХ

Основные теоретические и технологические положения

Технологический процесс точечной конденсаторной сварки цветных и черных металлов отличается некоторыми специфическими особенностями. Поэтому для правильного и наиболее эффективного использования конденсаторных машин следует хорошо изучить и освоить технологию этого прогрессивного способа сварки.

Основными особенностями точечной конденсаторной сварки являются [34, 40]:

1) строгая дозировка в конденсаторах количества электрической энергии, которая при их разряде обуславливает расплавление определенного объема металла свариваемых деталей;

2) кратковременность процесса сварки, что исключает необходимость в охлаждении электродов;

3) резко выраженная локализация нагрева в небольшом объеме точки, позволяющая производить сварку в точно определенных местах;

4) отсутствие практически заметных вмятин и других следов сварки, что обеспечивает хороший внешний вид изделий.

Получение высокого качества соединений требует не только правильной разработки режимов их сварки, но и соблюдения технологических правил.

Режим конденсаторной сварки изделия определяется:

1) материалом (химический состав, теплосодержание, удельное электрическое сопротивление);

2) геометрическими параметрами (толщина, форма);

3) состоянием поверхности (наличие или отсутствие пленки окислов, а также антикоррозийных покрытий);

4) технологическими факторами (прочность, внешний вид).

Кроме того, режим конденсаторной сварки зависит от шунтирования тока, которое происходит при сварке изделия двумя и более точками.

Основываясь на теории контактной сварки [10, 29], можно отметить, что в общем случае режим конденсаторной сварки определяется следующими главными параметрами: сварочным током — i_2 , усилием сжатия свариваемых деталей между электродами* — P_s и временем сварки — $t_{св}$.

* В дальнейшем будем пользоваться термином «усилие сжатия».

Уравнение энергетического баланса точечной конденсаторной сварки имеет следующий вид:

$$0,24 \int_{t_{св1}}^{t_{св2}} (R_{э1,э2} + R_{м1} + R_{к} + R_{м2} + R_{э2,э1}) i_2^2 dt_{св} \approx \frac{\pi d_{эл}^2}{4} 2\delta_i \gamma_i S_{пл} t. \quad (43)$$

Это уравнение показывает сложность зависимостей между параметрами режима конденсаторной сварки, а также физическими свойствами и толщиной свариваемого материала.

Теоретический анализ уравнения (43) позволяет сделать выводы, что при точечной конденсаторной сварке:

1) необходимое для сварки количество тепла (правая часть уравнения) возрастает с увеличением диаметра электродного контакта $d_{эл}$ и толщины свариваемого металла δ_i , а также его удельного веса γ_i и теплосодержания $S_{пл}$;

2) увеличение усилия сжатия, обуславливающего уменьшение переходных сопротивлений $R_{э1,э2}$, $R_{к}$ и $R_{э2,э1}$ (входящих в левую часть уравнения), вызывает необходимость увеличения сварочного тока i_2 и времени сварки, что практически может быть достигнуто за счет увеличения емкости и напряжения зарядки конденсаторов (см. фиг. 9);

3) удельное электрическое сопротивление свариваемого металла (от которого зависят сопротивления $R_{м1}$ и $R_{м2}$) также влияет на величину сварочного тока i_2 — чем больше это сопротивление, тем меньший ток требуется для сварки и наоборот.

Таким образом, уравнение (43) и кривые (см. фиг. 9) показывают, что режим точечной конденсаторной сварки может быть подобран регулированием следующих параметров [40]:

- 1) емкости конденсаторов — C_p ;
- 2) напряжения зарядки конденсаторов — U_c ;
- 3) коэффициента трансформации сварочного трансформатора — k ;
- 4) диаметра электродного контакта $d_{эл}$;
- 5) усилия сжатия — $P_э$;
- 6) времени сварки — $t_{св}$.

В целях упрощения и облегчения разработки режимов сварки в точечных конденсаторных машинах типов ТКМ и МТК-2 принято $U_c = \text{const}$. Поэтому в них регулируемые параметрами являются C_p , k , $d_{эл}$, $P_э$ и $t_{св}$, а в машинах других типов (например, системы МВТУ) регулируется также и параметр U_c .

Выбор емкости конденсаторов и коэффициента трансформации сварочного трансформатора. Ориентировочный подбор режима сварки по емкости производят опытным путем или по готовым таблицам и графикам. Кроме того, такой режим надо корректировать в зависимости от материала деталей и электродов, а также от конкретных условий.

Необходимо иметь в виду, что одинаковый тепловой эффект от ряда конденсаторов может быть получен при различных сочетаниях параметров режимов сварки. Например, можно получать равно-

прочные сварные точки на одних и тех же толщинах металлов при большой емкости конденсаторов и большом усилии сжатия электродов, а также при меньшей емкости конденсаторов и меньшем усилии сжатия. Оптимальным вариантом режима конденсаторной сварки следует считать такой, при котором используется меньшая накопленная энергия в конденсаторах. Это позволяет при определенной для данной машины емкости конденсаторов сваривать на ней металлы больших толщин, а также экономить электроэнергию, расходуемую на зарядку конденсаторов.

Коэффициент трансформации подбирают с учетом электропроводности свариваемых металлов: чем выше электропроводность, тем больше должен быть коэффициент трансформации, так как напряжение, индуцируемое при разряде во вторичной обмотке сварочного трансформатора, ниже. Однако этим положением не следует пользоваться всегда, так как некоторые материалы могут быть качественно сварены только при определенной форме кривой сварочного тока, определяющей скорость нарастания температуры ядра точки.

При подборе оптимальной формы кривой сварочного тока следует учитывать (фиг. 9) качественное влияние на нее изменения емкости коэффициента трансформации и др.

Выбор диаметра электродного контакта и материала электродов. Диаметр электродного контакта d_e следует выбирать в соответствии с ориентировочными данными (см. табл. 5). Однако сварка может производиться электродами с другими диаметрами электродного контакта. Анализ формулы (21) также показывает, что при неизменных δ_i , γ_i , S_{nli} и η_{col} существует много различных значений диаметра электродного контакта d_{si} и соответствующих ему значений аккумулятивной энергии A_{ki} , при которых возможна сварка одних и тех же материалов. Из этого положения можно сделать важный вывод, что при точечной конденсаторной сварке одни и те же материалы в зависимости от значения d_{si} могут быть сварены при многих значениях A_{ki} , причем с увеличением d_{si} необходимая для сварки энергия возрастает и наоборот.

Однако практически при использовании последнего вывода следует учитывать, что:

1) при максимальной для данной машины накопленной в конденсаторах энергии $A_{k \max}$ нельзя увеличивать диаметр электродного контакта выше предельного значения $d_{e \max}$, так как это приведет к непрочному металлу максимальной расчетной толщины δ_{\max} ;

2) при максимальной для данной машины энергии $A_{k \max}$ нельзя, даже при минимально возможном диаметре электродного контакта $d_{e \min}$, произвести качественную сварку металла толщиной большей, чем максимальная расчетная толщина δ_{\max} , так как при этом будут получаться слишком малые сварные точки и сильно подгорать рабочие концы электрода;

3) уменьшение диаметра электродного контакта должно лимитироваться минимально допустимыми размерами сварных точек, а также требованиями к прочности и жесткости рабочего конца электрода.

Опыт внедрения конденсаторной сварки показывает, что в целях еще большего упрощения разработки режимов рекомендуется производить сварку разных близких по толщине металлов электродами с одинаковыми диаметрами их рабочего конца. При этом желательно производить сварку электродами, имеющими d_s близкий к $d_{s \max}$ (который рассчитывается на максимальную для данной машины толщину металла). Тогда оказывается возможной сварка не только металлов с толщиной, соответствующей данному диаметру электродов, но также и металлов меньшей толщины. Однако при сварке последних следует увеличивать усилие сжатия и емкость конденсаторов.

Выбор материала электродов для точечной конденсаторной сварки следует производить в соответствии с рекомендациями, изложенными в гл. III.

Выбор усилия сжатия. Усилие сжатия является одним из важнейших параметров контактной сварки и оказывает значительное влияние на ее результаты [10]. От усилия сжатия зависят контактные и собственные сопротивления, величиной которых определяются распределение и интенсивность источников тепла при прохождении сварочного тока. Кроме того, усилие сжатия является и чисто механическим фактором, определяющим зону и степень пластической деформации в сварной точке [10].

Во время исследований при точечной конденсаторной сварке металлов малых толщин наблюдалась та же закономерность, что и для обычной точечной сварки металлов средних толщин, а именно: с увеличением толщины свариваемых металлов увеличивалось усилие сжатия, при котором получается наибольшая прочность сварной точки. Для многих марок цветных и черных металлов толщиной от 0,02 до 0,5 мм, свариваемых внахлестку на маломощных точечных конденсаторных машинах, вполне достаточны усилия сжатия в пределах от нескольких до 20—25 кг.

Практически при разработке режимов точечной конденсаторной сварки металлов малых толщин рекомендуется подбирать оптимальные значения усилия сжатия не отдельно для каждой толщины металла, а для узкого интервала толщин. Такой технологический прием облегчает разработку режимов сварки и упрощает эксплуатацию конденсаторных машин.

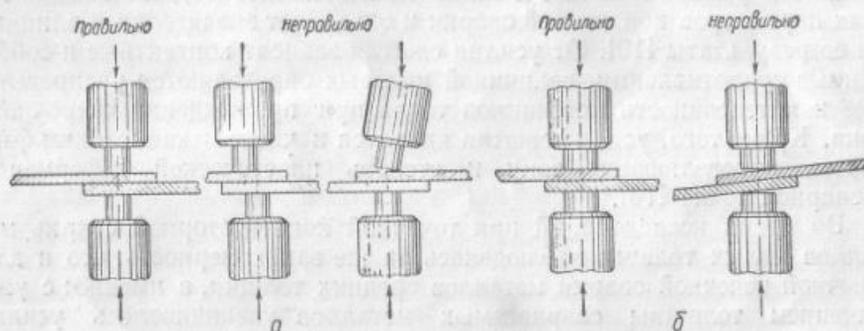
Следует учитывать, что при сварке на машинах типов ТКМ-5 и ТКМ-6 толщин металла, близких к минимальным для них [0,05—0,25 мм], рекомендуется подбирать режим сварки так, чтобы она производилась при усилиях сжатия несколько больших, чем минимальные. При этом следует соответственно завязать емкость и даже несколько увеличить диаметр электродного контакта. Такой прием позволяет получить более стабильные результаты сварки, так как при минимальных давлениях пружины не обеспечивают приемлемого постоянства усилия сжатия на электродах (из-за значительного влияния трения в механизмах сжатия машин и жесткости верхних гибких шин).

При выборе усилия сжатия следует также учитывать следующее:
а) усилие должно увеличиваться с повышением сопротивления оксид-

ной пленки на поверхности свариваемых деталей; б) усилие может быть тем меньше, чем выше электропроводность материала рабочих концов электродов.

Наладка сварочной операции на точечных конденсаторных машинах. Наладка сварочной операции на конденсаторной машине заключается в подготовке поверхности свариваемых деталей; установке и зачистке электродов; установке усилия сжатия, емкости конденсаторов и коэффициента трансформации; установке деталей в приспособлении (или сборке в пакет), сжатии их между электродами и сварке.

Исследования и результаты внедрения точечной конденсаторной сварки многих марок металлов малых толщин показали, что поверхности деталей, изготовленных из металла, не имеющего отклонений



Фиг. 36. Правильная и неправильная установка при точечной конденсаторной сварке:

а — нормальных электродов; б — деталей.

от ГОСТа, не требуют специальной механической или другой зачистки. При этом вполне достаточно их обезжирить ацетоном или бензином или протереть сухой хлопчатобумажной тканью.

В некоторых случаях поверхности деталей в местах сварки точек необходимо зачищать от ржавчины и антикоррозионных покрытий. Как показывает опыт, механическая зачистка поверхности требуется только для деталей из стали и некоторых других металлов, имеющих большой слой оксидной пленки. Детали из меди и ее сплавов, никеля, никелина, пермаллоя, цинка, нейзильбера, платины, золота, серебра и других металлов механической зачистки не требуют.

Правильная установка электродов (фиг. 36,а) и тщательная зачистка их контактных поверхностей оказывают существенное влияние на процесс конденсаторной сварки и прочность точек. Необходимо, чтобы плоские контактные поверхности электродов были между собой параллельны, а рабочие концы — соосны. Несоблюдение этих условий вызывает уменьшение площади электродного контакта и увеличение плотности тока, вследствие чего происходит прожог свариваемых деталей и оплавление рабочих концов электродов.

После регулирования усилия сжатия следует вновь проверить правильность установки электродов, так как из-за возможных прогибов консолей машины она может быть нарушена.

Форма электродов и размеры их контактных поверхностей должны соответствовать конфигурации свариваемых деталей, их толщине и выбранному режиму сварки.

Перед сваркой контактные поверхности электродов должны быть зачищены от окислов, нагара и частиц свариваемых металлов. Периодическая зачистка поверхностей электродов требуется также и в процессе их эксплуатации. Частота зачистки электродов зависит от свариваемых материалов, их толщин, режима сварки, а также от материала рабочих концов электродов.

Запиливание сработанных и подплавленных контактных поверхностей электродов точечных и конденсаторных машин типов ТКМ и МТК следует производить плоским надфилем с параллельными плоскостями. Строгая параллельность контактных поверхностей электродов может быть достигнута при одновременной зачистке обоих электродов следующими последовательно проводимыми приемами:

1) отрезок плоского надфиля (длиной 50—60 мм) слегка зажимается между электродами;

2) рядом вращательных движений надфиля концы электродов зачищаются до полного снятия оплавленных участков и получения металлического блеска на всей контактной поверхности электродов;

3) несколькими вращательными движениями гладилки (закаленная стальная пластинка), сжатой между электродами, полируются их контактные поверхности.

Усилие сжатия на машинах ТКМ-4 и ТКМ-7, а также на некоторых машинах системы МВТУ (например, на машине К-4) регулируется перемещением груза в нужное положение на рычаге. На машине К-1 системы МВТУ усилие устанавливается изменением втягивающей силы, развиваемой электромагнитом, а на машинах ТКМ-5, ТКМ-6 и МТК-2 — изменением усилия сжатия регулируемых пружин. Последняя регулировка усилия сжатия производится и в сварочных клещах переносных машин ПТКМ-1 и МТК-0,1.

Подбор емкости конденсаторов и коэффициента трансформации сварочного трансформатора на всех типах машин ТКМ, а также на машине ПТКМ-1 производится ступенчато — путем установки штекеров в соответствующие гнезда штепсельного магазина. В указанных машинах может быть получено регулирование емкости конденсаторов от минимального значения $C_{\min} = 10 \text{ мкф}$ и дальше через каждые 10 мкф до максимального значения C_{\max} , равного полной емкости конденсаторов, смонтированных в данную машину.

В машинах типа ТКМ могут быть получены следующие значения коэффициента трансформации: 75, 100, 125 и 150, а в машине ПТКМ-1 — 20, 30, 40 и 50. Для серийной машины ТКМ-4 с $U_c = 600 \text{ в}$ указанные выше изменения коэффициента трансформации соответствуют следующим четырем амплитудным значениям вторичного напряжения сварочного трансформатора: 8 в; 6 в; 4,8 в и 4 в, а для

машины ПТКМ-1, у которой $U_c = 450$ в — соответственно 22,5 в; 15 в; 11,3 в и 9 в.

В машине МТК-2 емкость конденсаторов и коэффициент трансформации также регулируются ступенчато, причем для установки значений каждого параметра служат отдельные переключатели. Емкость батареи конденсаторов в машине МТК-2 регулируется в пределах от 25 до 500 мкф, а коэффициент трансформации — от 50 до 150.

Необходимо, чтобы свариваемые детали правильно устанавливались между электродами (фиг. 36,б). Контактные поверхности обоих электродов должны плотно прилегать к поверхностям верхней и нижней деталей, так как перекося последних вызывает их прожог и оплавление рабочих концов электродов.

Свариваемые детали должны укладываться в приспособления, что обеспечивает правильность и точность их взаимного положения в сборке. Опытным внедрением установлено, что при изготовлении основных деталей приспособлений для точечной конденсаторной сварки могут быть использованы различные изоляционные материалы: гетинакс, текстолит, фибра, эбонит и др. Наиболее приемлемым следует считать гетинакс, который не только хорошо обрабатывается, но также обладает высокой плотностью и износостойкостью. Кроме того, гетинакс не коробится, если даже он использован в приспособлениях для изготовления тонких перегородок. Приспособления из перечисленных выше материалов просты и удобны в эксплуатации, а также недороги.

Опыт показывает целесообразность проектирования и изготовления многоместных приспособлений, что обеспечивает сокращение вспомогательного времени при сварке изделий массового производства.

Свариваемые детали следует укладывать в приспособления достаточно плотно, что не позволит им сдвигаться относительно друг друга. Приспособления с уложенными в них деталями необходимо установить между электродами конденсаторной машины так, чтобы при сжатии электродов их рабочие концы вошли в направляющие гнезда приспособлений. Такие гнезда обеспечивают правильность расположения точек на деталях при их сварке (причем в каждом приспособлении должно быть не менее одного гнезда).

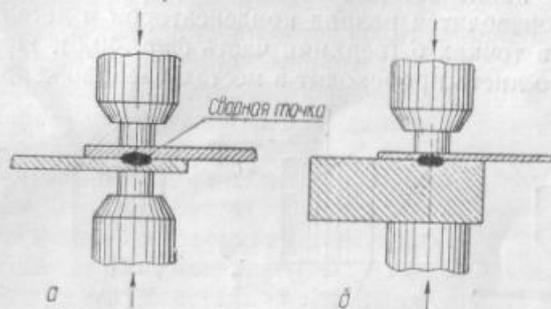
После выполнения указанных выше операций сваривают детали в одной точке и разводят электроды. Если необходимо сваривать детали в нескольких точках, то операция фиксации положения электродов в приспособлении повторяется.

Если сборка деталей под сварку может быть произведена с требуемой точностью без приспособлений, то вполне допустимо укладывать детали в пакет и сваривать вручную. При этом расположение точек на деталях сварщик определяет визуально (по разметке или без нее).

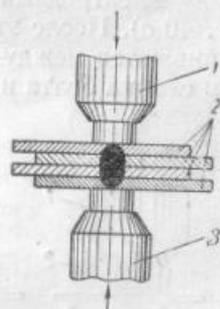
Перечисленные выше технологические рекомендации являются основными, и их соблюдение в сочетании с правильно выбранным режимом конденсаторной сварки во всех случаях обеспечивает ее высокие качества и стабильность.

Схемы процесса сварки на точечных конденсаторных машинах

Исследованиями автора [33—41, 51] установлено, что конденсаторная сварка является универсальным технологическим процессом. При этом на точечных конденсаторных машинах можно получать высокопрочные неразъемные соединения по многим схемам, которые описаны ниже.



Фиг. 37. Схемы точечной конденсаторной сварки: а — деталей малых толщин; б — деталей малой и большой толщины.

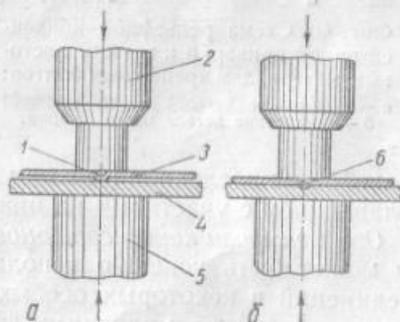


Фиг. 38. Схема пакетной конденсаторной сварки деталей малых толщин.

Точечная и пакетная конденсаторная сварка. Исследования [34, 37, 40] показали, что на точечных конденсаторных машинах имеется возможность осуществлять не только сварку деталей малых толщин (фиг. 37, а), но также получать неразъемные соединения деталей из очень малых (сотые и десятые доли миллиметра) и больших (единицы и десятки миллиметров) толщин.

Точечная сварка деталей малой и большой толщин по схеме (фиг. 37, б) оказывается возможной благодаря кратковременности процесса конденсаторной сварки и локализации нагрева металла в небольшой зоне вокруг точки.

На фиг. 38 приведена схема конденсаторной сварки пакетов из трех и более деталей. Несколько тонких пластинок 2, сложенных в пакет, сжимаются между электродами 1 и 3, после чего свариваются между собой одной точкой единичным импульсом разрядного тока конденсаторов. При необходимости получить на одной из лицевых сторон сварного соединения абсолютно чистую поверхность без видимых следов от прохождения тока следует устанавливать с этой стороны электрод, имеющий большую площадь рабочего конца.

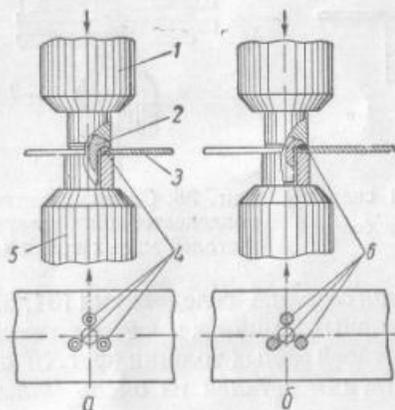


Фиг. 39. Схема рельефной конденсаторной сварки двух тонких металлических листов:

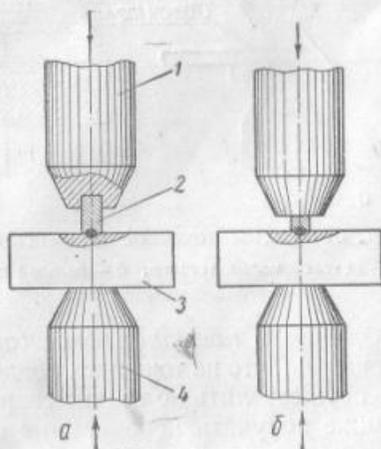
а — положение тонких листов перед сваркой; 1 — рельеф в верхнем листе; 2 и б — электроды; 3 и 4 — верхний и нижний тонкие листы; б — положение тонких листов после сварки; б — сварная точка.

На мало мощных конденсаторных машинах может быть выполнена рельефная сварка двух тонких металлических листов (фиг. 39).

