

М302 141

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

БУКИНА Лариса Ивановна

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ
КОНДЕНСАТОРНОЙ СВАРКИ ПЛОСКОКОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ
ДЕТАЛЕЙ НЕРАВНЫХ ТОЛЩИН

(Специальность 05.04.05 - Технология и машины
сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

БУКИНА Лариса Ивановна

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ
КОНДЕНСАТОРНОЙ СВАРКИ ПЛОСКОКОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ
ДЕТАЛЕЙ НЕРАВНЫХ ТОЛЩИН

(Специальность С5.04.05 - Технология и машины
сварочного производства)

17302141

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1302141

Букина Л.И. Разработка и

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель — доцент, к.т.н. КАГАНОВ Н.Л.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор ОРЛОВ Б.Д.

Кандидат технических наук АНДРЕЕВ Н.Х.

Ведущее предприятие — НИИ "Техноприбор", г. Смоленск.

Защита диссертации состоится " _____ " _____ 197_ г.
на заседании специализированного Совета _____

Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им. Н.Э.Баумана по адресу:
Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., д. 5.

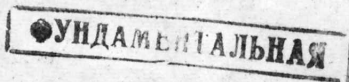
Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1976 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
специализированного совета
доктор технических наук

ЯМЦЕВСКИЙ В.М.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В изделиях современной техники широко представлены соединения деталей толщиной менее 0,25 мм с деталями практически неограниченной толщины. К этим соединениям часто предъявляются высокие требования по прочности и герметичности. Разработанные до настоящего времени методы сварки таких соединений далеко не всегда гарантируют получение предъявляемых к ним требований. В связи с этим решение проблемы сварки указанных соединений является актуально* задачей, отвечающей насущным нуждам промышленности.

Целью настоящей работы явилось выявление закономерностей соединения деталей неравной толщины; определение условий и способа получения высококачественного герметичного плоскоколькового шва при сварке деталей толщиной менее 0,25 мм с деталями практически неограниченной толщины.

Исследование условий получения сварного соединения, отвечающего предъявляемым к нему требованиям по прочности и герметичности, проводилось на примере рассмотрения условий формирования сварного соединения деталей мембранного узла дифференциального манометра.

Методы исследования. В работе экспериментальные исследования сочетались с теоретическими разработками. Основными методами экспериментальных исследований являлись осциллографирование электрических параметров процесса сварки; моделирование электрического поля в свариваемых деталях; испытание сварного соединения на герметичность с помощью гелиевого течеискателя ПТИ-7; испытание сварного шва на прочность опрессовкой гидравлическим и пневматическим давлением; металлографический анализ. Для проведения исследований было разработано и создано экспериментальное оборудование, позволяющее в широких пределах регулировать электрические параметры процесса сварки. При разработке расчетно-экспериментального метода определения температур в зоне сварки использовался машинный счет.

Научная новизна. В результате теоретических и экспериментальных исследований была разработана физическая модель процесса сварки деталей толщиной менее 0,25 мм с деталями практически неограниченной толщины.

На основании созданной физическо* модели процесса предложена методика определения температурного состояния зоны сварки, основанная на предположении существования 3-х источников тепловыделения - объемного в массе свариваемых деталей и 2-х

плоских, расположенных в плоскостях электродного и сварочного контактов, — и учитывая охлаждающее влияние электрода, расположенного со стороны тонкой детали.

Получена аналитическая зависимость температуры в зоне сварки от теплофизических свойств материала электрода, свариваемых деталей и режима сварки.

Расчет температурных полей позволил провести количественную оценку влияния материала электрода на тепловое состояние зоны сварки. Рассчитанная по разработанной методике глубина проплавления свариваемых деталей имеет удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований удалось обосновать и сформулировать требования к процессу и оборудованию для конденсаторной сварки деталей неравной толщины. Способ сварки, основанный на использовании электродов с пониженной по отношению к меди теплопроводностью, и импульса тока с 2-х ступенчатой геометрией, позволил получить прочноплотные соединения мембраны с массивным штуцером, отвечающие предъявляемым к ним требованиям.