В некоторых случаях возможно осуществить рельефную конденсаторную сварку крепежных болтов небольшого размера (до диаметра 8—10 мм) к листовым материалам толщиной до 1 мм (фиг. 40). В тонком листе 3 должно быть отверстие для прохода болта 2 и несколько рельефов 4 (нижняя часть фиг. 40,а). Свариваемые детали сжимаются между электродами 1 и 5 конденсаторной машины (верхняя часть фиг. 40,а). После этого производится разряд конденсаторов и детали свариваются между собой в точках 6 (верхняя часть фиг. 40,б). При этом сварка болта и тонкого листа происходит в местах расположения



Фиг. 40. Схема рельефной конденсаторной приварки к тонким листовым материалам крепежных болтов: а — положение деталей перед сваркой; б — положение детали после сварки.



Фиг. 41. Схема конденсаторной сварки плоских деталей со штифтами:

а — длинным; б — коротким.

рельефов на последнем (нижняя часть рис. 40,б) и обуславливается их сплавлением с участками на нижней плоскости головки болта.

Особые случаи конденсаторной сварки. Способ конденсаторной сварки может быть успешно использован для выполнения неразъемных соединений в некоторых особых случаях: 1) для сварки коротких и длинных штифтов с плоскими деталями из металлов малых и больших толщин; 2) для сварки крепежных болтов с плоскими деталями; 3) для сварки контактов с плоскими деталями; 4) для сварки шариков с плоскими деталями; 5) для сварки между собой шариков малых диаметров; 6) для сварки шариков и стержней малых диаметров; 7) для одновременной сварки двумя точками двух тонких пластинок одним импульсом разрядного тока конденсаторов (одноимпульсная конденсаторная сварка) и т. д.

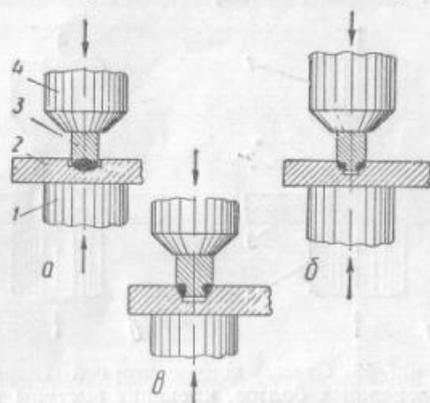
Схема конденсаторной сварки плоских деталей со штифтами длиной от 4 до 15 мм показана на фиг. 41,а. В верхнем электроде 1 делается выточка, в которую плотно вставляется привариваемый штифт 2.

Глубина выточки в верхнем электроде должна быть на 2—3 мм меньше длины штифта, чтобы при сварке конец его, выходящий за торцы электрода, не нагревался сварочным током, что может вызвать его изгиб от усилия сжатия. Нижний конец штифта должен иметь гладкую плоскую поверхность и при сжатии плотно прилегать по всей площади к верхней поверхности детали 3. Точно так же эта деталь нижней поверхностью должна плотно прилегать к электроду 4. При прохождении импульса сварочного тока основная часть тепла выделяется в контакте штифт-деталь, а не в местах их касания с верхним и нижним электродами, где контакт значительно лучше. В результате образуется сварная точка, прочно соединяющая штифт с деталью.

При сварке штифтов длиной менее 3—4 мм (фиг. 41, б) необходимость выточки в верхнем электроде отпадает и привариваемый штифт прижимается к детали гладкой контактной поверхностью электрода. Последняя должна быть в несколько раз больше площади верхнего конца штифта, чтобы можно было легко и быстро фиксировать их взаимное положение при сварке. При такой схеме сварки штифтов в их контакте с медным электродом выделяется несколько больше тепла, чем по схеме фиг. 41, а. Однако в контакте штифт — деталь тепловыделение значительно больше, что и позволяет получить прочное сварное соединение.

Из изложенного следует, что схема (фиг. 41, б) не может быть применена для сварки штифтов из различных материалов с медными плоскими деталями. При этом будет выделяться практически одинаковое количество тепла как в контакте штифт — деталь, так и в контакте штифт — электрод и окажется возможной сварка последних между собой. Если же сварка штифта с электродом и не произойдет, то выделение в месте их контакта большого количества тепла вызовет быстрое подгорание поверхности электродов и необходимость очень частой их заправки, что также нежелательно.

В ряде случаев возможна конденсаторная сварка деталей, имеющих выточки, с короткими и длинными штифтами. Приведенные на фиг. 42 схемы соответствуют случаям сварки между электродами 1 и 4 коротких штифтов, а для приварки длинных штифтов в верхнем электроде 4 должна быть предусмотрена выточка (аналогично схеме сварки по фиг. 41, а). Во всех случаях сварки по схеме (фиг. 42) конфигурация выточек в детали 2 должна соответствовать форме конца штифта 3. При этом по схемам (фиг. 42, б и в) необходимо, чтобы при

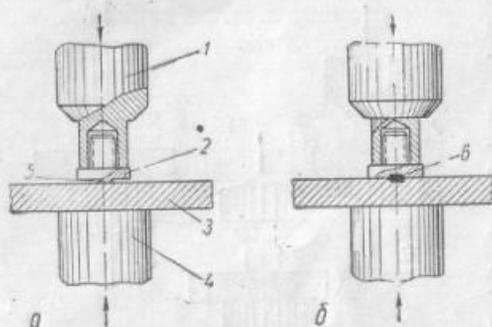


Фиг. 42. Схема конденсаторной сварки деталей, имеющих выточки, со штифтами:

а — цилиндрической формы; б — с заточкой на конус; в — с заточенным цилиндрическим хвостовиком.

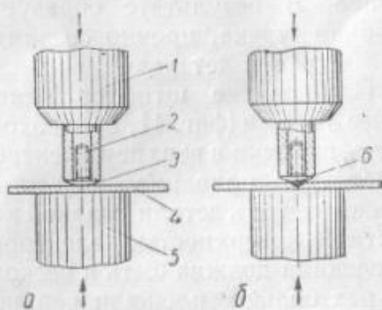
вставленном штифте в деталь оставался небольшой зазор между концом штифта и дном выточки, чем обеспечивается сварка в указанных на схеме местах.

На фиг. 43 и 44 показаны схемы конденсаторной сварки крепежных болтов диаметром до 8 мм с плоскими деталями толщиной до 1 мм. Крепежные болты могут иметь головки с небольшими цилиндрическими выступами высотой около 0,2—0,3 мм и плоской поверхностью под сварку (фиг. 43,а) или же головки со сферической поверхностью (фиг. 44,а). В первом случае концентрированное выделение тепла при



Фиг. 43. Схема конденсаторной сварки крепежных болтов, имеющих выступы на головке, с плоскими деталями:

а — положение деталей перед сваркой: 1 и 4 — электроды; 2 — крепежный болт; 3 — плоская деталь; 5 — выступ на головке крепежного болта; б — положение деталей после сварки: б — сварная точка.



Фиг. 44. Схема конденсаторной сварки крепежных болтов, имеющих сферическую головку, с плоскими деталями:

а — положение деталей перед сваркой: 1 и 5 — электроды; 2 — крепежный болт; 3 — сферическая головка крепежного болта; 4 — плоская деталь; б — положение деталей после сварки: б — сварная точка.

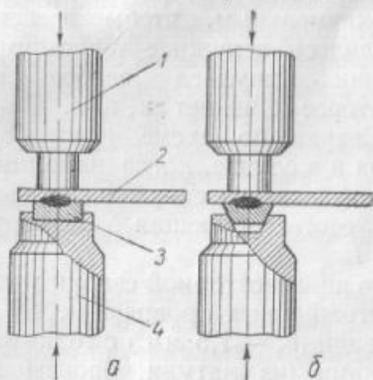
сварке получается в месте контакта поверхности выступа на головке болта и плоской детали (при этом выступ расплавляется), а во втором — в контакте сферической головки и указанной детали (при этом расплавляется верхняя часть головки). Если необходимо, чтобы на поверхности плоских деталей не оставалось практически заметных следов от прохождения сварочного тока, то со стороны деталей следует устанавливать электроды с большой гладкой контактной поверхностью.

Схема конденсаторной сварки контактов (диаметром 1,5—4 мм и толщиной до 2—3 мм) с тонкими плоскими деталями показана на фиг. 45. В нижнем электроде 4 делается выточка, в которую укладывается контакт 3. Верхний электрод 1 должен иметь рабочий конец небольшого диаметра, чтобы обеспечить высокую плотность сварочного тока в средней части контакта 3 и плотно прилегать к тонкой детали 2. При сварке контакта с тонкой деталью образуется точка несколько меньшего диаметра, чем диаметр контакта, однако прочность сварного соединения и его электропроводность получаются высокими.

Схема фиг. 45,а соответствует случаю, когда на поверхности контакта допустимы следы от прохождения сварочного тока. При сварке по схеме (фиг. 45,б) может быть получена абсолютно чистая поверхность контакта 3, что достигается благодаря зазору между ниж-

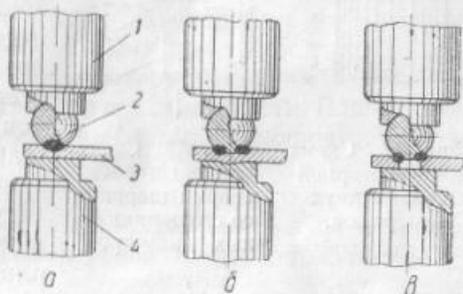
ней его поверхностью и дном выточки в электроде 4. Поэтому контакт 3 и выточка в электроде 4 должны иметь коническую форму и при сварке плотно прилегать друг к другу по образующим поверхностям конусов.

Схема сварки шариков диаметром 1—12 мм с плоскими деталями показана на фиг. 46. В верхнем электроде 1 делается выточка, плотно прилегающая к поверхности привариваемого шарика 2. Нижний электрод 4 должен иметь гладкую плоскую поверхность большого диаметра, на которую плотно кладется деталь 3. Сварка шарика 2 с этой деталью происходит в месте их контакта.



Фиг. 45. Схема конденсаторной сварки тонких плоских деталей с контактами:

а — цилиндрической формы; б — конической формы.



Фиг. 46. Схема конденсаторной сварки шариков с плоскими деталями, имеющими:

а — гладкую поверхность; б — сферическую выемку; в — отверстие.

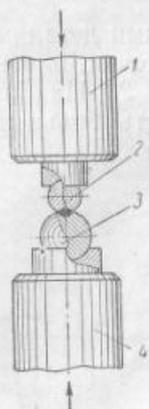
Сварка по схеме (фиг. 46,а) требует установки шарика 2 в нужном месте на детали 3 по разметке, а сварка по схемам (фиг. 46,б и в) позволяет фиксировать положение обеих деталей без нее. Кроме того, обе последние схемы могут обеспечить более высокую прочность сварных соединений (благодаря сплавлению шариков с плоскими деталями в больших, чем по фиг. 46,а, объемах металла).

Можно отметить, что по схеме (фиг. 46,б) внедрена на машине ТКМ-4 конденсаторная приварка сормайтовых шариков диаметром 1,1—1,2 мм к перьям автоматических ручек (из пермаллоя и нержавеющей стали толщиной 0,3 мм).

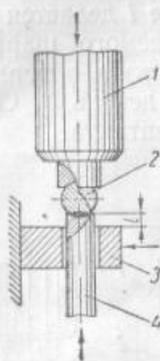
Конденсаторная сварка двух шариков как одинаковых, так и разных малых диаметров также осуществляется легко. В этом случае (фиг. 47) верхний и нижний электроды 1 и 4 должны иметь сферические выточки, в которые входят соответствующие шарики 2 и 3, причем сварка последних происходит в месте их соприкосновения.

Возможность сварки сферических тел сравнительно больших размеров между собой и с плоскими деталями объясняется тем, что при любых их размерах (диаметр, толщина) они теоретически соприкасаются в одной точке, а свариваются в небольшом объеме металла, окружающего место контакта.

На фиг. 48 показана схема конденсаторной сварки шариков диаметром 1—12 мм со стержнями примерно такого же диаметра. В данном случае верхний электрод 1 должен быть таким, как и на схеме (фиг. 47), а нижний электрод 3 изготавливаться в форме зажимного устройства для жесткого крепления стержня 4 и надежного контакта с ним. Сварка шарика 2 со стержнем 4 происходит в одной точке в месте их контакта. При сварке вылет 1 стержня должен быть минимальным, чтобы в нем не выделялось ненужное тепло при протекании импульса сварочного тока, которое снижает к. п. д. процесса. Сварка по схеме (фиг. 48) возможна и в случае, когда на конце стержня 4 делается сферическая выточка, соответствующая размеру шарика 1.



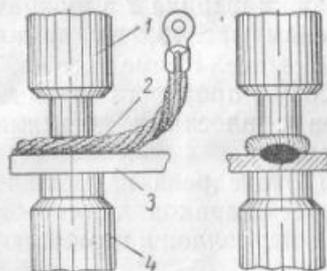
Фиг. 47. Схема конденсаторной сварки двух шариков.



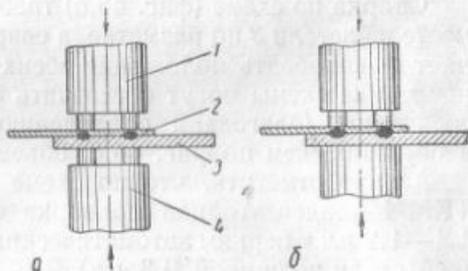
Фиг. 48. Схема конденсаторной сварки шариков со стержнями малых диаметров.

других материалов) показана на фиг. 49 и особых пояснений не требует.

Одноимпульсная конденсаторная сварка двух точек может быть осуществлена по схеме (фиг. 50). Верхний и нижний электроды 1 и 4



Фиг. 49. Схема конденсаторной сварки медных многожильных проводов с тонкими пластинками (из латуни, бронзы и др.): 1 и 4 — верхний и нижний электроды; 2 — медный провод; 3 — тонкая пластинка.



Фиг. 50. Схема одноимпульсной конденсаторной сварки тонких деталей двумя точками:

а — двумя специальными электродами;
б — одним специальным электродом.

(фиг. 50, а) имеют специальную форму — с двумя рабочими концами цилиндрической формы небольшого диаметра (1,5—2 мм каждый — при сварке на машине ТКМ-4). Контактные поверхности обоих рабочих концов должны быть гладкими и находиться в одной параллельной

плоскости. При соблюдении этих условий сжатые между электродами 1 и 4 свариваемые детали 2 и 3 плотно прилегают одна к другой и к контактными поверхностям электродов, что создает примерно равные контактные сопротивления под левым и правым рабочими концами обоих электродов. Тогда при разряде конденсаторов сварочный ток разветвляется на практически равные части и соединяет детали 2 и 3 двумя равнопрочными точками.

При сварке по такой схеме на наружных поверхностях обеих деталей остаются заметные следы от прохождения сварочного тока, что в некоторых случаях может оказаться нежелательным. Более приемлема сварка по схеме (фиг. 50,б), так как она позволяет получить чистую поверхность на одной из деталей. Со стороны этой детали (на фиг. 50,б — нижняя) электрод 4 должен иметь плоскую гладкую поверхность большой площади, а два рабочих конца верхнего электрода 1 должны быть со строго параллельными с ней контактными поверхностями.

Приведенными выше схемами конденсаторной сварки изделий из металлов малых толщин не исчерпываются ее возможности. В некоторых конкретных случаях могут быть подобраны соответствующие электроды и схемы сварки. Эффективность использования точечных конденсаторных машин разных типов зависит в основном от умелого их использования, правильности выбора схемы сварки, разработки ее режимов и изготовления соответствующих электродов и приспособлений.

Свариваемость металлов малых толщин при точечной конденсаторной сварке

Точечная конденсаторная сварка обеспечивает вполне качественные неразъемные соединения между собой и в различных сочетаниях из большого числа марок металлов малых толщин. На основании опыта широкого внедрения на заводах точечной конденсаторной сварки и ее исследований в лабораторных условиях автором составлена таблица свариваемости различных металлов и сплавов малых толщин (табл. 6).

При составлении этой таблицы принята следующая характеристика свариваемости:

- 1) хорошая — если получается высокая прочность сварной точки (вырыв или вязкий срез при механических испытаниях) и отсутствует прилипание электродов к поверхности свариваемого металла;
- 2) удовлетворительная — при высокой прочности сварной точки в незначительном прилипании электродов;
- 3) неудовлетворительная — если не достигается достаточно высокая прочность сварной точки и наблюдается значительное прилипание электродов.

Как видно из табл. 6, точечная конденсаторная сварка обеспечивает хорошую и удовлетворительную свариваемость более чем в 200 сочетаниях одинаковых и различных металлов малых толщин. Вполне качественно свариваются между собой алюминий и дюралюминий, медные сплавы (латуни Л62 и Л80, а также несколько марок бронз), никель и некоторые его сплавы, платина, серебро, титан, малоуглеро-

дистая и нержавеющей стали, сплавы высокого сопротивления (нихром, фехраль, манганин, никелин и константан) и др. Кроме того, сваривается большое число сочетаний из всех перечисленных выше металлов и сплавов малых толщин. Однако не удается получить высокопрочные сварные соединения из алюминия и дюралюминия в сочетании с какими-либо другими металлами и сплавами.

Кроме материалов, перечисленных в табл. 6, могут быть также сварены: никель — вольфрам, никель — молибден, никель — платинит, вольфрам — молибден, медь — платинит, медь — латунь, медь — константан и т. д. [19], а также томпак Л90 (никелированный) с серебряной медью, хромель с копелем и др.

Рассматривая технологические возможности точечной конденсаторной сварки, следует иметь в виду, что при значительной ее универсальности все же имеет место ограниченная и неудовлетворительная свариваемость металлов малых толщин некоторых марок. Установлено, что свариваемость стали ухудшается с повышением содержания в ней углерода и становится неудовлетворительной, если оно превышает 0,10—0,15%. Неудовлетворительные по прочности соединения также дает конденсаторная сварка латуней, содержащих свинец (например, марки ЛС 59-1 и др.). Это объясняется тем, что входящий в состав латуней свинец (до 0,8—1,2%) не образует твердых растворов с медью и при нагреве выше температуры его плавления между зернами сплава появляются прослойки жидкого свинца, вызывающие разрушение сварной точки. Вероятно, по этой же причине на конденсаторных машинах неудовлетворительно сваривается латунь ЛС 59-1 с малоуглеродистой сталью нескольких марок и некоторыми другими металлами.

Возможности конденсаторной сварки не исчерпываются приведенными выше данными, поэтому дальнейшие исследования и результаты внедрения позволят более полно определить возможности этого способа сварки металлов малых толщин и установить закономерности свариваемости.

Технология точечной конденсаторной сварки некоторых цветных металлов и сталей малых толщин

Наиболее широко и подробно исследована на серийных конденсаторных машинах ТКМ-4, а также некоторых других типах точечная сварка металлов малых толщин следующих марок: 1) медных сплавов — латуни Л62, оловянно-фосфористой бронзы Бр. ОФ 6,5-0,4 и нейзильбера НМЦ 65-20; 2) алюминия АЗ и алюминиевых сплавов — дюралюминия и силумина; 3) стали марки Ст. 3, стали 10 и нержавеющей стали 18-8, а также некоторых других марок.

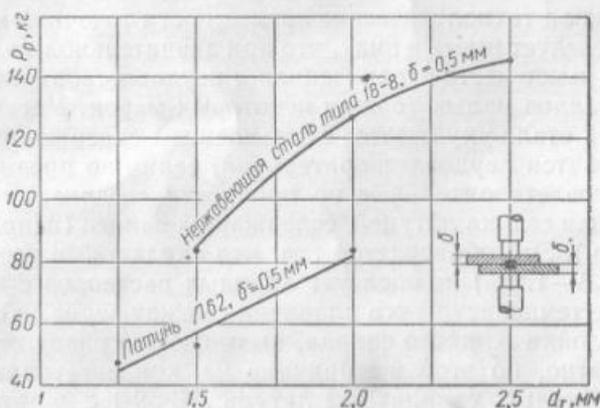
Для большинства из перечисленных выше марок металла ниже приводятся таблицы режимов точечной конденсаторной сварки. При пользовании этими таблицами следует иметь в виду, что все режимы сварки подобраны опытным путем, причем диаметр электродного контакта d , и коэффициент трансформации сварочного трансформатора k для всех толщин металла данной марки оставлены неизменными,

а усилие сжатия электродов P_p , подобрано одинаковым для некоторых узких диапазонов толщин.

Исследованиями установлено, что при точечной конденсаторной сварке металлов малых толщин (до 0,5 мм) электродами с неизменным d_s , равным 2 мм, диаметр сварных точек d_T равен 0,5—1,5 мм, т. е. имеет место зависимость:

$$d_T \approx 2k_s, \quad (44)$$

где коэффициент толщины $k_s \approx 0,25 - 0,75$ (большее значение соответствует толщине металла 0,5 мм, а меньшее — 0,05—0,1 мм).



Фиг. 51. Зависимость разрывного усилия на точку P_p от диаметра точки d_T при конденсаторной сварке металлов малых толщин на разных типах машин.

При точечной конденсаторной сварке металлов малых толщин ширина нахлестки, как правило, должна превышать не менее чем на 0,8—1 мм диаметр рабочей части электрода.

В зависимости от диаметра электродного контакта и накопленной в конденсаторах энергии одни и те же толщины металлов могут быть сварены точками разных диаметров d_{T1} , в результате чего их прочность получается неодинаковой. Возрастающая зависимость величины разрывного усилия на точку P_p от ее диаметра d_T при сварке двух марок металлов толщиной 0,5 мм показана на фиг. 51.

Практически при конденсаторной сварке металла толщиной около 0,5 мм на машинах ТКМ-4 оптимальные значения диаметров точек лежат в пределах 1,2—1,5 мм, а при сварке толщин 0,5—0,8 мм на машинах ТКМ-6 — в пределах 2,5—3 мм. При этом прочность точек, как правило, во много раз превышает конструктивно необходимую прочность сварного соединения из металлов малых толщин.

Изложенное указывает на то, что при выборе d_s для сварки конкретного изделия должны учитываться требования к его прочности, формула (21) и максимальное количество энергии, которое может быть накоплено в конденсаторной машине.

Необходимо также учитывать, что все установленные режимы на разных типах конденсаторных машин являются ориентировочными и должны корректироваться в зависимости от ряда указанных выше факторов, которые необходимо учитывать при подборе режима сварки конкретного изделия.

Сварка латуней марок Л62 и Л80. Известно, что контактную сварку латуней необходимо производить на жестких режимах, что обусловлено наличием в них большого количества цинка, имеющего низкую температуру кипения. Однако сварка латуней на жестких режимах ведет к потреблению значительной мощности. Например, средняя потребляемая мощность при точечной сварке латуни Л62 толщиной 0,5 + 0,5 мм на однофазных машинах составляет 20—60 *кв* [10]. В то же время автором установлено, что при конденсаторной сварке латуни Л62 такой же толщины на машине типа ТКМ-4 высокопрочные соединения получаются при средней потребляемой мощности около 0,1 *кв*.

Таблица 7

Режимы точечной конденсаторной сварки латуни Л62 на машине ТКМ-4

Толщина свариваемого материала δ_2 , мм	Толщина свариваемого материала δ_1 , мм											
	0,02	0,05	0,07	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
	Потребная емкость конденсаторов C_p , мкф											
0,02	30	40	40	50	50	60	60	70	70	70	80	80
0,05	40	50	60	70	70	80	90	90	90	90	100	100
0,07	40	60	60	70	80	80	90	100	100	100	110	110
0,1	50	70	70	90	90	100	110	100	120	120	130	130
0,15	50	70	80	90	110	110	130	130	130	140	140	140
0,2	60	80	90	100	110	130	140	140	140	150	150	150
0,25	60	90	90	110	130	140	160	170	170	180	190	200
0,3	70	90	100	110	130	140	170	180	190	200	220	230
0,35	70	90	100	120	130	140	170	190	210	220	230	250
0,4	70	90	100	120	140	150	180	200	220	250	260	280
0,45	80	100	110	130	140	150	190	220	230	260	280	300
0,5	80	100	110	130	140	150	200	230	250	280	300	320

Коэффициент трансформации $k = 100 - 125$. Напряжение зарядки конденсаторов $U_c = 580 - 600$ в. Материал электродов—твердотяннутая медь М1, кадмиевая медь, хромоцинкавая бронза и хромистая медь. Диаметр рабочей части электродов $d_3 = 2,0$ мм.

Усилие на электродах выбирать по таким данным:

Толщина материала δ_2 , мм	Толщина материала δ_1 , мм			
	0,02—0,1	0,15—0,2	0,25—0,35	0,4—0,5
	Усилие на электродах P_3 , кг			
0,02—0,1	5	5	7	10
0,15—0,2	5	7	10	10
0,25—0,35	7	10	10	12
0,4—0,5	10	10	11	12

Режимы точечной конденсаторной сварки латуни Л62 малых толщин на машине ТКМ-4 приведены в табл. 7, а на машинах МТК-2 и ПТКМ-1 — в табл. 8 и 9.

Таблица 8

Режимы точечной конденсаторной сварки латуни Л62 на машине МТК-2 и их результаты

Толщина свариваемого материала δ_1 , мм	Режим сварки						Средняя разрывная нагрузка на точку P_p , кг	Диаметр литого ядра точки, мм	Высота литого ядра точки, мм
	напряжение зарядки конденсаторов U_c , в	потребная емкость конденсаторов C_p , мкф	коэффициент трансформации k	усилие сжатия электродов P_s , кг	материал электродов и их диаметр d_3				
0,1+0,1	500	100	75	4,5	Медь 2 мм	4,8	0,5	0,1	
0,3+0,3	500	400	50	12	»	24	1,2	0,3	

Таблица 9

Режимы точечной конденсаторной сварки латуни Л62 на машине ПТКМ-1

Толщина свариваемой латуни δ_2 , мм	Толщина свариваемой латуни δ_1 , мм						
	0,02	0,03	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3
	Потребная емкость конденсаторов C_p , мкф						
0,02	30	30	40	40	50	50	50
0,03	30	40	40	40	50	60	60
0,05	40	40	100	110	120	130	140
0,1	40	50	110	150	160	170	180
0,15	50	50	120	160	280	240	260
0,2	50	60	130	170	240	300	330
0,3	50	60	140	180	260	330	450

Коэффициент трансформации $k=30$. Напряжение зарядки конденсаторов $U_c = 450 \text{ в} \pm 5\%$.
 Материал электродов—твердотяннутая медь М1, кадмиевая медь, хромоциниковая бронза и хромистая медь. Диаметр электродного контакта $d_3 = 1,75$ мм. Усилие сжатия электродов 3—8 кг.

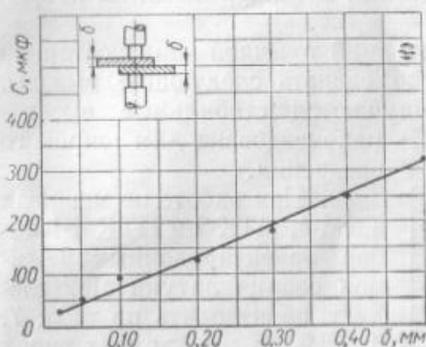
На основании анализа данных табл. 7 и аналогичных ей (приведены ниже) можно установить следующие закономерности, наблюдаемые при точечной конденсаторной сварке любых марок металлов:

1. При равных толщинах свариваемых металлов ($\delta_1 = \delta_2$) потребная емкость конденсаторов возрастает с увеличением толщины (фиг. 52).

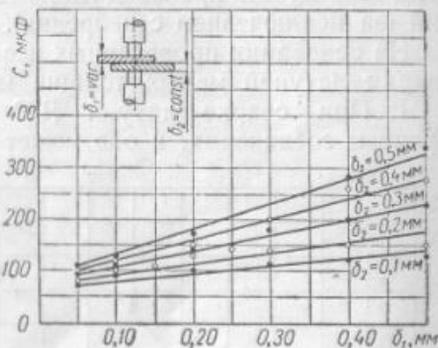
2. При сварке металлов различной толщины ($\delta_1 \neq \delta_2$) потребная емкость конденсаторов растет не только с увеличением меньшей толщины металла, но также и большей (фиг. 53), что отчасти может быть объяснено увеличением сопротивления столбика металла по пути сварочного тока.

Испытания на разрыв образцов из латуни Л62, сваренных на режимах, указанных в табл. 7, показывают высокую прочность сварных

точек. На результатах этих испытаний построена зависимость разрывного усилия на точку P_p от толщины δ свариваемой латуни Л62 (фиг. 54).



Фиг. 52. Зависимость потребной емкости C от равных толщин δ латуни Л62, свариваемой на машине ТКМ-4.



Фиг. 53. Зависимость потребной емкости C от неравных толщин δ_1 и δ_2 латуни Л62, свариваемой на машине ТКМ-4.

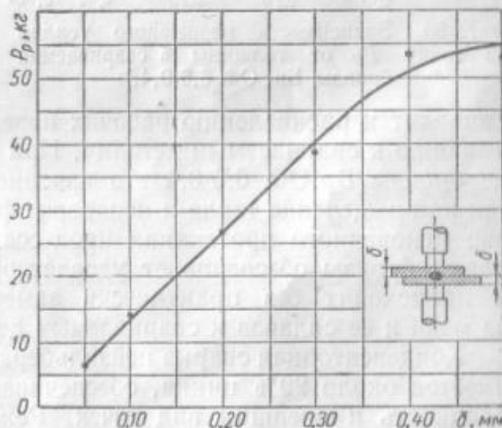
Следует отметить, что при сварке латуни Л62 наблюдается высокая стабильность прочности точек (максимальные отклонения обычно не превышают $\pm 5\%$).

Точечная конденсаторная сварка латуни Л80 дает вполне прочные соединения, но требует несколько больших режимов по емкости (табл. 7), чем латунь Л62.

В процессе исследования конденсаторной сварки латуни Л62 проверена ее свариваемость при наличии двусторонних антикоррозионных покрытий после хромирования, никелирования, лужения и серебрения.

Установлено, что невозможно достигнуть прочных сварных соединений из латуни Л62 без частичного или полного разрушения антикоррозионных покрытий. При этом на поверхности сварных образцов наблюдаются ясно видимые следы от прилипания электродов с нарушением покрытий.

При сварке образцов из никелированной латуни Л62 получаются довольно прочные соединения, однако при этом на поверхности образцов образуются значительные вмятины. Опыты по конденсаторной



Фиг. 54. Зависимость разрывного усилия на точку P_p от толщины δ свариваемой латуни Л62.

сварке латуни Л62, покрытой серебром, показали вполне удовлетворительные результаты.

Таким образом, точечную конденсаторную сварку деталей из латуни Л62 нужно производить до нанесения антикоррозионных покрытий (за исключением серебрения).

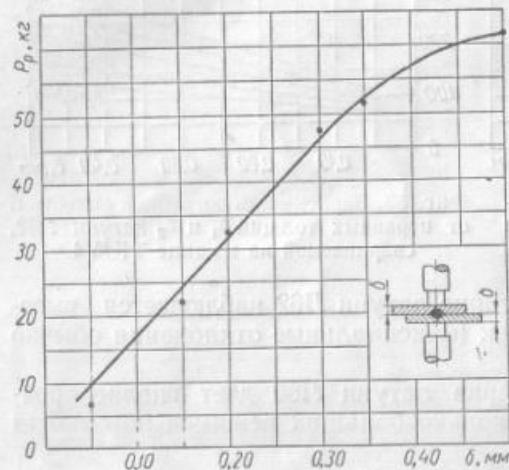
На основании проведенных исследований точечной конденсаторной сварки латуни малых толщин можно сделать следующие выводы.

1. При сварке латуни Л62 получаются стабильные высокопрочные соединения, и она может быть рекомендована для широкого внедрения.

2. При работе на машинах ТКМ-4, МТК-2 и ПТКМ-1 выбор ориентировочных режимов сварки латуни Л62 следует производить по табл. 7, 8 и 9, а на других типах машин — на основании опытных данных.

3. Сварка латуни Л62 с антикоррозионными покрытиями получается неудовлетворительной и практически может быть рекомендована только с серебрением.

Сварка бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 и нейзильбера НМЦ 65-20. Наличие в бронзе фосфора, который при контактной сварке улетучивается,



Фиг. 55. Зависимость разрывного усилия на точку P_p от толщины δ свариваемой бронзы Бр. ОФ 6,5-0,4.

приводит к раскислению рабочих поверхностей электродов и их прилипанию к свариваемым деталям. При точечной конденсаторной сварке бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 это явление практически не имеет места, так как выделение тепла и испарение фосфора незначительны вследствие мгновенного протекания процесса. Конденсаторная сварка этой марки бронзы обеспечивает удовлетворительный внешний вид точек и происходит без практически заметного прилипания электродов из меди и ее сплавов к свариваемым деталям.

Конденсаторная сварка нейзильбера НМЦ 65-20, в составе которого имеется около 20% цинка, обеспечивает вполне удовлетворительную прочность и внешний вид точек. Режимы точечной конденсаторной сварки бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 малых толщин на машине ТКМ-4 приведены в табл. 10, а на машине ПТКМ-1 — в табл. 11. Испытания на разрыв образцов из бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4, сваренных на этих режимах, показывают высокую стабильность прочности точек. Разрушение сварных соединений происходит при вязком срезе точек, а иногда и при вырыве. По результатам испытаний образцов, сваренных по режимам (табл. 10), построена зависимость $P_p = f(\delta)$, показанная на фиг. 55.

Таблица 10

Режимы точечной конденсаторной сварки бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 на машине ТКМ-4

Толщина свариваемой бронзы δ_2 , мм	Толщина свариваемой бронзы δ_1 , мм									
	0,05	0,10	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
	Потребная емкость конденсаторов C_p , мкФ									
0,05	30	30	40	50	50	60	60	70	70	80
0,10	30	30	60	70	70	80	80	90	90	110
0,15	40	60	60	80	90	100	100	110	110	130
0,2	50	70	80	100	120	120	130	130	140	150
0,25	50	70	90	120	140	150	170	180	190	190
0,3	60	80	100	120	150	160	180	200	210	210
0,35	60	80	100	130	170	180	200	210	220	230
0,4	70	90	110	130	180	190	210	230	240	250
0,45	70	90	110	140	190	210	220	230	250	270
0,5	80	100	130	150	190	210	230	250	270	290

Коэффициент трансформации $k = 100$. Напряжение зарядки конденсаторов $U_c^* = 600 \text{ в} \pm 5\%$.
 Материал электродов—твердотяннутая медь М1, кадмиевая медь, хромцинкавая бронза и хромистая медь. Диаметр электродного контакта $d_s = 2 \text{ мм}$.

Усилие сжатия электродов выбирать по таким данным:

Толщина бронзы δ_2 , мм	Толщина бронзы δ_1 , мм		
	0,05—0,15	0,2—0,3	0,35—0,5
	Усилие сжатия электродов, кг		
0,05—0,15	7	8	9
0,2—0,3	7	10	10
0,35—0,5	9	10	12

Таблица 11

Режимы точечной конденсаторной сварки бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 на машине ПТКМ-1

Толщина свариваемой латуни δ_2 , мм	Толщина свариваемой латуни δ_1 , мм					
	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3
	Потребная емкость конденсаторов C_p , мкФ					
0,02	20	30	30	40	40	40
0,05	30	80	90	100	110	120
0,1	30	90	140	150	160	170
0,15	40	100	150	200	220	240
0,2	40	110	160	220	280	300
0,3	40	120	170	240	300	400

Коэффициент трансформации $k = 30$. Напряжение зарядки конденсаторов $U_c = 450 \text{ в} \pm 5\%$.
 Материал электродов—твердотяннутая медь М1, кадмиевая медь, хромцинкавая бронза и хромистая медь. Диаметр электродного контакта $d_s = 1,75 \text{ мм}$. Усилие сжатия электродов 3—8 кг.

Положительные результаты при исследовании конденсаторной сварки бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 с разными антикоррозионными покрытиями получились только после ее серебрения (фиг. 56,а), чего невозможно достичь при сварке на однофазных машинах (фиг. 56,б). Однако конденсаторную сварку деталей из бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4

следует производить до нанесения на их поверхности антикоррозионных покрытий.

Точечная конденсаторная сварка нейзильбера НМЦ 65-20 исследована только для толщин $0,1 + 0,1$ мм; $0,2 + 0,2$ мм; $0,3 + 0,3$ мм и $0,5 + 0,5$ мм. Режимы сварки указанных толщин приведены в табл. 12. Испытания на разрыв сварных образцов (табл. 13) показывают высокую прочность точек.

Проведенные исследования точечной конденсаторной сварки бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 и нейзильбера НМЦ 65-20 дают основание сделать следующие выводы.

1. Сварка бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 и нейзильбера НМЦ 65-20 стабильна и вполне удовлетворительна, обеспечивает высокопрочные соединения,



Фиг. 56. Следы от прохождения тока при сварке серебряной бронзы Бр. ОФ 6,5-0,4 толщиной $0,25 + 0,25$ мм:

а — на машине ТКМ-4 (слой серебрения не разрушается);
б — на однофазной машине с электромагнитным контактором (полное разрушение слоя серебрения).

поэтому ее можно рекомендовать для широкого внедрения.

2. При работе на точечных конденсаторных машинах ТКМ-4, ПТКМ-1 выбор режимов сварки бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 следует производить согласно табл. 10 и 11, а нейзильбера НМЦ 65-20 — табл. 12. В случае работы на машинах других типов режим сварки следует устанавливать опытным путем.

3. Сварка бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 с серебрением обеспечивает высокопрочные сварные соединения без наблюдаемого визуального разрушения антикоррозионного слоя.

Сварка алюминия и его сплавов. Специфичность и трудность контактной сварки алюминия и его сплавов достаточно хорошо известны. Наличие на их поверхности оксидной пленки Al_2O_3 непостоянной

толщины является главной причиной плохой стабильности сварки. Поэтому перед сваркой оксидную пленку необходимо удалять механическим или химическим путем [10].

Таблица 12

Режимы точечной конденсаторной сварки нейзильбера НМЦ 65-20 на машине ТКМ-4

($U_c = 600$ в, $k = 100$, $d_p = 2$ мм — для обоих электродов; без зачистки,) с обезжириванием ацетоном)

Толщина свариваемого металла δ_1 , мм	Режимы сварки	
	C_p , мкФ	F_p , кг
0,1 + 0,1	120	8,5
0,2 + 0,2	180	10
0,3 + 0,3	290	12
0,5 + 0,5	350	15
0,1 + 0,5	150	11
0,2 + 0,5	200	12,5
0,3 + 0,5	320	14
0,1 + 0,3	130	10
0,2 + 0,3	190	12
0,1 + 0,2	130	9,5

Таблица 13

Результаты испытаний на разрыв сварных образцов из нейзильбера НМЦ 65-20 толщиной 0,1—0,5 мм

(сваренных на машине ТКМ-4 на режимах, указанных в табл. 12)

Толщина сварных образцов δ_1 , мм	Количество испытанных образцов, шт.	Среднее разрывное усилие на точку F_p , кг
0,1 + 0,1	10	12,7
0,2 + 0,2	10	24,8
0,3 + 0,3	10	52,0
0,5 + 0,5	10	68,5
0,1 + 0,5	10	13,5
0,2 + 0,5	10	26,4
0,3 + 0,5	10	54,6
0,1 + 0,3	10	13,0
0,2 + 0,3	10	26,0
0,1 + 0,2	10	12,9

Практика контактной сварки алюминиевых сплавов указывает на необходимость применения жестких режимов с минимальной зоной термического влияния, что позволяет сохранить прочностные и антикоррозионные свойства свариваемых материалов, упрочненных перед сваркой путем наклепа или термической обработки.

Исследованиями установлено [40], что конденсаторная сварка алюминия и его сплавов благодаря большой скорости протекания процесса может обеспечить высококачественные соединения, но для этого необходимо постоянство сопротивления на поверхности свариваемых изделий.

В настоящее время на машинах ТКМ-4 исследована точечная конденсаторная сварка алюминия и его сплавов (дюралюминия Д16Т и силумина АЛ2) толщиной от 0,1 до 0,5 мм. Установлена возможность получения прочных соединений не только при сварке этих материалов

между собой, но и некоторых их сочетаний (алюминий А3 с дюралюминием Д16Т, алюминий А3 с силумином АЛ2).

Опыт показывает, что обезжиривание поверхностей свариваемых деталей ацетоном или бензином повышает прочность точки при конденсаторной сварке примерно до 10%, а также стабилизирует самый процесс сварки. Зачистка образцов со стороны примыкания электродов повышает прочность точки примерно на 20% (по сравнению с незачищенными образцами)

и в еще большей степени стабилизирует процесс сварки.

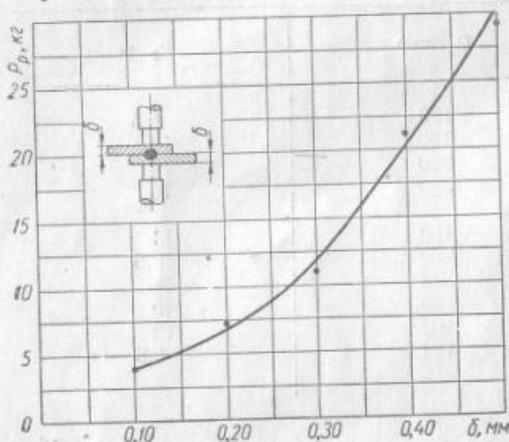
Зачистка образцов в контакте между ними дает отрицательные результаты, так как снижает контактное сопротивление между свариваемыми деталями, а также значительно уменьшает прочность точки вследствие незначительной аккумулированной энергии в маломощных конденсаторных машинах.

Поэтому при точечной конденсаторной сварке алюминия и его сплавов малых толщин зачистку деталей рекомендуется производить только со стороны примыкания электродов и обезжиривать детали с обеих сторон.

Режимы точечной конденсаторной сварки алюминия А3 толщиной от 0,1 до 0,5 мм приведены в табл. 14.

Результаты испытаний на разрыв сварных образцов (фиг. 57) показывают достаточно высокую прочность точки. Однако нестабильность толщины оксидной пленки вызывает значительные отклонения разрушающей нагрузки на точку от среднего значения в таких пределах:

$$\frac{P_{p \max}}{P_{p \min}} \approx 2 \div 3,$$



Фиг. 57. Зависимость разрывного усилия на точку P_p от толщины δ свариваемого алюминия А3.

где $P_{p \max}$ — максимальное значение разрушающей нагрузки на точку;
 $P_{p \min}$ — минимальное значение разрушающей нагрузки на точку.

Таблица 14

Режимы точечной конденсаторной сварки алюминия АЗ
на машине ТКМ-4

($U_c = 300$ в; $k = 75$; $d_s = 2$ мм — для обоих электродов; зачистка со стороны электродов и обезжиривание ацетоном)

Толщина свариваемого металла δ_i , мм	Режимы сварки	
	C_p , мкФ	P_p , кВ
0,1 + 0,1	50	11
0,2 + 0,2	130	15
0,3 + 0,3	200	18,5
0,4 + 0,4	260	20
0,5 + 0,5	360	23,5
0,1 + 0,5	70	12
0,2 + 0,5	160	17
0,3 + 0,5	220	20,5
0,4 + 0,5	300	23
0,1 + 0,4	60	11,5
0,2 + 0,4	140	16
0,3 + 0,4	210	19,5
0,1 + 0,3	60	11,5
0,2 + 0,3	140	15
0,1 + 0,2	60	11

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Сварка алюминия и его сплавов — дюралюминия Д16Т и силумина АЛ2, а также некоторых их сочетаний, получается удовлетворительной, обеспечивает достаточно высокую прочность соединений и может быть рекомендована для внедрения.