Апробация. Основные положения работы доложены на совместном семинаре общественного НИИ кафедр сварочного производства, г. Москва, 1974, на Белорусской республиканской конференции по сварке, г. Могилев, 1975 г. и на внутривузовской преподавательской конференции, г. Рбинск, 1976 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов по работе и приложения. Выполнена на 114 машинописных листах, содержит 48 рисунков, 14 таблиц и 84 наименования используемых литературных источников.

Глава первая содержит обзор литературы по исследуемому вопросу, анализ результатов предварительных экспериментов и постановку цели и задач исследования. Анализ состояния вопроса показал, что контактная сварка деталей неравных толщин обеспечивает получение соединений, к которым предъявляются, в основном, требования по герметичности. В тех случаях, когда к сварному соединению предъявляются повышенные требования по прочности и герметичности разнотолщинность стальных свариваемых деталей обычно не превышает 1:3 — при этом соотношении, как правило, обеспечивается формирование литой зоны нормальных размеров. Увеличение соотношения толщин свариваемых деталей приводит к снижению качества сварки и существующие методы и приемы не гарантируют получение соединений с требуемыми

свойствами. Низкое качество соединений обусловлено смещением литого ядра из плоскости сопряжения деталей, при этом значительное влияние на расположение литой зоны оказывает абсолютное значение толщины тонкой детали. Исследователи (Орлов Б.Д., Чулошников П.Л. и др.) отмечают, что при сварке деталей неравных толщин в зависимости от толщины тонкой детали (более или менее 0,25 мм) существенно изменяются условия образования сварного соединения. В связи с этим целью настоящего исследования явилось выявление общих закономерностей соединения деталей толщиной менее 0,25 мм с деталями практически неограниченной толщины; определение условий и способа получения высококачественного герметичного плоскокольцевого шва при сварке деталей резко различной толщины.

В настоящем исследовании выявление закономерностей формирования соединения деталей неравных толщин проводилось на примере рассмотрения условий образования сварного соединения деталей мембранного узла дифференциального манометра. Выбор мембранного узла в качестве примера для проведения исследований определился широким использованием подобных конструкций с круговыми и прямоугольными швами на плоскости в различных областях промышленности. Соотношение толщин свариваемых деталей в рассматриваемом узле составляет 1:80 - 1:100 при толщине тонкой детали 0,1 мм.

В качестве базового способа был выбран способ конденсаторной сварки перекрывающимися точками. Использование конденсаторного источника питания позволяет плавно регулировать геометрию импульса и получать разнообразные, но стабильные по величине и форме импульсы сварочного тока. Кроме того обеспечивается программированное введение в зону сварки электрической энергии, что особенно важно при соединении деталей неравных толщин.

Выполнение соединения методом перекрывающихся точек обеспечивает возможность получения на плоскости герметичных сварных швов любой конфигурации, а шаговое перемещение свариваемых деталей при поднятом электроде позволяет избежать нежелательной пластической деформации тонкой детали, приводящей к образованию "карманов".

Предварительные эксперименты по сварке деталей мембранного узла дифференциального манометра методом перекрывающихся точек с использованием режимов, рекомендованных в литературе для соединений деталей неравных толщин, не дали положительных результатов. Предпринятый ориентировочный расчет режима сварки

Для деталей резко различных по толщине с использованием конденсаторного источника питания проводился на основании известных положений: 1) режим сварки подбирается по толщине тонкой детали и 2) форма и размер электрода, расположенного со стороны массивной детали, не оказывают влияния на формирование соединения. Расчет геометрии импульса базировался на методике, разработанной в лаборатории сварки МВТУ Н.Л.Кагановым.

Выбор диаметра электрода, расположенного со стороны тонкой детали проводился при условии получения оптимальных формы и размеров литого ядра. Известно, что при сварке деталей малых толщин оптимальным является соотношение