2. При работе на машинах ТКМ-4 выбор режимов сварки алюминия АЗ можно производить по табл. 14, а при сварке других марок металла и работе на машинах иных типов — по опытным данным.

3. При сварке алюминия и его сплавов усилие сжатия электродов должно быть в полтора — два раза больше, чем при сварке латуни Л62 такой же толщины.

4. Зачищать свариваемые детали рекомендуется со стороны электродов, а обезжиривать — с обеих сторон.

5. Стабильность сварки получается невысокой из-за неравномерности толщины оксидной пленки на поверхности свариваемых материалов.

Сварка сталей разных марок. В процессе исследований установлено, что сталь марки Ст.3, сталь 10 и нержавеющей стали типа 18-8 при конденсаторной сварке дают прочные соединения (последнее также подтверждается исследованиями их структур, см. гл. VI). Особенности этого способа — мгновенный процесс сварки при быстром охлаждении

деталей между сжатыми электродами — создают ядро точки с минимальной зоной влияния, окруженной основным металлом с неизменившейся структурой.

При конденсаторной сварке сталей с содержанием углерода более 0,3% не удается получить прочные соединения из-за хрупкости точек. Это объясняется известными положениями об ухудшении свариваемости сталей с повышением содержания углерода и недопустимости применения жестких режимов при сварке закаливаемых сталей.

Ориентировочные режимы точечной конденсаторной сварки стали 10 толщиной от 0,1 до 0,5 мм приведены в табл. 15.

Таблица 15

Режимы точечной конденсаторной сварки стали 10 на машине ТКМ-4

Толщина свариваемого материала δ_2 , мм	Толщина свариваемого материала δ_1 , мм								
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
	Потребная емкость конденсаторов C_p , мкф								
0,1	40	60	80	90	110	120	130	140	150
0,15	60	70	80	90	120	130	140	150	160
0,2	80	80	90	110	130	140	150	170	180
0,25	90	90	110	120	140	160	160	180	190
0,3	110	120	130	140	150	170	180	190	210
0,35	120	130	140	160	170	180	190	200	230
0,4	130	140	150	160	180	190	210	220	240
0,45	140	150	170	180	190	200	220	240	260
0,5	150	160	180	190	210	230	240	260	280

Коэффициент трансформации — $k = 75 - 100$. Напряжение зарядки конденсаторов $U_c = 580 - 600$ в. Материал электродов — твердотяннутая медь М1, кадмиевая медь, хромоникелевая бронза и хромистая медь. Диаметр рабочей части электродов — $d_2 = 2,0$ мм.

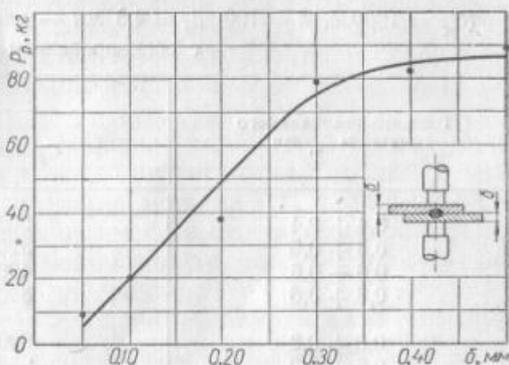
Усилие на электродах выбирать по таким данным:

Толщина материала δ_2 , мм	Толщина материала δ_1 , мм	
	0,1 — 0,2	0,25 — 0,5
	Усилие на электродах, кг	
0,1 — 0,2	10	12
0,25 — 0,5	12	12

Прочность сварных точек на стали 10 довольно высока, о чем свидетельствует зависимость $P_p = f(\delta)$ для этой марки стали (фиг. 58), построенная по результатам испытаний на разрыв сварных образцов.

Высокопрочные и качественные соединения получаются при точечной конденсаторной сварке нержавеющей стали 18-8 и близких к ней марок. Это обеспечивается жесткими режимами, которые для сварки нержавеющей сталей являются наиболее оптимальными [10].

Режимы точечной конденсаторной сварки нержавеющей стали 18-8 на машинах ТКМ-4 и ТКМ-6 приведены в табл. 16 и 17. Данные таблиц показывают, что некоторые одинаковые толщины стали 18-8 на машинах ТКМ-4 и ТКМ-6 свариваются на разных режимах (в основном по емкости, диаметру электродного контакта и усилию сжатия). Это обусловлено различием конструкций механизмов сжатия машин ТКМ-4 и ТКМ-6, а также использованием в последней электродов с большим, чем в ТКМ-4, диаметром электродного контакта.



Фиг. 58. Зависимость разрывного усилия на точку P_p от толщины δ свариваемой стали 10.

Результаты испытаний на разрыв сварных образцов из стали 18-8, сваренных на машинах ТКМ-4 и ТКМ-6, приведены в табл. 18 и 19, из которых также видно, что благодаря разным d_s прочность точек на равных толщинах этой стали, сваренных на машинах разных типов, получается неодинаковой. Это лишнее раз показывает, что регулированием величины d_s и других параметров конденсаторной сварки можно часто получить требуемую прочность точек.

Таблица 16

Режимы точечной конденсаторной сварки аустенитной стали типа 18-8 на машине ТКМ-4

($U_c = 600$ в; $k = 75 - 100$; $d_s = 2$ мм — для обоих электродов; без зачистки; с обезжириванием ацетоном)

Толщина свариваемого металла δ_2 , мм	Режимы сварки	
	C_p , мкф	P_p , кг
0,05 + 0,05	20	3,0
0,1 + 0,1	40	5,5
0,15 + 0,15	50	7,0
0,2 + 0,2	80	9,0
0,3 + 0,3	130	10,5
0,4 + 0,4	180	13,5
0,5 + 0,5	250	16,0

Относительно точечной конденсаторной сварки сталей малых толщин можно сделать следующие выводы.

1. Сварка стали марки Ст. 3, стали 10 и нержавеющей сталей типа 18-8 стабильна, обеспечивает высокопрочные соединения и может быть рекомендована для широкого внедрения.

Таблица 17

Режимы точечной конденсаторной сварки аустенитной стали типа 18-8
на машине ТКМ-6

($U_c = 1000$ в, $k = 100$; $d_g = 4,5$ мм — для обоих электродов; без зачистки, с обезжириванием ацетоном)

Толщина свариваемого металла δ_1 , мм	Режимы сварки	
	C_p , мкФ	P_p , кг
0,4 + 0,4	200	30
0,5 + 0,5	320	35
0,6 + 0,6	400	40
0,8 + 0,8	800	45
0,6 + 0,8	600	52
0,6 + 2,0	950	58
0,6 + 3,0	1000	58

Таблица 18

Результаты испытаний на разрыв сварных образцов из аустенитной стали типа 18-8

(сваренных на машине ТКМ-4 на режимах, указанных в табл. 16)

Толщина сварных образцов δ_1 , мм	Количество испытанных образцов, шт.	Среднее разрывное усилие на точку P_p , кг
0,05 + 0,05	20	12,0
0,1 + 0,1	20	21,0
0,2 + 0,2	20	36,5
0,25 + 0,25	50	47,5
0,4 + 0,4	25	69,0
0,5 + 0,5	20	78,5

Таблица 19

Результаты испытаний на разрыв сварных образцов из аустенитной стали типа 18-8

(сваренных на машине ТКМ-6 на режимах, указанных в табл. 17)

Толщина сварных образцов δ_1 , мм	Количество испытанных образцов, шт.	Среднее разрывное усилие на точку P_p , кг
0,4 + 0,4	15	145,5
0,5 + 0,5	20	192,0
0,6 + 0,6	25	238,0
0,8 + 0,8	15	252,5

2. При работе на точечных конденсаторных машинах ТКМ-4 выбор режимов сварки стали 10 и нержавеющей стали 18-8 следует производить по табл. 15 и 16, а при сварке стали 18-8 на машине ТКМ-6 — по табл. 17. Сварку сталей иных марок и при работе на других типах машин следует вести на режимах по опытным данным.

3. Конденсаторная сварка сталей с повышенным содержанием углерода не обеспечивает прочных соединений и не может быть рекомендована.

Сварка никеля и его сплавов. Никель и многие его сплавы малых толщин хорошо свариваются на конденсаторных машинах между собой, а также с рядом других марок металла (см. табл. 6). Сварные соединения из никеля и его сплавов имеют высокую прочность и хороший внешний вид, что позволяет рекомендовать конденсаторную сварку этих материалов для широкого внедрения.

Режимы точечной сварки никеля на машине ТКМ-4 приведены в табл. 20.

Таблица 20

Режимы точечной конденсаторной сварки никеля на машине ТКМ-4

($U_c = 600$ в, $k = 100$, $d_g = 2$ мм—для обоих электродов, без зачистки, с обезжириванием ацетоном)

Толщина свариваемого металла δ_i , мм	Режимы сварки	
	C_p , мкФ	P_p , кг
0,05 + 0,05	20	1,5
0,1 + 0,1	50	2,5
0,15 + 0,15	70	4,0
0,25 + 0,25	120	6,5

Сварка серебра. Чистое серебро широко применяется в приборостроении и служит для изготовления контактов, лепестков, отводов и т. д., которые обычно крепятся разными механическими способами и пайкой к деталям из других материалов (латуни, бронзы и др.). Однако иногда требуется сваривать между собой детали из чистого серебра. Как показали исследования, конденсаторная сварка обеспечивает качественное соединение не только серебра с серебром, но также с рядом других марок металлов малых толщин (см. табл. 6). Поэтому конденсаторная сварка серебра рекомендуется для внедрения, причем для рабочих концов электродов следует применять медные сплавы, вольфрам и молибден.

Режимы точечной конденсаторной сварки серебра на машине ТКМ-4 приведены в табл. 21.

Стабильность точечной конденсаторной сварки

Конденсаторная сварка, при которой имеется возможность точно дозировать количество электрической энергии, отличается высокой стабильностью. Практически наблюдающиеся небольшие отклонения

Режимы точечной конденсаторной сварки серебра на машине ТКМ-4
 ($U_c = 600$ в, $k = 125$, $d_э = 2$ мм — для обоих электродов, без зачистки,
 с обезжириванием ацетоном)

Толщина свариваемого металла δ , мм	Режимы сварки	
	C_p , мкф	$P_э$, кг
0,1 + 0,1	60	4,0
0,2 + 0,2	120	5,5
0,25 + 0,25	190	8,0
0,4 + 0,4	300	9,5

в прочности сварных точек от среднего значения разрывного усилия, объясняются неодинаковым состоянием поверхностей деталей, разной толщиной оксидных пленок на них, некоторыми изменениями в процессе сварки состояния контактных поверхностей электродов, колебаниями в толщине свариваемых металлов и т. д.

Исследования стабильности конденсаторной сварки проведены [40] для металлов малых толщин нескольких марок (сталь 10, бронза Бр. ОФ 6,5-0,4, латунь Л62 и нержавеющая сталь 18-8). Образцы из этих материалов по 50 шт. на каждую марку и толщину металла сваривались на машине ТКМ-4 одной точкой при оптимальном режиме, а затем производились механические испытания сварных образцов. По результатам этих испытаний построены частотные кривые (фиг. 59), которые показывают высокую стабильность точечной конденсаторной сварки металлов малых толщин.

Кривая 1 (фиг. 59,а) показывает, что при конденсаторной сварке оловянно-фосфористой бронзы Бр. ОФ 6,5-0,4 толщиной 0,1+0,1 мм образцы с разрывными усилиями на точку, близкими к 12,5 кг, составляют 18%; к 13,5 кг — 68% и к 14,5 кг — 14%. Таким образом, большинство сварных образцов имеют прочность, близкую к среднему значению разрывного усилия на точку из всей партии образцов (13,6 кг). При этом отклонения прочности от указанной величины составляют: для образца с максимальным разрывным усилием на точку (15 кг) — 10,3%, а для образца с минимальным разрывным усилием (12,1 кг) — 11%.

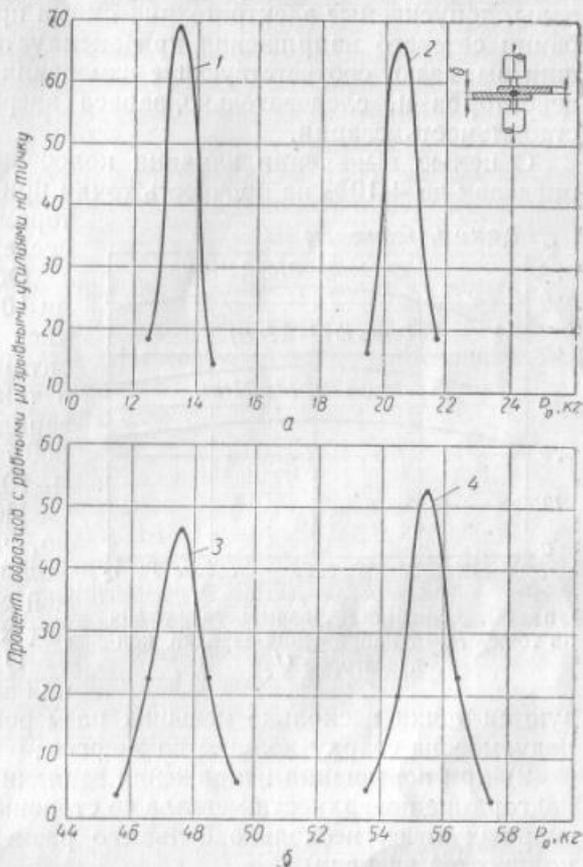
При сварке стали 10 толщиной 0,1 + 0,1 мм (кривая 2 на фиг. 59,а) образцы с разрывными усилиями на точку, близкими к 19,5 кг, составляют 16%; к 20,5 кг — 66% и к 21,5 кг — 18%. Таким образом, основная часть сварных образцов имеет прочность, близкую к среднему разрывному усилию на точку из всей партии образцов (которое равно 20,7 кг). При этом отклонения по прочности от указанной величины образцов с минимальным и максимальным разрывными усилиями составляют $\pm 6,3\%$, что указывает на высокую стабильность точечной конденсаторной сварки.

Результаты исследований стабильности точечной конденсаторной сварки нержавеющей стали 18-8 толщиной 0,25 + 0,25 мм характери-

зуются кривой 3 (фиг. 59,б). Образцы с разрывными усилиями на точку, близкими к 45,5 кг, составляют 4%; к 46,5 кг — 22%; к 47,5 кг — 46%; к 49,5 кг — 22% и 49,5 кг — 6%. Таким образом, основная часть образцов (90%) имеет прочность от 46,5 до 48,5 кг на точку, т. е. близкую к среднему разрывному усилию на точку на всей партии образцов (47,9 кг). Отклонение прочности от указанного среднего разрывного усилия для образцов с минимальным и максимальным разрывными усилиями составляют $\pm 4,4\%$, что также подтверждает высокую стабильность точечной конденсаторной сварки.

Кривая 4 (фиг. 59,б) характеризует стабильность точечной конденсаторной сварки латуни Л62 толщиной $0,4 + 0,4$ мм и показывает, что образцы с разрывными усилиями на точку, близкими к 53,5 кг, составляют 4%, к 54,5 кг — 20%; к 55,5 кг — 52%; к 56,5 кг — 22% и к 57,5 кг — 2%. В рассматриваемом случае основная часть образцов (94%) имеет прочность от 54,5 до 56,5 кг на одну точку, т. е. близкую к среднему разрывному усилию на точку из всей партии образцов (55,7 кг). При этом отклонения прочности от указанной средней величины составляют: для образца с минимальным разрывным усилием — 4,5%, а для образца с максимальным разрывным усилием — 3,2%.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать важный вывод о высокой стабильности точечной конденсаторной сварки металлов малых толщин разных марок. Очень часто это может иметь большое значение для выполнения ответственных неразъемных соединений.



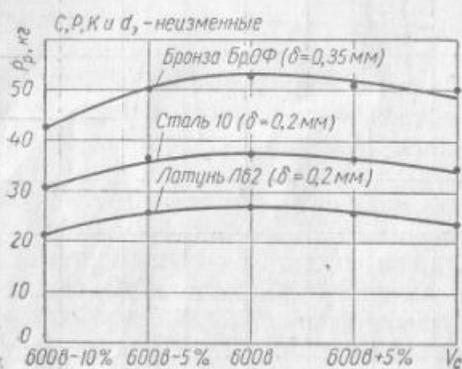
Фиг. 59. Частотные кривые для точечной конденсаторной сварки:

а — бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 толщиной $0,1 + 0,1$ мм (кривая 1) и стали 10 толщиной $0,1 + 0,1$ мм (кривая 2); б — нержавеющей стали 18-8 толщиной $0,25 + 0,25$ мм (кривая 3) и латуни Л62 толщиной $0,4 + 0,4$ мм (кривая 4).

Влияние колебаний сетевого напряжения на прочность сварных точек

Практически в силовых и осветительных электрических сетях всегда наблюдаются колебания напряжения, которые могут превышать пределы, допускаемые электротехническими правилами и нормами. Колебания сетевого напряжения при эксплуатации конденсаторных машин вызывают соответствующие изменения напряжения зарядки конденсаторов и, следовательно, запаса энергии в них, что нарушает стабильность сварки.

С целью выявления влияния колебаний сетевого напряжения в пределах до $\pm 10\%$ на прочность точки при конденсаторной сварке автором



Фиг. 60. Зависимость разрывного усилия на точку P_p от напряжения зарядки конденсаторов U_c .

проведены специальные исследования [40].

Образцы из латуни Л62, стали 10 и бронзы Бр.ОФ сваривались на машине ТКМ-4 (при оптимальных для них режимах) и таких значениях напряжения зарядки конденсаторов: 600 в; 600 в + 5%; 600 в - 5%; 600 в + 10% и 600 в - 10%.

Исследованиями установлено, что отклонения от оптимального режима конденсаторной сварки ($U_c = 600$ в) приводят к таким нарушениям:

- 1) при понижении напряжения зарядки конденсаторов образуются точки несколько меньших размеров, так как снижается расходуемое на сварку количество энергии;
- 2) при повышении напряжения зарядки конденсаторов происходят подгорание поверхности металла со стороны электродов и образование сварных точек несколько большего размера (благодаря увеличению количества энергии).

По результатам испытаний на разрыв сварных образцов построена зависимость разрывного усилия на точку P_p от напряжения зарядки конденсаторов U_c (фиг. 60), которая показывает, что во всех случаях наибольшая прочность сварной точки получается при номинальном напряжении зарядки конденсаторов (600 в).

Снижение прочности точки при отклонениях напряжения зарядки конденсаторов от номинального может быть объяснено:

- 1) при понижении напряжения — указанным выше образованием точек меньшего размера;
- 2) при повышении напряжения — подгоранием поверхности тонкого металла, которое не может полностью компенсировать увеличение прочности точки за счет некоторого роста ее размеров.

В результате внедрения точечной конденсаторной сварки установ-

лено, что колебания напряжения зарядки конденсаторов до $\pm 5\%$ не вызывают существенного снижения прочности сварных точек и в этих пределах они допустимы для сварки ответственных неразъемных соединений. Колебания напряжения зарядки конденсаторов в пределах до $\pm 10\%$ могут быть допущены для сварки менее ответственных изделий.

При наличии недопустимых колебаний сетевого напряжения необходимо устанавливать в цепи питания конденсаторных машин стабилизаторы напряжения соответствующей мощности (например, около 0,1 кВа для машины ТКМ-4). При этом следует учитывать, что машина ТКМ-7 имеет стабилизированное напряжение зарядки конденсаторов, поэтому может работать нормально при значительных колебаниях сетевого напряжения.

Влияние шунтирования тока на прочность сварных точек

Шунтирование тока, имеющее место при обычной сварке [8, 10, 11, 21, 28, 29], наблюдается и при точечной конденсаторной сварке металла малых толщин. Как известно, от этого явления прочность второй и следующих точек может заметно снижаться.

Распределение шунтирующего тока при точечной сварке (фиг. 61) происходит [28] по эквивалентной прямой полосе шириной h_n и толщиной δ , равной толщине свариваемого металла.

Тогда омическое сопротивление r_n указанной полосы на участке между двумя точками рассчитывается по такой формуле:

$$r_n = \frac{\rho l}{\delta h_n}, \quad (45)$$

где ρ — удельное сопротивление свариваемого металла;

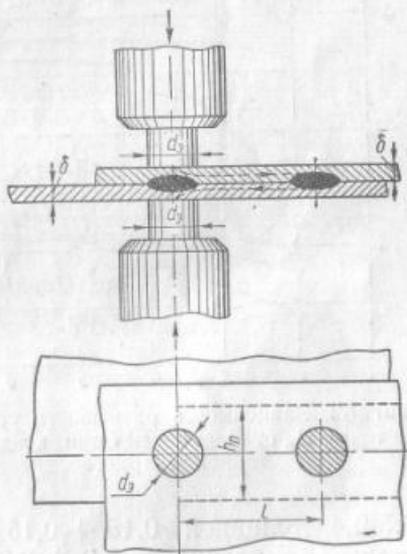
l — шаг точки (расстояние между их центрами);

δ — толщина свариваемой пластины.

Ширина эквивалентной полосы по К. А. Кочергину [28] определяется по формуле

$$h_n = \frac{\pi l}{\ln \frac{2l}{d_s}}, \quad (46)$$

где d_s — диаметр электродного контакта (принятый равным диаметру точки).



Фиг. 61. Схема шунтирования тока при точечной сварке.

Пренебрегая сопротивлением сварной точки, можно рассчитать омическое сопротивление металла между двумя точками для двух одинаковых пластин по такой формуле:

$$r_{ш} = \frac{2\rho l}{\delta h_n}. \quad (47)$$

Если подставить значение h_n из формулы (46) в выражение для $r_{ш}$ по формуле (47), то можно получить

$$r_{ш} = \frac{2\rho}{\pi\delta} \ln \frac{2l}{d_p}. \quad (48)$$

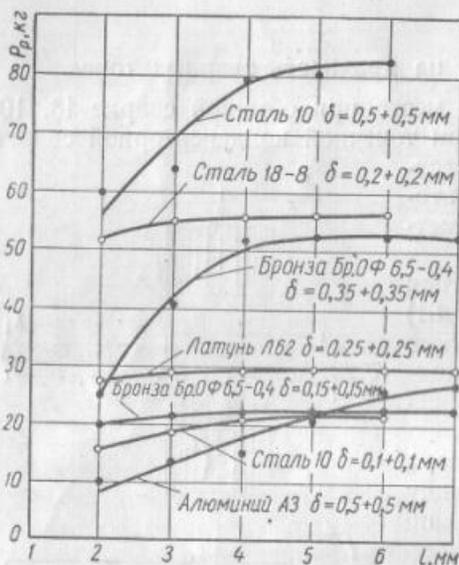
Из формулы (48) видно, что сопротивление $r_{ш}$ обратно пропорционально величинам δ и d_p (при $l = \text{const}$). Поэтому при точечной конденсаторной сварке металлов толщиной 0,5 мм и меньше, когда значения d_p близки к 2—2,5 мм, имеет место заметное увеличение сопротивления $r_{ш}$. Следовательно, шунтирование тока значительно меньше влияет на прочность точек, чем при обычной точечной сварке [10, 28], что позволяет производить конденсаторную сварку металлов малых толщин при небольшом шаге точек. Это имеет большое практическое значение при изготовлении мелких изделий, свариваемых двумя и более точками.

Исследование влияния шунтирования тока на прочность точки при конденсаторной сварке металлов малых толщин проведено автором на следующих материалах: латунь Л62 толщиной 0,25 + 0,25 мм, оловянно-фосфористая бронза Бр.ОФ 6,5-0,4 толщиной 0,15 + 0,15 мм и 0,35 + 0,35 мм; нержавеющая сталь 18-8 толщиной 0,2 + 0,2 мм; сталь 10 толщиной 0,1 + 0,1 мм и 0,5 + 0,5 мм, а также алюминий АЗ толщиной 0,5 + 0,5 мм.

По результатам испытаний на разрыв образцов точечной конденсаторной сварки при шунтировании тока построены зависимости разрывного усилия на точку P_p от шага точек l (фиг. 62).

В табл. 22 приводятся полученные из опыта данные для выбора наименьшего расстояния между центрами точек (шага точек) при конденсаторной сварке на машинах ТКМ. Если производить сварку с шагом точек равным или большим, чем рекомендует эта таблица, то с влиянием шунтирования тока на прочность точек можно практически не считаться.

В табл. 22 приводятся полученные из опыта данные для выбора наименьшего расстояния между центрами точек (шага точек) при конденсаторной сварке на машинах ТКМ. Если производить сварку с шагом точек равным или большим, чем рекомендует эта таблица, то с влиянием шунтирования тока на прочность точек можно практически не считаться.



Фиг. 62. Зависимость разрывного усилия на точку P_p от шага точек l при конденсаторной сварке.

6,5-0,4 толщиной 0,15 + 0,15 мм и 0,35 + 0,35 мм; нержавеющая сталь 18-8 толщиной 0,2 + 0,2 мм; сталь 10 толщиной 0,1 + 0,1 мм и 0,5 + 0,5 мм, а также алюминий АЗ толщиной 0,5 + 0,5 мм.

По результатам испытаний на разрыв образцов точечной конденсаторной сварки при шунтировании тока построены зависимости разрывного усилия на точку P_p от шага точек l (фиг. 62).

В табл. 22 приводятся полученные из опыта данные для выбора наименьшего расстояния между центрами точек (шага точек) при конденсаторной сварке на машинах ТКМ. Если производить сварку с шагом точек равным или большим, чем рекомендует эта таблица, то с влиянием шунтирования тока на прочность точек можно практически не считаться.

Наименьшие рекомендуемые расстояния между центрами точек при конденсаторной сварке на машинах типа ТКМ

Наименование свариваемых материалов	Количество деталей равных толщин в свариваемом пакете, шт.	Наименьший шаг точек l , мм							
		При толщине каждой из деталей, мм							
		до 0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Нихром, фехраль, хромель	2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	—	—
	3	1,5	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	—	—
Стали нержавеющей и малоуглеродистые, никель, пермаллой	2	1,5	2,0	2,5	3,5	4,5	5,5	7,0	8,5
	3	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,5	8,0	11,0
Латунь Л62, бронзы, мельхиор, нейзильбер	2	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,5	—	—
	3	2,0	2,5	3,5	5,0	6,0	8,0	—	—
Алюминий и дюралюминий	2	2,5	3,0	4,0	5,5	7,0	8,0	—	—
	3	3,0	4,0	5,5	7,5	10,0	12,0	—	—

Проведенные исследования позволяют сделать такие выводы:

1. Практически влияние шунтирования тока на прочность сказывается при таких шагах точек: $l \leq 3-5$ мм (для металлов разных марок толщиной до 0,35 мм и стали 10 толщиной 0,5 мм) и $l \leq 6$ мм (для алюминия А3 толщиной 0,5 мм). Эти предельные значения шага точек рекомендуются как минимально допустимые при многоточечной конденсаторной сварке ответственных изделий из металлов исследованных марок.

2. При сварке металлов влияние шунтирования тока на прочность точки тем больше, чем выше их электропроводность.

3. С увеличением толщины свариваемых металлов влияние шунтирования тока на прочность точки возрастает.

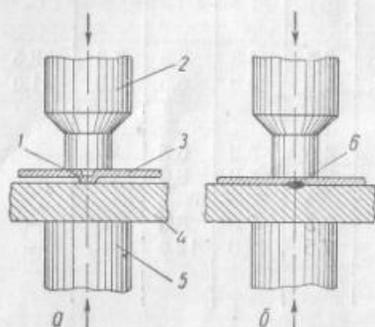
Технология точечной конденсаторной сварки металлов неравных толщин

Основные положения. Практика внедрения точечной контактной сварки на однофазных машинах показывает, что при отношении толщин деталей в пределах до 1 : 3 и более она затруднительна и даже невозможна [10]. В этом смысле точечная конденсаторная сварка имеет существенное преимущество и, как указывалось выше, позволяет получать прочные неразъемные соединения при большом отношении толщин деталей (практически оно может достигать до 1 : 2500 и более).

При точечной конденсаторной сварке металлов неравных толщин решающим фактором является толщина более тонкой из свариваемых деталей. Толщина более толстой детали существенного значения не имеет и практически может составлять от одного до нескольких десятков миллиметров. Поэтому возможность точечной конденсаторной сварки металлов неравных толщин на машинах разных типов определяется в основном толщиной более тонкой детали. Наибольшее значение толщины более толстой детали зависит от величины максимального раскрытия электродов конденсаторной машины (в машине ТКМ-4 оно близко к 35 мм).

Параметры режима точечной конденсаторной сварки металлов неравных толщин зависят от толщины более тонкой детали, марки металла деталей, необходимой прочности сварного соединения и типа машины, а также от схемы сварки.

Конденсаторная сварка металлов неравных толщин может производиться не только по фиг. 37,б, но также и с предварительной выштамповкой (рельефом) в более тонкой детали (фиг. 63).



Фиг. 63. Сварка деталей неравных толщин с предварительной выштамповкой (рельефом) в тонкой детали: а — положение деталей перед сваркой; 1 — выштамповка (рельеф); 2 и 5 — электроды; 3 — тонкая деталь; 4 — толстая деталь; б — положение деталей после сварки; 6 — сварная точка.

Техника точечной сварки металлов неравных толщин. Для получения прочных соединений при точечной и рельефной конденсаторной сварке металлов неравных толщин необходимо производить подбор режимов с учетом следующих основных правил:

1) со стороны тонкой детали, не имеющей рельефов (фиг. 37,б), следует применять электрод примерно при точечной сварке металлов равных малых толщин;

2) со стороны тонкой детали с рельефами (фиг. 63) следует устанавливать электрод с гладкой контактной поверхностью, полностью перекрывающей (на 1,5—2 мм и более по диаметру) размеры лунки рельефа;

3) во всех случаях со стороны детали большей толщины должен устанавливаться электрод с развитой гладкой контактной поверхностью, что сводит к минимуму ненужное выделение тепла в контакте электрода с нижней поверхностью детали и позволяет получить хороший внешний вид сварного соединения в этом месте;

4) усилие сжатия следует устанавливать, ориентируясь по толщине более тонкой детали.

Необходимо учитывать, что применение перечисленных правил может быть ограничено свойствами свариваемых металлов и некоторыми другими технологическими затруднениями (возможность использования рекомендуемых форм электродов, допустимость выдавливания рельефов и т. д.). Однако выполнение основных из этих правил

способствует интенсивному нагреванию тонкой детали и ее сплавлению с более толстой деталью. Если на готовом изделии со стороны тонкой детали недопустимы заметные следы от прохождения сварочного тока, то затруднительным является подбор режима сварки. Рекомендуется зачистка тонкой детали со стороны электрода, а также более частая зачистка и полировка его. Кроме того, важным вопросом является выбор соответствующего материала рабочей части электрода и оптимального диаметра электродного контакта.

Исследованиями автора установлены некоторые режимы точечной конденсаторной сварки металлов неравных толщин на машинах ТКМ-4. В табл. 23 приведены ориентировочные режимы сварки стали марки Ст. 3 толщиной от 0,05 до 0,3 мм с такой же сталью толщиной 10 мм. Из таблицы видно, что режимы точечной сварки неравных толщин стали определяются толщиной более тонкой детали и что они несколько выше режимов сварки соответствующих малых толщин стали 10 (см. табл. 15).

Таблица 23

Режимы точечной конденсаторной сварки стали марки Ст. 3 неравных толщин на машине ТКМ-4

($U_c = 600$ в; $k = 100$; диаметр электродного контакта: 2 мм — со стороны тонкого металла и 6 — 10 мм — со стороны толстого металла; с зачисткой и обезжириванием ацетоном)

Толщина свариваемого металла δ_1 , мм	Режимы сварки	
	C_p , мкф	P_3 , кг
0,02 + 10	20	2,5
0,05 + 10	40	6,5
0,1 + 10	90	12,0
0,15 + 10	120	16,0
0,2 + 10	160	18,0
0,3 + 10	290	22,0

Таблица 24

Режимы точечной конденсаторной сварки латуни Л62 малой толщины δ_1 со сталью марки Ст. 3 толщиной $\delta_2 = 10$ мм на машине ТКМ-4

($U_c = 600$ в; $k = 75$; диаметр электродного контакта d_3 : со стороны латуни — 2 мм; со стороны стали — 6 — 10 мм; с зачисткой стали и обезжириванием обоих металлов)

Толщина свариваемого металла δ_1 , мм	Режимы сварки	
	C_p , мкф	P_3 , кг
0,02 + 10	30	2,5
0,05 + 10	70	6,5
0,1 + 10	130	9,0
0,3 + 10	350	14,5

Точечная конденсаторная сварка неравных толщин возможна и при разнородных марках металлов. В табл. 24 и 25 приведены режимы сварки стали марки Ст. 3 толщиной 10 мм с латунью Л62 и бронзой Бр.ОФ 6,5-0,4 малых толщин. Результаты испытаний на разрыв сварных образцов из этих марок металла приведены в табл. 26 и показывают довольно высокую прочность точек.

Таблица 25

Режимы точечной конденсаторной сварки бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 толщиной δ_1 со сталью марки Ст. 3 толщиной $\delta_2 = 8$ мм на машине ТКМ-4

($U_c = 600$ в; $k = 75$; диаметр электродного контакта d_3 : 2 мм — со стороны бронзы и 6—10 мм — со стороны стали; с зачисткой стали и обезжириванием обоих металлов)

Толщина свариваемого металла δ_i , мм	Режимы сварки	
	C_p , мкф	P_p , кг
0,05 + 8	60	6,5
0,1 + 8	120	8,0
0,15 + 8	170	9,5
0,2 + 8	210	12,5
0,3 + 8	300	15,0

Таблица 26

Результаты испытаний на разрыв сварных образцов из латуни Л62 и бронзы Бр.ОФ малой толщины δ_1 со сталью марки Ст. 3 большой толщины δ_2 (сваренных на машине ТКМ-4 на режимах, указанных в табл. 24 и 25)

Марка металла и толщина сварных образцов δ_i , мм	Количество испытанных образцов, шт.	Среднее разрывное усилие на точку P_p , кг
Латунь Л62 + сталь марки Ст. 3		
0,05 + 10	20	4,8
0,1 + 10	20	12,5
0,3 + 10	15	26,8
Бронза Бр. ОФ + сталь марки Ст. 3		
0,1 + 8	20	14,0
0,15 + 8	15	24,2
0,2 + 8	20	33,5

В настоящее время конденсаторная сварка металлов неравных толщин внедрена в некоторых отраслях промышленности. Однако область ее применения пока ограничивается не только конструктивными и технологическими возможностями использования металлов неравных толщин в готовых изделиях, но еще и широко распространенным мнением о невозможности осуществления точечной сварки при отношении толщин металлов более чем 1 : 3. Поэтому конденсаторная сварка

является вполне прогрессивным способом соединения металлов неравных толщин и будет все больше применяться во многих отраслях техники.

Технология пакетной и особых случаев конденсаторной сварки

Сварка пакетов из трех и более тонких пластинок. По исследованию [34, 40] на машине ТКМ-4 по схеме (см. фиг. 38) можно вполне удовлетворительно сварить пакеты из следующих материалов:

- 1) 3—6 пластинок латуни Л62 толщиной 0,25 мм каждая;
- 2) 3—5 пластинок бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 толщиной 0,25 мм каждая;
- 3) 3—25 пластинок никеля толщиной 0,06 мм каждая;
- 4) 3—8 пластинок пермаллой или никеля толщиной 0,22 мм каждая;
- 5) 3—5 пластинок стали марки Ст. 3 или нержавеющей стали 18-8 толщиной 0,2 мм каждая и т. д.

Кроме того, возможна сварка пакетов из разнородных материалов малых толщин в очень широком диапазоне сочетаний. Так, например, можно сварить пакеты из трех и более пластинок (толщиной 0,1—0,2 мм каждая), в которых будут в произвольном сочетании следующие материалы: латунь Л62, бронза Бр.ОФ 6,5-0,4, никель, пермаллой, сталь марки Ст. 3, сталь 18-8, серебро и др.

При сварке пакетов (см. фиг. 38) на машинах ТКМ-4 в верхнем и нижнем электродах 1 и 3 делаются цилиндрические рабочие концы диаметром 1,5—2 мм каждый с плоской гладкой заточкой контактных поверхностей, параллельных между собой.

Таблица 27

Режимы точечной конденсаторной сварки на машине ТКМ-4 пакетов из нескольких пластинок бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4

Толщина пакета, мм	Режим сварки при $U_c = 600$ в			Диаметр электродного контакта верхнего и нижнего электродов $d_э$, мм	Примечание
	C_p , мкф	k	$P_в$, кг		
3 × 0,25	170	125	4,5	2,0	Без зачистки, с обезжириванием ацетоном
4 × 0,25	200	100	8	2,0	»
5 × 0,25	240	75	12	2,0	»

В табл. 27 приведены ориентировочные режимы конденсаторной сварки на машине ТКМ-4 пакетов из 3—5 пластинок бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 толщиной 0,25 мм каждая.

Результаты испытаний на разрыв сварных образцов из пакетов этой бронзы приведены в табл. 28, из которой видно, что их прочность

получается высокой и для пакета из 5 пластинок толщиной 0,25 мм каждая составляет около 140 кг на сварную точку.

Таблица 28

Результаты испытаний на разрыв сварных образцов из пакетов бронзы
Бр.ОФ 6,5-0,4 толщиной 0,25 мм

(сваренных на машине ТКМ-4 на режимах, указанных в табл. 27)

Толщина пакета, мм	Количество испытанных образцов, шт.	Среднее разрывное усилие на точку P_p , кг
3 × 0,25	10	76,0
4 × 0,25	10	92,5
5 × 0,25	10	136,0

Сварка штифтов с плоскими деталями. По схеме (см. фиг. 49,б) автором проведены исследования конденсаторной сварки штифтов диаметром 1,2—2,5 мм и длиной 2—3 мм с плоскими деталями толщиной от 0,1 до 20—30 мм из следующих сочетаний материалов (на первом месте — материал штифта): сталь А12 и нейзильбер; сталь А12 и латунь Л62; сталь А12 и сталь А12; сталь А12 и сталь марки Ст 3; сталь 25 и сталь 10; медь М1 и сталь 20; платина и сталь 20.

Во всех случаях изготовление штифтов производилось с тщательной подготовкой их торцов, с которых обязательно удалялись выступы и неровности. Также тщательно подготовлялись и контактные поверхности электродов. Все детали перед сваркой обезжиривались в ацетоне.

Ориентировочные режимы конденсаторной сварки на машине ТКМ-4 штифтов и плоских деталей из перечисленных выше материалов приведены в табл. 29, в которой также указаны размеры электродного контакта для каждого случая сварки.

В табл. 30 приводятся результаты испытаний на разрыв сварных образцов из штифтов и плоских деталей, которые показывают их высокую прочность (доходящую до 80 кг на штифт диаметром 2,5 мм, приваренный к стали марки Ст. 3 толщиной 0,35 мм). При разрыве образцов, как правило, происходит вырыв штифта в месте сварки из плоской детали с образованием в детали рваного отверстия (при ее толщине 0,1—0,35 мм).

Результаты проведенных исследований, а также опыт внедрения позволяют рекомендовать конденсаторную сварку штифтов с плоскими деталями к широкому применению. Это же относится и к конденсаторной сварке штифтов и контактов с деталями любых других форм.

Одноимпульсная конденсаторная сварка двумя точками тонких деталей. Исследования одноимпульсной конденсаторной сварки двумя точками двух пластинок из различных толщин латуни Л62, бронзы Бр.ОФ и никеля проведены по схеме (см. фиг. 50,а). При этом сва-

риваемые материалы обезжиривались и производились тщательная соосная установка рабочих концов электродов в одной параллельной плоскости и полировка их контактных поверхностей.

Таблица 29

Режимы конденсаторной сварки штифтов и плоских деталей на машине типа ТКМ-4

Материал и размеры		Режим сварки при $U_c = 600 \text{ в} \pm 5\%$			Размеры электродного контакта d_9 , мм	
штифта	плоской детали	C_p , мкФ	k	P_9 , кг	со стороны штифта	со стороны плоской детали
Сталь А12, $\varnothing 1,2 \text{ мм}$, $h = 2 \text{ мм}$	Нейзильбер, $\delta = 0,1 \text{ мм}$	30	100	7	3—6	6—8
Сталь А12, $\varnothing 2 \text{ мм}$, $h = 3 \text{ мм}$	Латунь Л62, $\delta = 0,25 \text{ мм}$	120	100	3,5	5—10	8—10
Сталь А12, $\varnothing 2 \text{ мм}$, $h = 3 \text{ мм}$	Сталь А12, $\delta = 0,35 \text{ мм}$	180	100	7	5—10	8—10
Сталь А12, $\varnothing 2 \text{ мм}$, $h = 3 \text{ мм}$	Сталь Ст. 3, $\delta = 1 \text{ мм}$	200	100	8,5	5—10	8—10
Сталь А12, $\varnothing 2 \text{ мм}$, $h = 3 \text{ мм}$	Сталь Ст. 3, $\delta = 2 \text{ мм}$	240	100	10	5—10	8—10
Сталь А12, $\varnothing 2 \text{ мм}$, $h = 3 \text{ мм}$	Сталь Ст. 3, $\delta = 10 \text{ мм}$	260	75	12	5—10	8—10
Сталь 25, $\varnothing 2,5 \text{ мм}$, $h = 5 \text{ мм}$	Сталь 10, $\delta = 1 \text{ мм}$	270	75	13,5	6—10	8—10
Медь М1, $\varnothing 15 \text{ мм}$, $h = 2 \text{ мм}$	Сталь 20, $\delta = 10 \text{ мм}$	150	100	7,5	4—6	8—10
Платина, $\varnothing 1,5 \text{ мм}$, $h = 3 \text{ мм}$	Сталь 20, $\delta = 10 \text{ мм}$	180	100	6	3—5	8—10

Ориентировочные режимы одноимпульсной конденсаторной сварки двумя точками пластинок из различных материалов приведены в табл. 31.

Результаты испытаний на разрыв образцов одноимпульсной сварки двумя точками пластинок из бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 приведены в табл. 32

и показывают высокую и практически одинаковую прочность обеих точек.

Таблица 30

Результаты испытаний на разрыв сварных образцов из штифтов и плоских деталей

(сваренных на машине типа ТКМ-4 на разных режимах)

Материал и размеры		Количество испытанных образцов, шт.	Среднее разрывное усилие на точку P_p , кг
штифта	плоской детали		
Сталь А12, $\varnothing 1,2$ мм, $h = 2$ мм	Нейзильбер, $\delta = 0,1$ мм	10	16,5
Сталь А12, $\varnothing 1,2$ мм, $h = 1,2$ мм	Сталь А12, $\delta = 1$ мм	15	35,0
Сталь А12, $\varnothing 2$ мм, $h = 1$ мм	Латунь Л62, $\delta = 0,25$ мм (с зачисткой со стороны электродов)	15	36,6
*	То же (без зачистки)	15	36,4
Сталь А12, $\varnothing 2$ мм, $h = 1,2$ мм	Сталь Ст. 3, $\delta = 0,35$ мм	30	80
Медь М1, $\varnothing 1,5$ мм, $h = 2$ мм	Сталь 10, $\delta = 20$ мм	10	12,8

Таблица 31

Режимы одноимпульсной конденсаторной сварки двумя точками пластинок из различных марок металлов малых толщин на машине ТКМ-4 (по схеме фиг. 50, а)

$U_c = 600$ в, материал электродов — медь М1, $d_э = 2$ мм, расстояние между точками — 5 мм

Наименование свариваемого материала	Толщина, мм	Режим сварки		
		C_p , мкф	k	$P_э$, кг
Латунь Л62	0,15 + 0,15	180	75	13
Латунь Л62	0,25 + 0,25	300	75	16
Бронза Бр.ОФ 6,5-0,4	0,10 + 0,10	160	75	12
Бронза Бр.ОФ 6,5-0,4	0,3 + 0,6	360	75	16
Никель	0,10 + 0,10	120	75	14
Нержавеющая сталь 18-8	0,25 + 0,25	200	75	16
Бронза Бр.ОФ 6,5-0,4 и латунь Л62	0,25	320	75	16

Проведенные исследования и первый опыт внедрения одноимпульсной конденсаторной сварки двумя точками тонких деталей показывают, что она может быть рекомендована для более широкого применения. Однако при этом некоторые ограничения вносят необходимость обеспечения надежного прилегания к деталям рабочих концов электродов, что несколько затрудняет их эксплуатацию.