$$d_3 \approx 3\sqrt{\delta} \quad (I)$$

Усилие сжатия рассчитывалось по критерию подобия. На расчетном режиме была проведена серия экспериментальных сварок. Результаты предварительных экспериментов позволили выявить дефекты, характерные для соединения деталей неравных толщин. Анализ результатов эксперимента показал, что на расположение, форму и размеры литого ядра существенное влияние оказывают соотношение толщин свариваемых деталей, длительность импульса сварочного тока, теплопроводность материала электрода. Для определения влияния этих параметров на формирование соединения и определения условий получения высококачественного сварного шва необходимо решить следующие задачи: исследовать и выявить взаимосвязь между формой и расположением литого ядра, соотношением толщин свариваемых деталей и основными параметрами режима сварки; разработать методику расчета температурных полей в зоне сварки для деталей малых и неравных толщин ($\delta_{\text{тонк}} \leq 0,25$ мм); оценить охлаждающее влияние электрода, расположенного со стороны тонкой детали, на теплосодержание сварочного контакта; сформулировать условия достижения симметричного расположения литого ядра относительно плоскости сопряжения деталей. На основании полученных закономерностей разработать процесс сварки деталей мембранного узла, представляющего собой соединение деталей толщиной $(0,1+8)$ мм; разработать экспериментальное оборудование, позволяющее получать геометрию импульса с широким диапазоном регулирования ее параметров; провести опытно-промышленное опробование разработанного процесса сварки.

Глава вторая посвящена разработке методики проведения экспериментальных исследований. Для решения рассматриваемых задач было разработано экспериментальное оборудование, отличительной особенностью которого являлось то, что в первичную цепь сварочного трансформатора был включен секционированный дроссель насы-

щения, шунтируемый тиристором с помощью электронного реле времени. Включение в сварочную цепь различного количества секций дросселя позволяет получать импульсы с разнообразной геометрией, с различными скоростями нарастания тока в разные моменты его прохождения.

Механическая часть кроме прочего обеспечивала поворот свариваемых деталей после подъема электрода во время паузы сварочного цикла, регулировку диаметра сварочного шва и перекрытия точек.

Для выявления зависимости между электрическими параметрами режима сварки и расположением и формой литого ядра была разработана и выбрана методика регистрации падения напряжения и сварочного тока.

В рассматриваемом случае сварки деталей неравных толщин, когда наблюдается резкая асимметрия в расположении сварочного контакта относительно электродов, необходимо было уточнить базу измерения падения напряжения. Моделирование электрического поля позволило установить, что независимо от соотношения толщин свариваемых деталей база для измерения падения напряжения на контакте совпадает с положением концевых эквипотенциалей. Измерительные щупы при этом ^{должны} быть расположены на расстоянии не менее половины толщины массивной детали от оси электродов.

При проведении экспериментов регистрация сварочного тока и падения напряжения на различных участках межэлектродной зоны при сварке деталей производилась с помощью 2-х лучевого электронного осциллографа CI-5I. В соответствии с задачами исследований была также разработана методика определения падения напряжения на дополнительном контактном сопротивлении. В соответствии с теорией электрического контакта, разработанной Холмом, падение напряжения на контакте складывается из падения напряжения в слоях металла, примыкающих к контакту, и падения напряжения на дополнительном контактном сопротивлении, вызванном стягиванием линий тока к отдельным токоподводящим пятнам в плоскости контакта. Методика основывалась на определении разности между величиной падения напряжения на контакте в процессе образования сварной точки и величиной падения напряжения, измеренной при повторном пропускании импульса через сваренную точку.

В связи со сложностью измерения температуры в контактах при точечной конденсаторной сварке малогабаритных деталей достовер-

ность теоретических расчетов и результаты экспериментов оценивались косвенным путем по положению изотермы плавления на шлифах при металлографических испытаниях.

Сварные соединения подвергались также испытаниям на герметичность и вибропрочность. Герметичность сварных швов оценивалась на гелиевом течеискателе ПТИ-7, а вибропрочность – при опрессовке мембранного узла давлением в 250 атм и циклических испытаниях с частотой 25 Гц и амплитудой 0,1 мм в количестве 20000 циклов.

Глава третья посвящена выявлению закономерностей распределения плотности тока в зависимости от соотношения толщин свариваемых деталей, разработке расчетно-экспериментального метода определения температурного состояния зоны сварки, количественной оценке охлаждающего действия электрода, расположенного со стороны тонкой детали. Для выявления зависимости распределения плотности тока от соотношения толщин свариваемых деталей из-за сложности задания граничных условий и приближенных результатов решения использовался расчетно-экспериментальный метод, основанный на получении подобного электрического поля на плоских неоднородных моделях. Моделирование электрического поля, образующегося при выполнении шва, показало, что токи шунтирования при 30% перекрытии точек составляют примерно 15%. Специфика герметизации деталей методом перекрывающихся точек и результаты моделирования дали возможность исследовать этот процесс на основе рассмотрения условий формирования отдельной сварной точки.