Таблица 32

Результаты испытаний на разрыв образцов одноимпульсной конденсаторной сварки двумя точками пластинок из бронзы Бр.ОФ толщиной $0,3 + 0,6$ мм

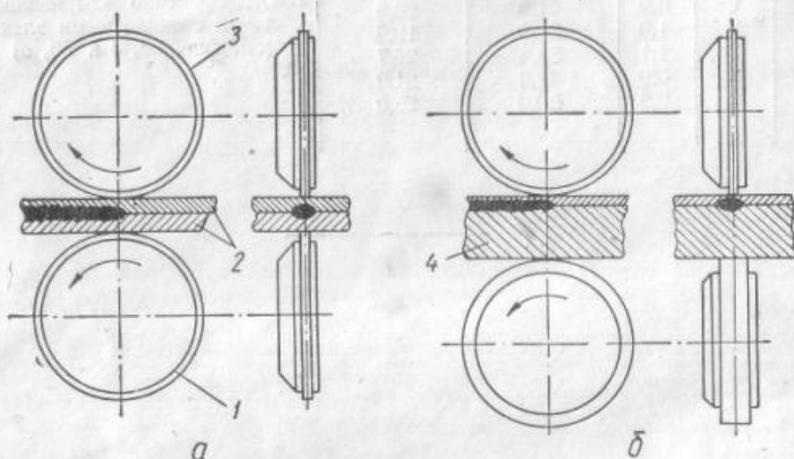
№ образцов	Количество точек	Диаметр точек (средний), мм	Разрывное усилие P_p , кг		Примечание
			на две точки	на одну точку	
1	2	1,0	53,5	26,75	1. Образцы были сварены на машине ТКМ-4 при следующем режиме: $C_p = 360$ мкф; $P_s = 16$ кг; $k = 75$; $d_s = 2$ мм 2. Одновременно сваривались обе точки специальными электродами (см. фиг. 33, г и 50, а)
2	2	0,9	45,5	22,75	
3	2	0,9	43,0	21,5	
4	2	0,8	41,4	20,7	
5	2	0,9	45,0	22,5	
6	2	0,8	35,0	17,5	
7	2	0,9	42,0	21,0	
8	2	1,0	50,0	25	
9	2	1,0	50,5	25,25	
10	2	0,9	40,5	20,25	
11	2	0,9	41,0	20,5	
12	2	1,0	39,0	19,5	
13	2	1,1	53,4	26,7	
14	2	0,9	42,0	21,0	
15	2	0,9	50,0	25,0	

ТЕХНОЛОГИЯ ШОВНОЙ КОНДЕНСАТОРНОЙ СВАРКИ ЦВЕТНЫХ И ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ МАЛЫХ ТОЛЩИН

Схемы шовной сварки и типы соединений

Схема шовной конденсаторной сварки двух тонких деталей показана на фиг. 64,а и полностью сходна с аналогичной схемой сварки, выполняемой на однофазных и других шовных машинах [10].

Однако исследованиями автора установлено, что на конденсаторных машинах ШКМ может быть осуществлена шовная сварка металлов при



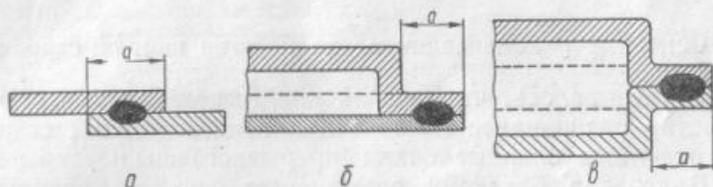
Фиг. 64. Схемы шовной конденсаторной сварки:

а — двух тонких деталей; б — деталей малой и большой толщин; 1 и 3 — ролики; 2 — тонкие детали; 4 — толстая деталь.

большой разнице в их толщине. Так, например, можно сварить между собой сплошным герметичным швом металлы толщиной 0,03—0,35 мм с толщинами до 10—15 мм (фиг. 64,б). Деталь большой толщины обычно помещается снизу. Нижний ролик имеет большую рабочую поверхность (чтобы не происходило ненужное для сварки выделение тепла в контакте ролика с нижней поверхностью детали большой толщины). При этом со стороны тонкой детали рабочая поверхность верхнего ролика должна быть нормальной формы (см. фиг. 35).

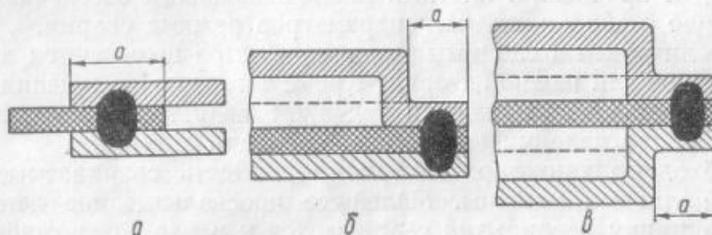
При шовной конденсаторной сварке пакет обычно состоит из двух деталей, однако автором уже осуществлена шовная пакетная сварка 3—4 и более тонких деталей [40].

При шовной конденсаторной сварке двух (фиг. 65), трех (фиг. 66) и более тонких деталей наиболее рациональны соединения внахлестку и с отбортовкой. Во всех случаях величина нахлестки a должна быть примерно на 1—2 мм больше, чем ширина рабочей части сварочного



Фиг. 65. Типы соединений при шовной конденсаторной сварке двух тонких деталей:

a — соединение с нормальной нахлесткой; $б$ — соединение с отбортовкой одной из деталей; $в$ — соединение с отбортовкой обеих деталей.

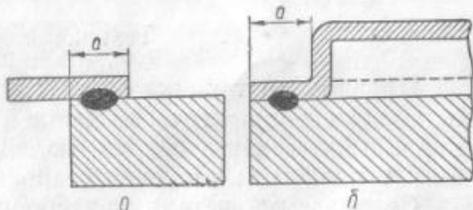


Фиг. 66. Типы соединений при шовной конденсаторной сварке трех тонких деталей:

a — соединение с нормальной нахлесткой; $б$ — соединение с отбортовкой одной из деталей; $в$ — соединение с отбортовкой двух деталей.

ролика. Если величина нахлестки будет меньше, то при сварке изделия может произойти смещение рабочих частей роликов на края изделия, которое приводит к прожогам и браку. При шовной сварке с отбортовкой ее ширина a также должна превышать ширину рабочей части сварочного ролика (не меньше чем на 0,5—1 мм). Пересечение швов при сварке двух деталей из металлов малых толщин вполне осуществимо и не встречает затруднений.

При шовной конденсаторной сварке тонких деталей удобной является конструкция изделия из двух штампованных половин, соединяемых по контуру без пересечения швов. Такая конструкция, например, широко применяется при изготовлении мембран приборов из разных марок бронзы, специальных сталей и других материалов. При шовной конденсаторной сварке тонкой детали с деталью большей



Фиг. 67. Типы соединений при шовной конденсаторной сварке тонкой детали с деталью большой толщины:

a — соединение с нормальной нахлесткой; $б$ — соединение с отбортовкой тонкой детали.

толщины (фиг. 67) также наиболее рациональны соединения внахлестку и с отбортовкой. При этом величина нахлестки и ширина отбортовки должны находиться примерно в таких же пределах, как и при сварке тонких деталей.

Основные рекомендации по технологии шовной сварки

Выше указывалось, что шовная конденсаторная сварка является по существу разновидностью точечной конденсаторной сварки, при которой отдельные сварные точки непрерывного шва перекрывают друг друга. Благодаря близкому размещению смежных сварных точек значительное действие оказывает шунтирование тока, несмотря на сравнительно высокое удельное сопротивление нагретого металла в зоне, прилегающей к месту сварки. Поэтому для получения высококачественных прочных и плотных швов необходимо обеспечивать максимальную стабильность всех параметров режима сварки.

С увеличением толщины материала быстро повышается давление, необходимое для шовной сварки. Кроме того, для получения высококачественного шва важнейшим условием является постоянство переходного сопротивления между свариваемыми деталями.

Необходимо также равномерно перемещать свариваемые детали между роликами машины. Малейшее проскальзывание деталей изменяет ширину перекрытия сварных точек и нарушает стабильность качества шва. Поэтому в машинах ШКМ оба сварочных ролика имеют принудительное вращение от общего редуктора.

Основными параметрами шовной конденсаторной сварки являются: шаг точек, усилие сжатия и диаметр роликов, а также ширина их рабочей части, емкость конденсаторов, напряжение их зарядки и форма кривой сварочного тока (см. фиг. 9).

Выбор большинства из перечисленных параметров следует производить в основном так же, как и при точечной конденсаторной сварке (см. гл. IV).

Техника шовной сварки

Правильная техника шовной конденсаторной сварки заключается в надлежащей подготовке деталей под сварку, выборе оптимальных параметров режима сварки, наладке машины на установленный режим и точном выполнении сварочной операции.

Свариваемые детали при сборке должны плотно прилегать друг к другу в местах их нахлестки. При этом недопустимы какие-либо забоины и выпуклости на поверхностях контактирования деталей между сварочными роликами, так как они могут вызвать прожоги деталей и порчу роликов.

Важной операцией подготовки деталей под сварку является зачистка их поверхностей в местах образования шва, которая должна выполняться для металлов, покрытых значительным слоем оксидной пленки (некоторые марки сталей и др.). При этом в зависимости

от конкретных условий зачистка деталей может производиться не только со стороны роликов, но и с внутренних их сторон. Как правило, тонкие детали из латуни Л62, бронзы Бр.ОФ, бериллиевой бронзы, никеля, нержавеющей стали и некоторых других материалов никакой зачистки перед сваркой не требуют.

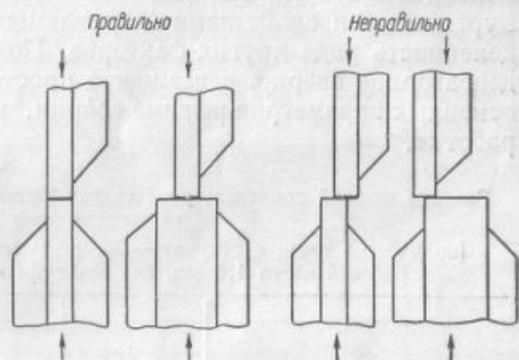
Независимо от способа зачистки под сварку все детали в местах сварки следует обезжировать (ацетоном, авиационным бензином и др.).

Шаг точек при шовной конденсаторной сварке металлов и сплавов толщиной от 0,05 до 0,4 мм не превышает 1 мм и в среднем составляет 0,3—0,4 мм. Отдельные точки, образующие сварной шов, должны перекрывать друг друга не менее чем на 0,3—0,5 их диаметра. Ширина сварного шва определяется диаметром точки, который зависит от ширины рабочей части роликов и режима сварки.

На машинах ШКМ-1 и ШКМ-2 шовная сварка изделий из металлов малых толщин может производиться роликами диаметром от 50 до 80 мм. Выбор оптимального диаметра ролика зависит от формы и размеров изделия, а иногда и от толщины металла свариваемых деталей — чем толще металл, тем меньше должен быть диаметр ролика, так как при этом меньше площадь вторичного контура машины и индуктивность, а следовательно, можно получить большие сварочные токи.

При шовной конденсаторной сварке тонких деталей роликами с нормальной формой рабочей поверхности (см. фиг. 35) ширина ее выбирается из условий необходимой прочности сварного шва, его ширины, толщины свариваемых деталей, а также от мощности машины. Однако при шовной сварке на машинах ШКМ ширина рабочей части роликов должна находиться в пределах от 1,2 до 3 мм.

Необходимо, чтобы в шовной конденсаторной машине правильно устанавливались сварочные ролики. Это должно выполняться не только при шовной сварке тонких деталей, но также и при сварке деталей неравных толщин. При правильной установке роликов (фиг. 68) края их рабочих поверхностей не должны быть смещены относительно друг друга. При сварке роликами с неодинаковой шириной рабочих поверхностей желательно, чтобы ролик меньшей ширины устанавливался примерно против середины рабочей поверхности широкого ролика. Если края рабочих поверхностей роликов будут смещены, то это вызовет уменьшение площади электродного контакта, прожог или подплавление свариваемых деталей и порчу роликов.



Фиг. 68. Правильная и неправильная установка контактных поверхностей роликов при шовной конденсаторной сварке.

В процессе эксплуатации сварочные ролики покрываются нагаром и изнашиваются. Нагар на роликах может быть удален их зачисткой шкуркой или металлической щеткой. По мере износа ролики периодически должны перетачиваться.

В некоторых случаях для сохранения заданной формы рабочей поверхности сварочных роликов может оказаться целесообразным применение специальных приспособлений для их автоматической заправки в процессе вращения при сварке. Приспособления жестко крепятся к корпусу шовной машины и должны состоять из оправки и резцов, которые затачивают боковые и рабочие поверхности обоих роликов.

При шовной конденсаторной сварке имеет место обычная для контактной сварки сложная зависимость между физическими и металлургическими свойствами свариваемых материалов, а также неопределенность ряда других факторов. Поэтому, как и при точечной конденсаторной сварке, невозможно просто и точно установить значения основных параметров режима сварки, не прибегая к опытам по их разработке.

Таблица 33

Режимы шовной конденсаторной сварки некоторых марок металлов малых толщин на машине типа ШКМ-2

(количество точек в секунду — 25, диаметр ролика 60 — 80 мм, при ширине рабочей части 1,5 мм, без зачистки и с обезжириванием деталей)

Свариваемые марки металла	Толщина, мм	Режимы сварки				
		емкость C_p , мкФ	напряжение зарядки U_c , в	коэффициент трансформации K	усиление скатия P_3 , кС	скорость сварки $V_{св}$, м/час
Бериллиевая бронза (облагороженная)	0,09 + 0,09	30	900	125	18	29,0
	0,15 + 0,15	40	900	125	15	29,0
	0,22 + 0,22	50	900	125	17	29,0
	0,25 + 0,25	50	1000	125	18	29,0
Никель	0,05 + 0,05	10	700	100	15	39,4
Сталь Ст. 3 горячекатаная	0,1 + 0,1	30	700	100	15	39,4
Сталь Ст. 3 холоднокатаная	0,1 + 0,1	20	800	125	17	39,4
Сталь Н41ХТ (эльинвар)	0,1 + 0,1	20	800	125	17	39,4

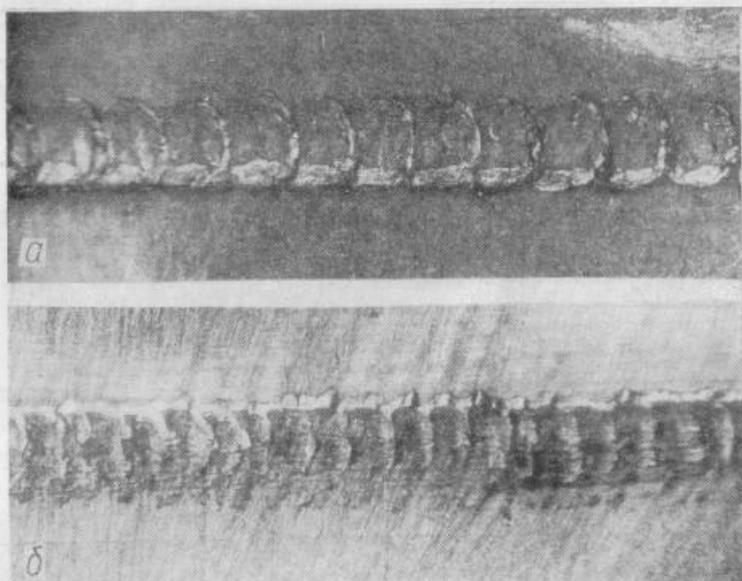
Для шовной конденсаторной сварки металлов малых и неравных толщин, являющейся новым технологическим процессом, еще не разработаны в достаточном количестве таблицы режимов сварки, которые можно было бы рекомендовать для использования. Однако такая работа уже проводится и примером ее является разработанная автором табл. 33 ориентировочных режимов шовной конденсаторной сварки некоторых металлов малых толщин на машине ШКМ-2. Данные этой таблицы могут быть использованы не только для внедрения, но

Свариваемость различных металлов и сплавов малых толщин при шовной конденсаторной сварке

Наименование материалов	Эльцинвар	Тантал	Сталь 10 холодно-катаная	Сталь н/у холодно-катаная	Сталь н/у горячекатаная	Сталь нержавеющей	Пермаллой	Нихром	Никель	Нейзильбер	Латунь Л62	Бронза Бр.ОЦ	Бронза Бр.ОФ	Бронза бериллиевая	Алюминий А3
Алюминий А3	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	У
Бронза бериллиевая															У
Бронза Бр.ОФ															У
Бронза Бр.ОЦ															У
Латунь Л62															У
Нейзильбер				У	У	У				У					У
Никель															У
Нихром								У							У
Пермаллой								У							У
Сталь нержавеющей															У
Сталь н/у горячекатаная															У
Сталь н/у холодно-катаная															У
Сталь 10 холодно-катаная															У
Тантал															У
Эльцинвар															У

Условные обозначения: X — хорошая свариваемость, У — удовлетворительная свариваемость; Н — неудовлетворительная свариваемость.

также послужить основой при разработке режимов шовной конденсаторной сварки других марок и толщин металлов.



Фиг. 69 Внешние виды швов, сваренных на машинах ШКМ. $\times 8$:
а — нержавеющая сталь 18-8 толщиной $0,4 + 0,4$ мм; б — латунь Л62 толщиной $0,25 + 0,25$ мм.

Данные исследований автора о свариваемости цветных и черных металлов малых толщин при шовной конденсаторной сварке приведены в табл. 34, а внешние виды сварных швов — на фиг. 69

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И СТРУКТУРНЫЕ
ОСОБЕННОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Некоторые особенности процесса конденсаторной сварки металлов и методика металлографического исследования сварных соединений

До настоящего времени в литературе, за небольшими исключениями [34, 40, 42], почти нет данных металлографического исследования сварных соединений металлов, выполненных конденсаторным способом. Это объясняется прежде всего тем, что такой способ сварки широко внедрен сравнительно недавно [40]. Отсутствие данных металлографического анализа не только усложняет разработку технологии сварки металлов новых марок малых и неравных толщин, но также затрудняет оценку их качества.

Процесс конденсаторной сварки металлов во многом отличается от других способов сварки, в том числе своей продолжительностью, которая находится в пределах нескольких тысячных долей секунды. При этом металл в сварной точке успевает разогреться до весьма высоких температур, вслед за чем в результате интенсивного теплоотвода в толщу деталей и в медные электроды разогретый металл быстро остывает. Одновременно в момент сварки и частичного остывания металл подвергается сжатию порядка нескольких килограммов на квадратный миллиметр.

Высокая интенсивность и малая длительность процесса конденсаторной сварки обуславливают некоторые особенности структурных превращений в сварных точках. Структурные превращения при таких скоростях в верхнем и нижнем критических интервалах температур исследованы мало. Наличие сжатия при протекании этих процессов еще в большей степени отличает их от процессов кристаллизации, известных в классическом металловедении.

В связи с резко возросшим применением конденсаторной сварки в самых различных отраслях техники количество марок свариваемых металлов значительно увеличивается. Поэтому необходимы основные сведения по металлографическому анализу конденсаторной сварки, которые могли бы служить (при дальнейшей доработке) основой для оценки качества соединений, а также для определения характера процесса сварки.

В настоящей главе приведены некоторые методики металлографического исследования, а также экспериментальные данные по исследованию структурных особенностей при конденсаторной сварке цветных и черных металлов малых и неравных толщин.

Для проведения опытов сваривались образцы из различных металлов и сплавов с одной или несколькими сварными точками. Сварка производилась на точечной конденсаторной машине типа ТКМ-4 [57]. Для всех случаев продолжительность сварочного цикла (время разряда конденсаторов для сварки одной точки) находилась в пределах от 0,003 до 0,008 сек.

Из сварных образцов в специальных зажимах изготавливались шлифы. Опыт показал, что материал для зажимов следует выбирать близким по химическому составу к свариваемому. Это необходимо для того, чтобы при шлифовании и полировании на шлифах не образовывались рельефы от неравномерного абразивного износа сварных образцов и материала зажимов. Для изготовления шлифов исследуемые образцы закреплялись в зажимах так, чтобы кромки последних приходились на 0,1—0,15 мм выше центра сварных точек. После этого шлифы изготавливались обычным механическим способом.

Для выявления всех зон участка сплавления сварной образец в процессе исследований следует несколько раз травить и полировать. Травление образцов лучше всего производить электролитическим способом [43]. Для однородных марок металлов — сталей, латуни, меди, бронзы и сплавов типа сормайт — травление следует производить в 10-процентном растворе хромовой кислоты. Для алюминия и его сплавов лучше всего применять травящую электрополировку в 30-процентном растворе азотной кислоты в метиловом спирте с последующим травлением в 10-процентном растворе едкого натра. Для большинства нержавеющей и жаропрочных сталей, а также никеля и его сплавов следует применять электролитическое травление в 20-процентных водных растворах уксуснокислых солей.

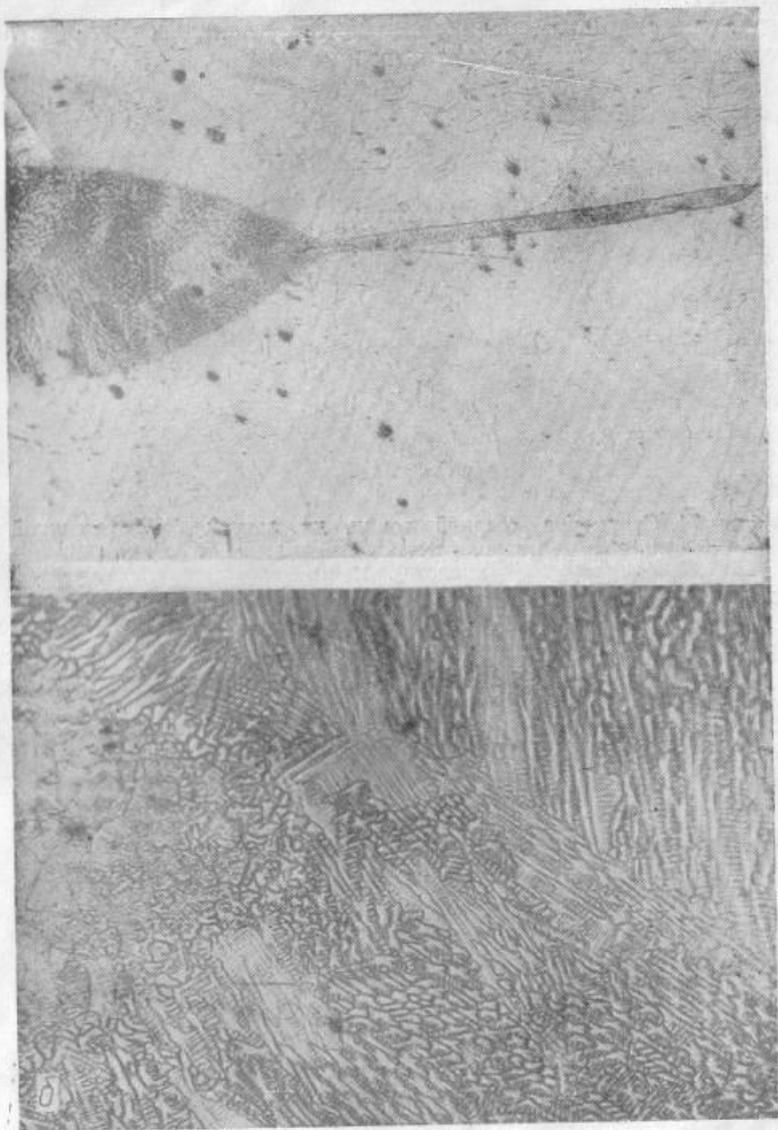
В случае травления сварных точек разнородных металлов травление лучше всего производить в различных реактивах, соблюдая такую последовательность травления, при которой вначале выявляется структура одного из металлов. Структуру же другого металла нужно выявлять таким реактивом, который бы не травил (или почти не травил) ранее выявленную структуру, что в большинстве случаев легко достигается соответствующим подбором электролитов.

Продолжительность и режимы травления для каждого конкретного случая определяются опытным путем.

Некоторые структурные особенности точек при конденсаторной сварке металлов однородных марок малых толщин

Структура сварной точки на нержавеющей стали типа 18-8 толщиной 0,5 + 0,5 мм приведена на фиг. 70. Ясно видна литая столбчатая структура, причем столбчатые кристаллиты направлены из основного металла вглубь точки (фиг. 70,а), а отдельные кристаллиты состоят из групп одинаково ориентированных дендритов (фиг. 70,б).

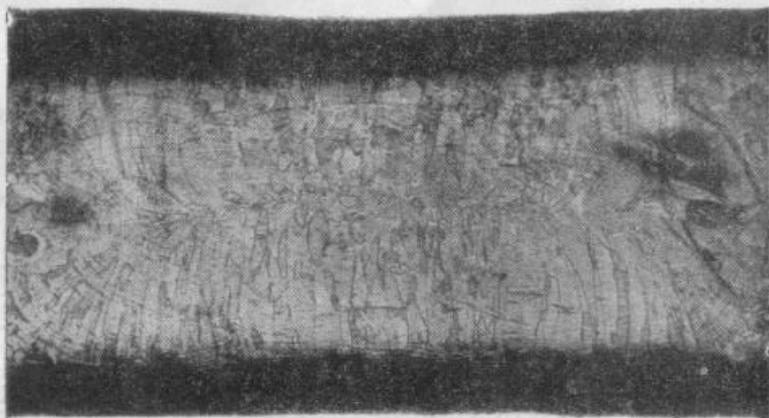
На фиг. 71—74 приведены структуры сварных точек на латуни Лб2, бронзе Бр.ОФ 6,5 -0,4 и сталях двух марок. Вблизи участков перехода основного металла в литой со стороны литого металла видны



Фиг 70 Структура сварной точки из нержавеющей стали типа 18-8
толщиной $0,5 \pm 0,5$ мм (электролитическое травление в уксусно-
кислом аммонии):
а-- $\times 100$; б-- $\times 300$.

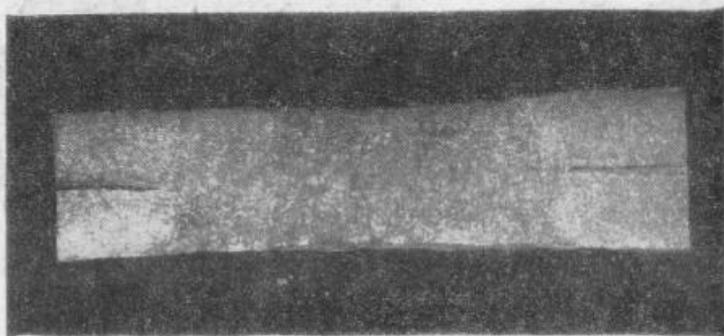
кристаллизационные слои, которые по мере приближения к середине точки укрупняются, становятся размытыми и в центре точки обычно отсутствуют.

Структура сварного соединения пакета из пяти пластинок латуни Л62 толщиной 0,25 мм каждая показана на фиг. 75.



Фиг. 71. Структура сварной точки из латуни Л62 толщиной 0,3 + 0,3 мм (электролитическое травление в хромовой кислоте). $\times 60$.

Описанные выше структуры характерны для большинства сварных точек на металле одинакового химического состава. Иногда (фиг. 71) в середине точек образуются небольшие поры. При сварке металла



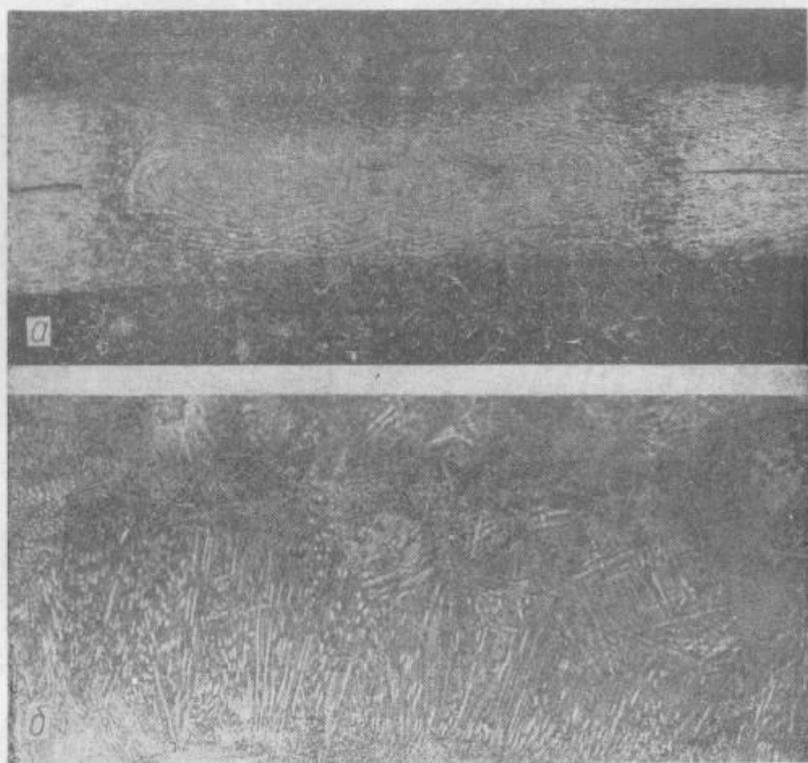
Фиг. 72. Структура сварной точки из бронзы Бр.ОФ 6,5-0,4 толщиной 0,25 + 0,25 мм (электролитическое травление в хромовой кислоте). $\times 36$.

некоторых марок малых толщин, например стали 10 (фиг. 73) и горячекатанной стали марки Ст. 3 (фиг. 74) на участках перехода основного металла в литой со стороны свариваемого металла наблюдается некоторое укрупнение его зерен.

Структуры сварных точек, выполненных конденсаторным способом, имеют следующие характерные участки:

- 1) литой металл сварного соединения;
- 2) участок сплавления (место перехода нерасплавленного основного металла в литой);
- 3) «околоточенную» зону (зону термического влияния).

При конденсаторной сварке в результате интенсивного теплоотвода от образовавшейся точки вглубь основного металла и медных электродов скорости охлаждения получают значительными. Так, например, сварной образец, выдержанный между электродами после сварки

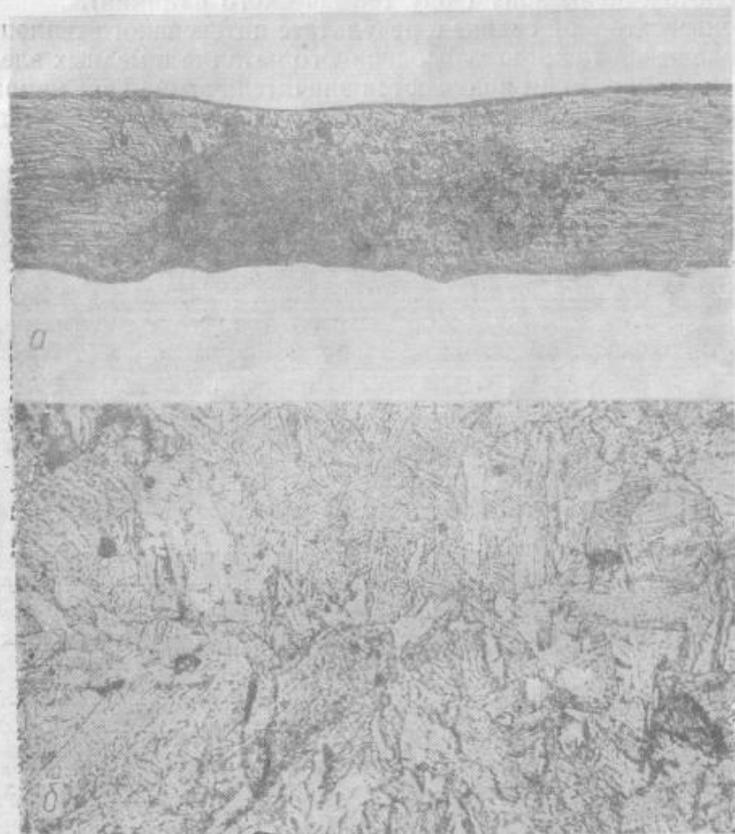


Фиг. 73. Структура сварной точки из стали 10 толщиной $0,5 + 0,5$ мм (электролитическое травление в хромовой кислоте):
а — $\times 25$; б — $\times 200$.

(окончание разряда конденсаторов) в течение $0,5-1$ сек, имеет среднюю температуру в зоне точки порядка $60-80^\circ\text{C}$. Если учесть, что нагрев центральной области точки осуществляется до температуры лишь несколько выше ликвидуса (для стали около 1600°C), то и в этом случае скорости охлаждения составляют около $1500-3000^\circ\text{C}$ в секунду.

Известно, что повышение скорости охлаждения многокомпонентных сплавов в интервале затвердевания до 60°C в секунду ведет к уменьшению, но не приводит к полному устранению внутризеренной

(дендритной) неоднородности [59]. При конденсаторной сварке таких сплавов дендритное строение литого металла сварных точек (фиг. 70 и 71) также указывает на наличие в них дендритной неоднородности.



Фиг. 74. Структура сварной точки из горячекатаной стали Ст. 3 толщиной $0,1 + 0,1$ мм (химическое травление спиртовым раствором азотной кислоты):

a — $\times 100$; *b* — $\times 500$.

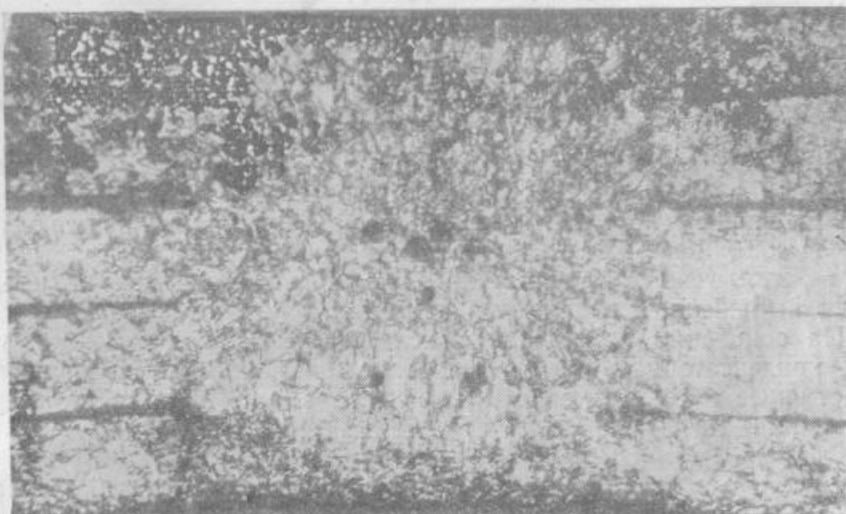
Следовательно, повышение скоростей охлаждения многокомпонентных сплавов до $1500\text{--}3000^\circ\text{C}$ в секунду не приводит к полному устранению дендритной неоднородности. Однако при точечной конденсаторной сварке однородных сплавов, какими являются сталь 10 и сталь марки Ст. 3 (фиг. 73 и 74), дендритное строение в сварной точке почти неразлично.

Во всех сварных точках, кроме незначительной дендритной неоднородности, имеется также небольшая неоднородность по слоям кристаллизации. Кристаллизационные слои наиболее четко выражены у линии сплавления, т. е. вблизи участков перехода от нерасплавленного

металла в литой. При этом на таких участках дендритная неоднородность минимальна.

Наличие наиболее крупных кристаллитов и развитых дендритов в центральной части сварных точек указывает на то, что в этом месте скорости охлаждения были минимальными, а разогрев металла максимальным. Это подтверждается наличием пор в центре некоторых точек (фиг. 75), причиной образования которых мог быть только перегрев металла до температур кипения.

Надо полагать, что в местах контактирования поверхностей свариваемых пластинок обычно имеется наибольшее сопротивление, что



Фиг. 75. Структура сварной точки пакета из 5 пластинок латуни Л62 толщиной 0,25 мм каждая (электролитическое травление в хромовой кислоте). $\times 50$.

обуславливает выделение максимального количества тепла и перегрев металла до высоких температур.

Оплавление окружающих точку участков металла происходит в результате теплового потока, создаваемого сварочным током, протекающим во вторичном контуре конденсаторной машины и благодаря поступлению теплоты от перегретых участков металла в центральной области сварной точки.

В результате интенсивного теплоотвода вглубь свариваемого металла и в медные электроды расплавленный металл точки кристаллизуется. Направление кристаллизации определяется направлением теплоотвода и протекает от неп полностью расплавленных участков к центру сварной точки. Высокие скорости охлаждения в значительной мере интенсифицируют процесс кристаллизации. В единицу времени в кристаллизующихся объемах металла выделяется значительная избыточная теплота кристаллизации. В некоторых случаях количество избыточной теплоты в сумме с теплотой, поступающей из участков макси-

мального перегрева металла, может превысить тепловод от сварной точки. Тогда процесс кристаллизации прекращается, что вызывает образование кристаллизационных слоев на участках литого металла (фиг. 71 и 73).

Металлографический анализ показывает, что в исследованных сварных точках при наличии больших скоростей охлаждения дендритная неоднородность незначительна. Однако такие скорости охлаждения в литом металле точки могут привести к образованию структур типа закалочных*. В качестве примера можно указать на структуру сварной точки малоуглеродистой стали 10 (фиг. 73,б). Несмотря на малое количество углерода, структура напоминает мартенсит.

Характерным является почти полное отсутствие закалочной структуры в околошовной зоне (фиг. 73,а и 74, а), что объясняется характером распределения теплового потока по сечению сварной точки. Поскольку плотности тока постепенно снижаются от центра к периферии точки, то в околошовной области также происходит плавный структурный перепад, чем, по-видимому, и обусловлено отсутствие сплошной значительной подкалочной зоны.

При сварке углеродистых сталей (стали 45, У8) в результате слишком высоких скоростей охлаждения возникают холодные трещины как в металле сварной точки, так и в околошовной зоне, которые имеют четко выраженный закалочный характер.

На основании проведенных исследований можно заключить, что для конденсаторной сварки наиболее благоприятными являются пластичные металлы и сплавы, не испытывающие полиморфных превращений.

Структурные особенности соединений при конденсаторной сварке разнородных металлов малых и неравных толщин

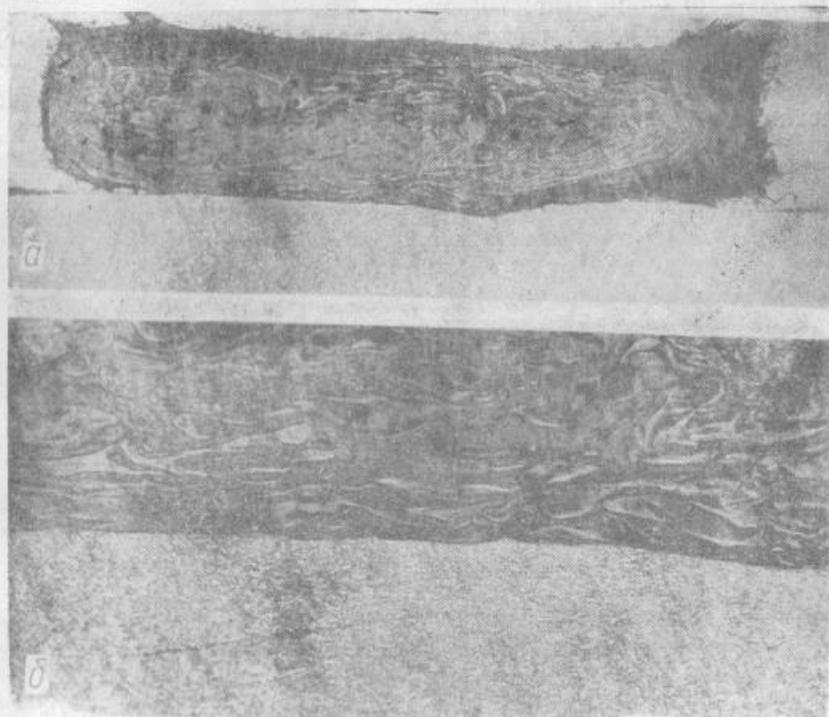
Ниже описаны результаты исследований некоторых особенностей структур точек при конденсаторной сварке разнородных металлов.

На фиг. 76 приведена структура сварной точки и участка сплавления бронзы $\delta = 0,5$ мм с серебром $\delta = 0,8$ мм. По всему сечению сварной точки по линии сплавления четко виден расплавленный участок бронзы, имеющий форму вытянутого ядра, примыкающего к нерасплавленной поверхности серебряной пластины. Металлографическое исследование при различных увеличениях (свыше 50) показывает наличие соединенных сваркой участков между серебром и бронзой, причем размер таких участков обычно составляет 80—90% от длины расплавленного ядра. Поверхность серебряной пластинки в зоне сварки волнистая. Отдельные мелкие гребешки пластинки проникают на незначительную глубину (до 0,03—0,08 мм) в литой металл сварной точки на бронзовой пластинке.

Данные химического анализа расплавленного ядра точки показывают незначительное содержание серебра, что подтверждает отсутствие

* О возможности образования подобного вида структур на малоуглеродистых сталях указывалось раньше [42].

при сварке расплавления серебряной пластинки. На участке сплавления отсутствуют поры, раковины, неметаллические прослойки и прочие дефекты. Хорошие механические показатели (разрушение сварной точки при испытании на разрыв происходит по основному металлу) свидетельствуют о высоком качестве сварного соединения.



Фиг. 76 Структура сварной точки из бронзы толщиной 0,5 мм (сверху) и серебра толщиной 0,8 мм (электролитическое травление):
а — $\times 50$; б — $\times 300$.

Металлографический анализ участка сварки образца (фиг. 77) из стали 20 толщиной 20 мм и платинового штифта диаметром 1,5 мм и высотой 3 мм показывает, что по зоне сварки со стороны платинового штифта не наблюдается структурных изменений, однако со стороны стали 20 ясно видна зона термического влияния и заметно внедрение мелких гребешков платины в стальной образец. Участки расплавления как со стороны платины, так и со стороны стали 20 отсутствуют*.

В рассматриваемом сварном образце вторичная структура «околоточечной» зоны в стали 20 имеет мелкозернистое строение, что указывает на наличие процесса перекристаллизации. Металлографический анализ показывает некоторое обогащение этого участка углеродом.

* Отсутствие расплавленных участков было установлено путем исследования первичной структуры.

Отсутствие крупных зерен в «околотоочечной» зоне объясняется кратковременностью термического цикла при конденсаторной сварке.

Структура участков сварки сормайтового шарика (диаметром 1,1—1,2 мм) с пластинкой из пермаллоя (толщиной 0,25—0,3 мм) приведена на фиг. 78, а с такой же пластинкой из нержавеющей стали (типа 25—20) — на фиг. 79.