В результате моделирования было установлено, что с увеличением толщины массивной детали неравномерность распределения плотности тока в плоскости сварочного контакта также увеличивается. В полученном распределении плотности тока были выделены две зоны: центральная – с равномерной пониженной плотностью, через которую протекает половина общего тока, и периферийная зона с резко возрастающей плотностью тока. Площадь центральной зоны лежит в пределах от 0,71 диаметра контакта D_k для равных толщин до 0,80 D_k для соотношения толщин (0,1+4,0) мм и выше. Установлено также изменение плотности тока по свариваемым деталям вдоль оси Z для центральной j_{zp} и периферийной j_{zp} токопроводящих областей:

$$j_{zp} = j_{kp} e^{uz+dz^2} \quad (2)$$

$$j_{zp} = j_{kp} e^{nz+mx^2} \quad (3)$$

где $j_{\text{кц}}, j_{\text{кп}}$ - средние плотности тока в центральной и периферийной зонах контакта,
 k, u, d, p, n, m - коэффициенты.

Анализ результатов моделирования показал, что полученные количественные зависимости удовлетворительно согласуются с теоретическими разработками, выполненными Хольмом. Он показал, что при контактировании двух полубесконечных тел распределение плотности тока в плоскости контакта выражается аналитической зависимостью и центральная часть контакта, через которую протекает половина общего тока, имеет диаметр 0,866.

Для выявления условий получения симметричного расположения литого ядра при сварке деталей неравных толщин была разработана методика определения температурного состояния зоны сварки и намечены пути управления тепловым полем.

Методика расчета распределения температур базируется на предположении существования 3-х источников тепловыделения и стока теплоты в электрод, расположенный со стороны тонкой детали. При этом были сделаны следующие основные допущения:

1. Распределение температур в межэлектродной области определяется в направлении наибольшего градиента температур, т.е. вдоль оси электродов,

2. Рассматривается одномерная задача распределения температур в условных стержнях, расположенных в центральной и периферийной зонах токопроводящей области металла,

3. Теплообмен между боковыми поверхностями стержней отсутствует.

4. Рассматривается стадия нагрева свариваемых деталей,

5. Теплофизические свойства материалов принимаются постоянными, независимыми от температуры. В задаче не рассматривается также изменение агрегатного состояния вещества.

Источники тепловыделения представлены: объемным, действующим в массе деталей и обусловленным сварочным током; плоским источником, действующим в контакте "деталь-деталь"; плоским источником, действующим в контакте "электрод-деталь".

Решение дифференциального уравнения распределения температур проводилось отдельно для каждого источника тепловыделения. Для случая контактирования 2-х полубесконечных стержней с разными и одинаковыми теплофизическими свойствами, когда в контакте между ними действует плоский источник тепловыделения постоянной

мощности $Q_{\text{э-д}}$ или $Q_{\text{д-д}}$, имеется в теории теплопроводности (Лыков А.В.):

$$T_1(z,t) = \frac{2q_{\text{э-д}}}{\lambda_1} \sqrt{a_1 t} \frac{K_\epsilon}{1+K_\epsilon} \operatorname{ierfc} \frac{z}{2\sqrt{a_1 t}}; \quad (4)$$

$$T_1(z,t) = \frac{2q_{\text{д-д}}}{\lambda_1} \sqrt{a_1 t} \frac{1}{2} \operatorname{ierfc} \frac{z}{2\sqrt{a_1 t}}, \quad (5)$$

где $T_1(z,t)$ - температура в металле свариваемых деталей,

λ, c, γ - средняя теплопроводность, средняя теплоемкость и удельный вес металла деталей,

$K_\epsilon = \sqrt{\frac{\lambda_1 c_1 \gamma_1}{\lambda_2 c_2 \gamma_2}}$ - отношение тепловых активностей стержней (материала свариваемых деталей и электрода),

$\operatorname{ierfc} X$ - интеграл n -ой степени от функции ошибок Гаусса.