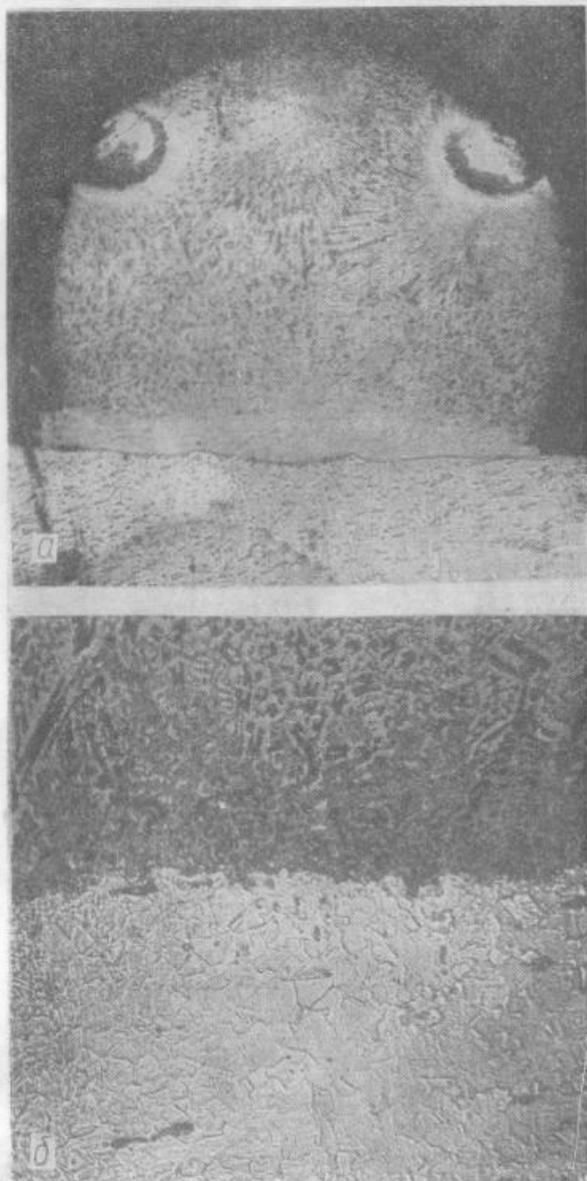
В зоне сварки на сормайтовом шарике четко видны участки (фиг. 78), подвергшиеся расплавлению. На пластинке из пермаллоя, который имеет более низкую температуру плавления, чем сормайт, указанные участки расплавления полностью отсутствуют.



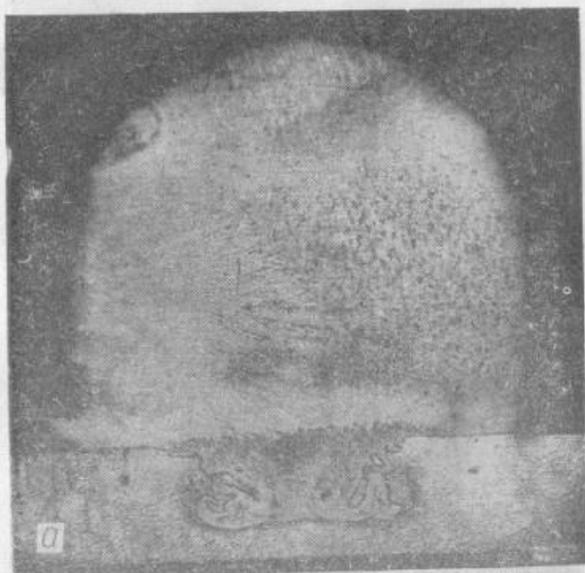
Фиг. 77. Структура участка сварки платинового штифта диаметром 1,5 мм и высотой 3 мм с образцом из стали 20 толщиной 20 мм (электролитическое травление). $\times 60$.

В зоне сварки сормайтового шарика с нержавеющей сталью (фиг. 79) четко видны участки, подвергавшиеся расплавлению как на шарике, так и на пластинке из нержавеющей стали, которая имеет температуру плавления более высокую, чем пермаллой. Непосредственно у линии сварки сормайтового шарика с пермаллом (фиг. 78,б) со стороны пермаллоя виден тонкий слой мелкозернистой структуры.

На участке сплавления сормайтового шарика с нержавеющей сталью (фиг. 79,б) как со стороны сормайтового шарика, так и со стороны нержавеющей стали видны мелкие столбчатые кристаллиты, направленные перпендикулярно линии раздела расплавленного и основного металлов. Однако участок расплавления резко отличается от обоих нерасплавленных основных металлов, что, вероятно, объясняется тем, что в процессе расплавления они интенсивно перемешиваются. Также характерно, что примыкающие к линии сплавления участки нержавеющей стали имеют мелкозернистую структуру.



Фиг. 78. Структура участка сварки сормайтowego шарика диаметром 1,2 мм с пластинкой из пермаллоя толщиной 0,3 мм (электролитическое травление):
а — $\times 60$; б — $\times 400$.



Фиг. 79. Структура участка сварки сормайтowego шарика диаметром 1,2 мм с пластинкой из нержавеющей стали типа 25-20, толщиной 0,3 мм (электролитическое травление);

a — $\times 60$; *b* — $\times 400$.

Приведенные выше данные металлографического анализа позволяют заключить, что процесс конденсаторной сварки может происходить различно.

1. Получение монолитного сварного соединения чаще всего происходит с расплавлением одного или обоих разнородных и однородных металлов. Вследствие интенсивных процессов перемешивания свариваемых металлов в ядре точки образуются новые сплавы, которые по химическому составу сравнительно однородны.

2. Возможно также получение монолитного сварного соединения без расплавления как одного, так и обоих разнородных металлов*. Сварка нерасплавившихся металлов сопровождается процессами рекристаллизации или перекристаллизации (для многофазных сплавов). В этом случае протекание указанных процессов является решающим для получения монолитных сварных соединений.

При монолитном соединении с расплавлением свариваемых металлов металлографический анализ всегда показывает наличие зоны сплавления. При этом можно различить расплавление как одного, так и обоих свариваемых металлов.

При расплавлении одного из свариваемых металлов нерасплавившийся металл служит кристаллизационной подкладкой для расплавленного. В сварной точке у линии сплавления образуются мелкие и искривленные столбчатые кристаллиты, расположенные по отношению к кристаллизационной подкладке под острым углом (фиг. 76,б). На другой стороне расплавленного участка, на границе расплавленного и нерасплавленного металлов, наблюдаются мелкие столбчатые кристаллиты, направленные перпендикулярно к нерасплавленной поверхности. Такое строение сварной точки указывает на наличие в ней пластической деформации со стороны участка сплавления. Возникновение такого участка объясняется тем, что в зоне контактирования металлов выделяется максимальное количество тепла, приводящее к местному перегреву сварной точки. В результате меньшего нагрева участка металла, максимально отдаленные от линии сплавления кристаллизуются при более высоких скоростях и пластически не деформируются**. Можно предположить, что такой механизм первичной кристаллизации существенно влияет на развитие внутренних напряжений [60, 61].

Рассматривая сварку без расплавления, можно отметить следующее. Металлографическое исследование показывает, что в процессе сварки происходит разогрев металлов в зоне контактирования до температуры размягчения — солидуса, что подтверждается наличием участков внедрения одного свариваемого металла в другой. Благодаря сжатию свариваемых металлов между электродами они сближаются на расстояния, достаточные для схватывания контактирующих поверхностей металла. Отсутствие дендритной литой структуры в зоне сварки (фиг. 77) подтверждает такой механизм сварки. Наличие мелкозер-

* О такой возможности указывалось раньше [34].

** Пластическая деформация участков максимального нагрева происходит за счет усилия сжатия электродов конденсаторной машины.

нистых участков металла, примыкающих непосредственно к линии сварки, указывает, что разогрев их был немногим выше A_{c_1} или происходил столь кратковременно, что зерна свариваемого металла после перекристаллизации не успели вырасти. Следовательно, при конденсаторной сварке мелкозернистая «околотоочечная» зона [42] получается прочной, чем она выгодно отличается от некоторых других способов сварки, при которых образуются крупнозернистые структуры, обладающие пониженными прочностью и пластичностью.

Сильное сжатие свариваемых металлов в период их нагрева и кратковременность процесса конденсаторной сварки практически исключают возможность образования окисных пленок в местах контактирования металлов. Это подтверждается металлографическими исследованиями большого количества сварных образцов из однородных и разнородных марок цветных и черных металлов, травленных различными реактивами и рассмотренных при разных увеличениях.

Приведенные выше данные позволяют утверждать, что при конденсаторной сварке без расплавления свариваемых металлов происходят процессы, близкие к процессам кузнечной сварки, т. е. наряду с разогревом выше температур A_{c_1} обоих (или одного) свариваемых металлов имеют место пластические деформации и процессы перекристаллизации или рекристаллизации.

При конденсаторной сварке высокой прочностью и пластичностью обладают сварные соединения из пластичных металлов и сплавов, не испытывающих полиморфных превращений, в которых факторы, способствующие развитию внутренних напряжений, минимальны.

Сварные соединения, выполненные конденсаторным способом, даже при наличии в процессе их сварки расплавления, имеют незначительную внутризеренную химическую неоднородность [42], что объясняется высокими скоростями охлаждения [59]. При конденсаторной сварке без плавления внутризеренная химическая неоднородность получается еще меньше.

Отсутствие значительной по величине внутризеренной химической неоднородности оказывает положительное влияние на качество сварных соединений, выполненных конденсаторным способом. При этом малая внутризеренная неоднородность препятствует развитию внутренних напряжений, а также образованию дефектов тонкой структуры. Поскольку при малой внутризеренной и, следовательно, междолинной неоднородности разновременность фазовых превращений незначительна, постольку незначительно и ее влияние на рост внутренних напряжений. Однако вопрос развития внутренних напряжений и дефектов тонкой структуры при конденсаторной сварке требует дальнейшего исследования и уточнения.

Таким образом, можно сделать следующие основные выводы:

1. Установлено, что точка сварного соединения из однородных металлов, выполненного конденсаторным способом сварки, как правило, имеет литую структуру и химически неоднородна. При этом различаются два вида химической неоднородности: дендритная и по слоям кристаллизации.

2. Процесс конденсаторной сварки разнородных металлов может происходить как с расплавлением, так и без расплавления металлов. При отсутствии расплавления в зоне сварки происходят процессы перекристаллизации или рекристаллизации. Во всех случаях конденсаторный способ сварки обеспечивает получение вполне качественных соединений.

3. При сварке конденсаторным способом разнородных металлов и сплавов, не склонных к образованию хрупких подкалочных структур, в «околочечной» зоне образуются мелкозернистые структуры, обладающие высокой пластичностью и прочностью.

4. Установлено, что в результате высоких скоростей охлаждения химическая неоднородность сварных точек, выполненных конденсаторным способом, невелика.

5. Можно считать, что для конденсаторной сварки наиболее благоприятными являются пластичные металлы и сплавы, не испытывающие полиморфных превращений.

6. Результаты исследований показывают принципиальную возможность сварки конденсаторным способом большинства различных металлов и сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алексеев А. А. и Ахун А. И.*, Электрическая контактная сварка, ОНТИ, 1935.
2. *Ахун А. И.*, Контактные электросварочные машины, Машгиз, 1953.
3. *Бабат Г. И.*, Высоковольтная конденсаторная сварка, «Сварщик», № 10, 1934.
4. *Бабат Г. И.*, Точечная и шовная сварка разрядом конденсатора, «Электричество», № 18, 1935.
5. *Браткова О. Н.*, Рабочий процесс контактной машины с накоплением энергии в магнитном поле, «Электричество», № 2, 1957.
6. *Браткова О. Н.*, К расчету сварочного трансформатора конденсаторной точечной машины, Сборник научных трудов МВТУ, вып. 69, 1955.
7. *Вологдин В. П.*, От лейденской банки до конденсатора будущего, «Электричество», № 2, 1946.
8. *Гельман А. С.*, Шунтирование при точечной сварке, «Автогенное дело», № 2, 1947.
9. *Гельман А. С.*, Особенности тепловых процессов и размеры сварной точки при сварке конструкционных сталей, «Автогенное дело», № 11, 1948.
10. *Гельман А. С.*, Контактная электросварка, Машгиз, 1949.
11. *Гельман А. С.*, Технология контактной электросварки, Машгиз, 1952.
12. *Глебов Л. В.*, Расчет сопротивления при точечной сварке малоуглеродистой стали, «Автогенное дело», № 8, 1951.
13. *Горячев И. М. и Смирнова Е. А.*, Технологический процесс изготовления меднохромового сплава для электродов контактных машин, «Автогенное дело», № 11, 1948.
14. *Евтифеев П. И.*, Конденсаторная сварка разнородных металлов, Труды ЛПИ, № 4, Машгиз, 1954.
15. *Жиров Г. А.*, Конденсаторы, применяемые в радиотехнике, Госэнергоиздат, 1950.
16. *Зотов В. П.*, Сварка аккумулированной энергией, «Электричество», № 11, 1948.
17. *Иванов В. А., Шадрин А. В. и Шорин П. И.*, Меднокадмиевый сплав для электродов точечных машин, «Автогенное дело», № 6, 1947.
18. *Каганов Н. Л.*, Электронные и ионные преобразователи, ч. II, Госэнергоиздат, 1955.
19. *Каганов Н. Л.*, Новые контактные машины МВТУ для сварки особо тонких деталей электровакуумных изделий, контрольно-измерительных приборов высокой точности и радиомонтажных схем, Сборник МВТУ № 20, «Новые вопросы сварочной техники», Машгиз, 1952.
20. *Каганов Н. Л.*, Эксплуатационные свойства конденсаторных машин МВТУ для сварки тонких и ультратонких деталей, Сборник МВТУ «Вопросы прочности и технологии сварки», Машгиз, 1955.
21. *Кисляк Ф. И.*, Электрическая контактная сварка, Оборонгиз, 1950.
22. *Кочановский Н. Я.*, Электрическая сварка в США, Госэнергоиздат, 1945.
23. *Кочановский Н. Я.*, Машины для контактной электросварки, Госэнергоиздат, 1954.
24. *Кочановский Н. Я.*, За совершенствование технологии электросварки, «Вестник электропромышленности», № 5, 1955.
25. *Кочановский Н. Я.*, Новое оборудование для электросварки, «Сварочное производство», № 8, 1956.
26. *Кочергин К. А.*, Контактная сварка, ОНТИ, 1936.

27. Кочергин К. А., Изменение контактного сопротивления при сварке точки, «Автогенное дело», № 12, 1938.
28. Кочергин К. А., Шунтирование сварочного тока при стыковой точечной и шовной сварке. Сборник ЛОНИТОС «Технология сварки», Машгиз, 1951.
29. Кочергин К. А., Выбор технологии контактной сварки, Судпромгиз, 1952.
30. Кочергин К. А., Основы контактной сварки, Машгиз, 1955.
31. Круг К. А. и др., Основы электротехники, Госэнергоиздат, 1952.
32. Маркин А. Г., Конденсаторная сварка и ее применение на заводе АТЭ-1. «Бюллетень по обмену техническим опытом», ОНТИ НИИ Автоприборов, № 8—9, 1956.
33. Моравский В. Э., Конденсаторная сварка тонких изделий из различных металлов, Изд-во «Київська правда», 1952.
34. Моравский В. Э., Конденсаторная сварка тонких изделий из различных металлов и сплавов, «Автогенное дело», № 3, 1953.
35. Моравский В. Э., Конденсаторная сварка металла малых толщин, Сборник докладов научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Н. Г. Славянова, Укрмашгиз, 1955.
36. Моравский В. Э., Конденсаторная сварка металла малых толщин и опыт ее внедрения в приборостроение, Сборник «Передовая технология машиностроения» изд-во Академии наук СССР, 1955.
37. Моравский В. Э., Конденсаторная сварка изделий из металла малых толщин, Изд. филиала ВИНТИ Гостехники СССР и АН СССР, № Т-56-191/2, 1956.
38. Моравский В. Э., Точечные конденсаторные машины типа ТКМ для сварки металла малых толщин, «Сварочное производство», № 1, 1956.
39. Моравский В. Э., Переносная точечная конденсаторная машина типа ПТКМ-1 для контактной сварки металла малых толщин, «Сварочное производство», № 7, 1956.
40. Моравский В. Э., Технология и оборудование для конденсаторной сварки изделий из металла малых толщин, Изд. филиала ВИНТИ Гостехники СССР и АН СССР, № Б-56-1, 1956.
41. Моравский В. Э. и Свечников С. В., Шовные конденсаторные машины типа ШКМ для сварки металла малых толщин, «Сварочное производство», № 3, 1957.
42. Моравский В. Э. и Россошинский А. А., О некоторых структурных особенностях токов при конденсаторной сварке однородных марок металла малых толщин, «Автоматическая сварка», № 4, 1957.
43. Россошинский А. А., Электролитическое травление в малоактивных электролитах, «Заводская лаборатория», № 5, 1956.
44. Россошинский О. А., Про розподіл деяких домішок у зварних швах, «Доповіді Академії наук УРСР», № 2, 1956.
45. Ренне В. Т., Электрические конденсаторы, Энергоиздат, 1947.
46. Сергеев В. С., Конденсаторные машины для точечной сварки легких сплавов, «Автогенное дело», № 2, 1947.
47. Фракт Р. Е., Опыт внедрения конденсаторной сварки тонких изделий и узлов из различных металлов и сплавов, «Сборник материалов по обмену производственно-техническим опытом», Изд. Отдела технической информации МРТП СССР, 1954.
48. Фролов Б. И., Конденсаторная сварка деталей автотракторного электрооборудования, «Автомобильная и тракторная промышленность», № 3, 1956.
49. Хренов К. К., Новости сварочной техники, Изд-во Академии Наук УССР, 1949.
50. Хренов К. К., Сварка, резка и пайка металлов, Машгиз, 1952.
51. Хренов К. К. и Моравский В. Э., Конденсаторная сварка деталей электроизмерительных приборов, «Автогенное дело», № 8, 1952.
52. Чеканов А. А., Сварочная техника в СССР, Машгиз, 1952.
53. Чибисов Г. П., Контактная конденсаторная сварка мелких и тонкостенных деталей, Изд. Ленинградского Дома научно-технической пропаганды, № 23, 1954.
54. Шибанов Ф. И. и Розенталь Н. К., Аппарат для шовной электросварки мембран, «Приборостроение», № 8, 1956.
55. Шаблыгин С. В., Контактная сварка с использованием запасенной кинетической энергии, «Автогенное дело», № 7, 1951.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>Глава I. Основные сведения о конденсаторной сварке</i>	7
Способы сварки аккумулированной энергией	7
Конденсаторная сварка и ее разновидности	10
Основные зависимости между электрическими параметрами конденсаторных машин	16
<i>Глава II. Машины для точечной и шовной конденсаторной сварки цветных и черных металлов малых толщин</i>	26
Электрические схемы точечных машин	26
Электрические схемы шовных машин	33
Конденсаторы и выпрямители	43
Сварочные и вспомогательные трансформаторы	46
Включатели в разрядной цепи конденсаторов	49
Механизмы сжатия	50
Конструкции маломощных конденсаторных машин	55
<i>Глава III. Электроды для точечной и шовной конденсаторной сварки металлов малых толщин</i>	67
Материалы для электродов	67
Электроды для точечной сварки	69
Электроды для шовной сварки	72
<i>Глава IV. Технология сварки цветных и черных металлов на точечных конденсаторных машинах</i>	74
Основные теоретические и технологические положения	74
Схемы процесса сварки на точечных конденсаторных машинах	81
Свариваемость металлов малых толщин при точечной конденсаторной сварке	87
Технология точечной конденсаторной сварки некоторых цветных металлов и сталей малых толщин	89
Стабильность точечной конденсаторной сварки	103
Влияние колебаний сетевого напряжения на прочность сварных точек	106
Влияние шунтирования тока на прочность сварных точек	107
Технология точечной конденсаторной сварки металлов неравных толщин	109
Технология пакетной и особых случаев конденсаторной сварки	113
<i>Глава V. Технология шовной конденсаторной сварки цветных и черных металлов малых толщин</i>	118
Схемы шовной сварки и типы соединений	118
Основные рекомендации по технологии шовной сварки	120
Техника шовной сварки	120
<i>Глава VI. Металлографический контроль и структурные особенности сварных соединений</i>	125
Некоторые особенности процесса конденсаторной сварки металлов и методика металлографического исследования сварных соединений	125
Некоторые структурные особенности точек при конденсаторной сварке металлов однородных марок малых толщин	126
Структурные особенности соединений при конденсаторной сварке разнородных металлов малых и неравных толщин	132
<i>Литература</i>	140

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в области сварки металлов малых толщин наблюдается быстрый рост интереса к этому виду работ. Это связано с тем, что в настоящее время все шире применяются металлы малых толщин в различных отраслях промышленности, в частности в авиационной, ракетостроительной, приборостроительной и других. Сварка металлов малых толщин имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при выборе методов и режимов сварки. В настоящее время в литературе по сварке металлов малых толщин накоплено большое количество данных, однако до сих пор отсутствуют систематические сведения о методах и режимах сварки металлов малых толщин. Поэтому в настоящее время актуальна задача систематизации и обобщения имеющихся данных по сварке металлов малых толщин. В настоящей книге собраны материалы, относящиеся к сварке металлов малых толщин, опубликованные в журнале «Сварка» за последние годы. В книге приведены сведения о методах и режимах сварки металлов малых толщин, а также о свойствах сварных соединений. Книга предназначена для специалистов, работающих в области сварки металлов малых толщин, а также для студентов и аспирантов, обучающихся по специальности «Сварочное производство».

Владислав Эдуардович Моравский

Конденсаторная сварка металлов малых толщин

Редактор *Н. П. Онищенко*

Корректор *О. С. Ковалчук*

Подписано к печати 4. I. 1960 г. Формат 60×92¹/₁₆. Печ. лист. 9. Уч.-изд. лист. 9,98.
БФ 04611. Тираж 3500. Зак. № 848. Цена 5 руб.

Южное отделение Машгиза, Киев, ул. Парижской коммуны, 11

Отпечатано с матриц Киевской книжно-журнальной фабрики Главполиграфиздата
Министерства культуры УССР в Харьковской типографии Госгортехиздата, Харьков,
ул. Энгельса, 11, Зак. 231.