Влияние электрода, расположенного со стороны тонкой детали, на температурное состояние зоны сварки учитывалось при решении задачи распределения температур. В процессе сварки мощность источника, действующего в объеме свариваемых деталей $Q_{\text{ви}}$, не остается постоянной во времени, а меняется согласно изменению сварочного тока. Так как распределение температур определяется на стадии нагрева длительностью t_n , то можно было принять, что изменение мощности в этот период носит линейный характер:

$$q_{\text{ви}} = b t_n \quad (6)$$

В этом случае распределение температур, обусловленное объемным источником тепловыделения, имеет вид:

$$T_1(z,t) = \frac{b p^2}{(c \gamma)_1} t^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{2} e^{2(nz + m \sqrt{t})^2} + \frac{64 n K_\epsilon}{1 + K_\epsilon} \sqrt{a_1 t} \operatorname{ierfc} \frac{z}{2\sqrt{a_1 t}} - \frac{16}{1 + K_\epsilon} \operatorname{ierfc} \frac{z}{2\sqrt{a_1 t}} \right) \quad (7)$$

Результирующее температурное поле находится суммированием температурных полей от каждого отдельного источника.

Мощность объемного источника нагрева $Q_{\text{ви}}$ и скорость ее изменения в процессе нагрева "b" определяется отдельно для центральной и периферийной зон токопроводящей области металла:

$$Q_{\text{виц}} = \frac{p}{(c \gamma)_1} \int z_{\text{ц}}^2 \quad (8a)$$

$$Q_{\text{вип}} = \frac{p}{(c \gamma)_1} \int z_{\text{п}}^2 \quad (8)$$

Мощность контактного тепловыделения, вызванного существованием добавочного сопротивления и обусловленного искривлением линий тока, определялась по формулам:

$$Q_{\text{э-д}} = \int_0^t I(t) \Delta U_{\text{э-д}} dt \quad (9a)$$

$$Q_{\text{д-д}} = \int_0^t I(t) \Delta U_{\text{д-д}} dt \quad (9)$$

где $\Delta U_{\text{э-д}}$ и $\Delta U_{\text{д-д}}$ - разность в величинах падений напряжения в электродном и сварочном контактах, измеренных в процессе сварки

и после нее при пропускании повторного импульса по сваренной точке. Установлено, что длительность существования контактного сопротивления, вызванного стягиванием линий тока, и величина падения напряжения ΔU на нем зависят от теплофизических свойств контактирующих материалов. Так, средняя величина падения напряжения ΔU при контактировании нержавеющей стали с нержавеющей сталью и нержавеющей стали с медью составляет (0,32±0,30) В и (0,09±0,1) В соответственно.

Расчет мощностей 3-х источников тепловыделения, проведенный на основании заданного режима сварки для деталей, изготовленных из нержавеющей стали типа Х18Н10Т, позволили получить температурные поля в зоне сварки для сочетаний толщин свариваемых деталей: (0,1±0,1) мм; (0,1±0,3) мм; (0,1±0,8)+(0,1±1,0) мм (рис. 1) и (0,1±4,0) мм.

Расчет распределения температур дал возможность оценить количество теплоты, отводимой в медный электрод, расположенный со стороны тонкой детали, в период теплонасыщения. При диаметре медного электрода 1,0 мм, толщине тонкой детали 0,1 мм и расчетной геометрии импульса оно составляет 15-20% от общего количества теплоты, выделенной в межэлектродной области в период теплонасыщения.

Полученные закономерности распределения плотности тока, расчет температурных полей и оценка охлаждающего влияния электрода дали возможность разработать физическую модель процесса образования определенной (эллипсоид, конус, тороид) формы литого ядра и его расположения относительно плоскости сопряжения деталей. Так, при сварке деталей толщиной (0,1±1,0) мм распределение плотности тока в сварочном контакте неравномерно, в центральной части плотность тока ниже средней, что в условиях интенсивного теплоотвода в электрод, расположенный со стороны тонкой детали, и значительных тепловых потерь в массивную деталь, обладающую большой теплоемкостью, приводит к формированию литого ядра в массивной детали (плавление тонкой детали отсутствует).

Повышенная плотность тока по периферии контакта обеспечивает достаточное проплавление тонкой детали, в результате чего образуется менискообразное ядро (рис.1). Дальнейшее увеличение толщины массивной детали приводит к росту плотности тока по периферии и снижению его в центральной части контакта, что при тех же условиях теплоотвода обуславливает формирование тороидального литого ядра. Использование известных приемов по умень-

шению тепловых потерь в электрод, расположенный со стороны тонкой детали, позволяет смещать литое ядро в плоскость контакта. В настоящем исследовании для этой цели применялся электрод с пониженной теплопроводностью. Расчет температурных полей при определенном режиме и анализ предварительных экспериментов по соединению разнотолщинных деталей из нержавеющей стали позволили установить, что для формирования литого ядра в плоскости сварочного контакта необходимо снизить тепловые потери в электрод до 10%. Это возможно при уменьшении теплопроводности материала электрода до 40+50% по отношению к теплопроводности меди.

Однако жесткие требования по стойкости, предъявляемые к электроду в условиях сварки перекрывающимися точками, определили выбор комбинированного электрода с вольфрамовой вставкой. Расчет температурного поля и экспериментальные исследования при том же режиме показали, что литое ядро переместилось в плоскость контакта, при этом глубина проплавления тонкой детали неравномерна и составляет 50-60% ее толщины в периферийной зоне.

Анализ температурного поля и путей управления им показал, что наиболее целесообразным способом достижения равномерной глубины проплавления тонкой детали является перераспределение плотности тока в процессе сварки за счет изменения геометрии импульса сварочного тока.

Глава четвертая посвящена исследованию влияния геометрии импульса сварочного тока на формирование соединения и разработке режима сварки деталей неравных толщин.

Уменьшение чрезмерно^о проплавления тонкой детали по периферии контакта, вызванного применением комбинированного электрода с вольфрамовой вставкой и "жесткого" импульса, возможно за счет снижения мощности источников, действующих в контактах, путем стабилизации контактных сопротивлений. Анализ литературных данных показал, что наиболее рациональным путем достижения этого в условиях сварки деталей неравных толщин является снижение скорости нарастания тока в начальной стадии его прохождения. Исследование влияния отклонения различных параметров расчетной геометрии импульса на формирование соединения показало, что большая скорость нарастания основного импульса ($\sim 150 \cdot 10^4$ А/с) при малой скорости нарастания стабилизирующего тока ($\sim 5 \cdot 10^4$ А/с) в начальный момент не обеспечивают равномерного проплавления тонкой детали по всей площади контакта. Образование тороидального ядра в этом случае объясняется тем, что при некотором снижении контактного сопротивления импульс с большой скоростью нараста-

ния сварочного тока вызывает плавление деталей лишь в областях максимального тепловыделения, т.е. по периферии контакта.

Увеличение скорости нарастания стабилизирующего тока до ($\sim 10 \cdot 10^4$ А/с) приводит к резкому увеличению съема расплавленного металла и почти сквозному проплавлению тонкой детали, так как количество энергии, вводимой в межэлектродную область в первые миллисекунды, обеспечивает не только стабилизацию контактных сопротивлений, но и подогрев свариваемых деталей. Проведенные эксперименты показали также, что снижение мощности контактных тепловыделений незначительно влияет на формирование соединения. В связи с этим возникла необходимость в изменении распределения источников теплоты, действующих в объеме свариваемых деталей. Такое перераспределение может быть достигнуто при уменьшении скорости нарастания сварочного тока. Снижение последней создает такие условия в зоне сварки, при которых на формирование температурных полей начинает оказывать существенное влияние и процессы теплопередачи. Начавшееся плавление деталей по периферии контакта значительно увеличивает сопротивление этой зоны, в результате чего линии тока оттесняются к центру контакта, повышая здесь плотность тока. Исследование кинетики формирования соединения показали, что плавление начинается от периферийных зон и распространяется к центру, обеспечивая достаточно равномерное расплавление по всей площади контакта. Оптимальной геометрией импульса для выполнения герметичного соединения деталей мембранного узла методом перекрывающихся точек является, как показали исследования, 2-х ступенчатая со следующей характеристикой: I ступень — амплитуда $(0,15-0,20) \cdot 10^3$ А; скорость нарастания тока $(5-6) \cdot 10^4$ А/с, длительность $(2-4) \cdot 10^{-3}$ с; II ступень — амплитуда $(2,2-2,4) \cdot 10^3$ А, скорость нарастания тока $(60-70) \cdot 10^4$ А/с, длительность нарастания около $5 \cdot 10^{-3}$ с, общая длительность ступени $(13-15) \cdot 10^{-3}$ с.

Указанная геометрия импульса использовалась в сочетании с комбинированным электродом с вольфрамовой вставкой и диаметром контактной поверхности 1,0 мм при сварочном давлении 35 ± 28 кГ.

Сваренные по разработанному способу мембранные узлы подвергались испытаниям на герметичность, прочность, циклоустойчивость и циклопрочность. Результаты испытаний показали, что сварной шов, соединяющий массивный штуцер с мембраной, удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, а разработанный способ сварки целесообразен для использования его при выполнении прочноплотных швов на плоскости деталей толщиной менее

0,25 мм с деталями практически неограниченной толщины.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Изучение и анализ способов сварки, применяемых при изготовлении узлов, которые включают соединения деталей неравных толщин, показали, что использование конденсаторной сварки перекрывающимися точками может сократить материалоемкость некоторых изделий, обусловленную заложенным способом сварки. В частности, расход материала при изготовлении мембранного узла дифференциального манометра может быть сокращен в 1,5 раза.

2. Анализ состояния вопроса позволил установить, что основным препятствием в использовании конденсаторной сварки для получения прочноплотного соединения деталей с соотношением толщин более 1:3 является смещение литого ядра из плоскости сварочного контакта и нарушение герметичности соединения.

3. В результате моделирования установлено, что при толщине тонкой детали менее 0,25 мм определяющее значение в распределении плотности тока имеет толщина массивной детали. С ростом толщины массивной детали неравномерность распределения плотности тока в плоскости сварочного контакта и по толщине деталей увеличивается. При этом диаметр окружности в плоскости контакта, внутри которой протекает половина общего тока, меняется в пределах (0,71-0,8) диаметра контакта, а изменение плотности тока по толщине деталей в центральной и периферийной зонах токопроводящей области металла происходит с разной интенсивностью и удовлетворительно описывается полученными при моделировании эмпирическими зависимостями.

4. Предложена методика расчета распределения температур в зоне сварки при соединении деталей неравных толщин, основанная на предположении существования трех источников тепловыделения (объемного и двух плоских в контактах "электрод-тонкая деталь" и "деталь-деталь") и стока теплоты в электрод.

5. Расчет распределения температур позволил оценить потери теплоты в электрод, расположенный со стороны тонкой детали. Установлено, что на стадии теплонасыщения длительностью около $3 \cdot 10^{-3}$ с при общей длительности импульса $6 \cdot 10^{-3}$ с количество теплоты, отводимой в медный электрод диаметром 1,0 мм и толщине тонкой детали 0,1 мм составляет 15-20% от общей теплоты, выделенной в период теплонасыщения в межэлектродной области.

6. Анализ распределения температурных полей и условий сварки позволил определить требования к электроду. Установлено, что для стабильного формирования литого ядра с равномерным проплавлением тонкой детали необходимо, чтобы материал электрода имел теплопроводность, при которой количество теплоты, отводимой в электрод, не превышало 10% от общей, выделенной в межэлектродной зоне; электрод должен обладать повышенной износостойкостью с целью сохранения формы и размеров контактной поверхности. Этим требованиям удовлетворяет комбинированный электрод с вольфрамовой вставкой. Применение такого электрода позволяет повысить его стойкость по сравнению с медными и медносплавными электродами в 5 и более раз.

7. Рациональным средством снижения неравномерности проплавления тонкой детали является использование импульса с 2-х ступенчатой геометрией, при которой на начальной стадии в $(2-4) \cdot 10^{-3}$ с скорость нарастания тока не превышает $0,1 \cdot 10^6$ А/с, а затем повышается до $(0,6-0,8) \cdot 10^6$ А/с.

8. Установлено, что использование электрода с пониженной теплопроводностью в сочетании с 2-х ступенчатым импульсом, обеспечивает получение сварных соединений деталей толщиной менее 0,25 мм с деталями практически неограниченной толщины, в частности, мембраны со штуцером, которые прошли опытно-промышленное опробование и отвечают всем предъявляемым к ним требованиям.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Букина Л.И., Шашин Д.М. Методы уменьшения шероховатости шва при сварке разнотолщинных деталей из стали типа Х18Н10Т. Тр. Моск. высш. уч-ща им. Н.Э. Баумана, 1974, № 182.
2. Каганов Н.Л., Букина Л.И. Исследование способа сварки разнотолщинных деталей дифференциального манометра. "Известия вузов. Машиностроение", 1975, № 4.
3. Букина Л.И. Расчет распределения температур при точечной сварке деталей неравных толщин. Материалы Республиканской научно-технической конференции по сварке. Могилев, октябрь, 1975.
4. Лобасов И.М., Каганов Н.Л., Исаев А.П., Букина Л.И. Метод регулирования начальной стадии импульса сварочного тока конденсаторных машин. "Электротехническая промышленность. Электросварка", 1976, № 2.

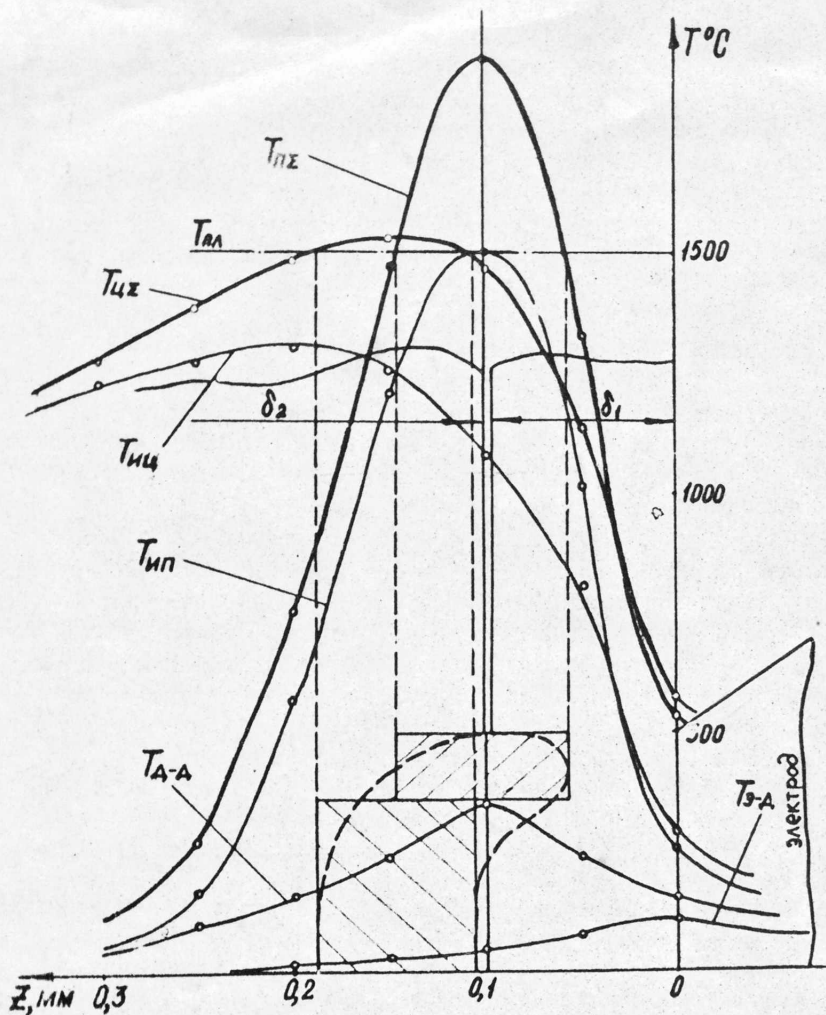


Рис. 1. Распределение температур при сварке деталей неравной толщины (0,1+1,0) мм $I_m = 2,0$ кА; $t_w = 6 \cdot 10^{-3}$ с; электрод медный

$T_{цз}$ - суммарная температура в центральной части контакта.

$T_{пз}$ - по периферии контакта.