

М302 145

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

ЛОБАСОВ Игорь Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАТОРНОЙ
ПОВНОЙ СВАРКИ ДЕТАЛЕЙ РЕЗКО РАЗЛИЧНОЙ
ТОЛЩИНЫ ПРИМЕНительно К СИЛЬФОННЫМ
УЗЛАМ.

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

ЛОБАСОВ Игорь Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАТОРНОЙ
ШОВНОЙ СВАРКИ ДЕТАЛЕЙ РЕЗКО РАЗЛИЧНОЙ
ТОЛЩИНЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИЛЬФОННЫМ
УЗЛАМ.

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

1302145

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1302145

Лобасов И. М. Исследование

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент
КАГАНОВ Н.Л.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор БРАТКОВА О.Н.

Кандидат технических наук, доцент ЧАКАЛЕВ А.А.

Ведущее предприятие – НИИ "Техноприбор" г.Смоленск.

Защита диссертации состоится " _____ " 1977 г.
на заседании специализированного Совета К33/3 по технологиям
и машинам сварочного производства Московского ордена Ленина
и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического
училища имени Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва,
2-я Бауманская ул., д.5.

Наши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью,
просим высылать по указанному адресу.

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

Автореферат разослан " _____ " 1977 г.

УЧЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ
специализированного Совета

доктор технических наук, доцент
ЯМПОЛЬСКИЙ В.М.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

Л 106246 Подп.к печ. 19.01.77. Тип.МВТУ. Зак.223. Тир.100экз.

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность работы. В современной технике используется большое количество изделий, при производстве которых приходится сваривать контактной шовной сваркой детали толщиной менее 0,5 мм с деталями большой толщины (более 10 мм). Типичным примером такого изделия являются сильфонные узлы, широко используемые в пневматических датчиках давления. Эти датчики являются важными элементами систем централизованного контроля и автоматического управления многих особо ответственных устройств. При изготовлении таких узлов необходимо сваривать сильфоны из стали X18H10T и 36HXTU толщиной 0,08-0,2 мм с арматурой диаметром 8-160 мм при внутреннем её расположении. От качества выполнения сварного соединения зависит надёжность и точность работы датчика и всей системы в целом.

Анализ качества шовной сварки сильфонных узлов на заводе "Манометр" показал, что существующая технология не обеспечивает стабильной герметичности и прочности соединений. Это приводит к значительному браку (до 14%) вакуумированных сильфонных узлов (при разрешении 10^{-5} мм рт.ст.). Общие потери от брака только на заводе "Манометр" составляют 21000 рублей в год.

Цель работы. Целью настоящей работы являлось повышение стабильности показателей качества и эффективности контактной шовной сварки деталей резко различной толщины применительно к сильфонным узлам пневматических датчиков давления путём выявления и создания условий для образования между деталями сплошной литой зоны.

Методы исследований. Работа выполнена путем сочетания экспериментальных исследований с теоретическими разработками. Для качественной оценки распределения плотности тока и температурных полей в зоне сварки использованы плоские металлические модели сварного шва и расчёт распределения температур методом конечных разностей на ЭЦВМ. Основными методами экспериментальных исследований являлись: осциллографирование электрических параметров процесса сварки; металлографический анализ, прочностные испытания на отрыв тонкой детали и испытания на герметичность.

Научная новизна. Разработаны расчетные методики и впервые проведены исследования электрических и температурных полей на

моделях, качественно характеризующих продольное сечение соединения при шовной сварке деталей резко различной толщины. При этом установлено, что образование сплошной литой зоны возможно при снижении неравномерности распределения тока в зоне сварки до уровня, когда отношение максимальной плотности тока к средней в контакте электрод-деталь не превышает 1.8. Это достигается при уменьшении длины контакта электрод-деталь до 3 толщин тонкой детали. При отношении максимальной плотности тока к средней в контакте электрод-деталь больше 2,5 характер температурного поля, в основном, совпадает с характером для плотности тока.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований выявлены условия образования сплошной литой зоны при шовной сварке деталей резко различной толщины. Даны рекомендации к выбору параметров режима и определены режимы конденсаторной шовной сварки сильфонов с арматурой, обеспечивающие стабильное и высокое качество сварных соединений. Для их реализации создано специальное оборудование. Применение разработанной технологии сварки на заводе "Манометр" позволило снизить общий брак по негерметичности до 2%. Экономический эффект от внедрения составляет 13000 рублей в год на программу в 50000 изделий.

Апробация работы. Основные положения работы доложены на конференции молодых ученых и специалистов ЗИЛ-НИИАВТОПРОМА (февраль 1976 г.) и на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Баумана (декабрь 1975 г.).

Объем работы. Диссертация состоит из четырех глав, содержит 125 страниц машинописного текста, 71 рисунок и 11 таблиц. В списке использованной литературы 98 наименований.

Глава первая содержит анализ качества сварных соединений сильфонных узлов, выполненных на заводе "Манометр", и обзор литературы по шовной сварке деталей малых и неравных толщин и, в частности, сильфонных узлов. Этому вопросу посвящены работы Орлова Л.Д., Чулошникова П.А., Илешева В.С., Шимарева В.Г. и других авторов. В результате проведенных ими исследований было установлено, что наиболее высокие и стабильные показатели прочности и герметичности сварных соединений достигаются при

наличии между деталями сплошной литой зоны с глубиной проплавления каждой из них на 10–30% толщины тонкой детали. Однако получение такой литой зоны при шовной сварке деталей резко различной толщины (сильфонов с арматурой) связано со значительными трудностями. Эти трудности обусловлены, главным образом, неравномерным распределением тока в зоне сварки и неодинаковым теплоотводом со стороны тонкой и толстой деталей. Ранее были изучены различные способы регулирования проплавления деталей за счёт изменения теплоотода в электроды и определены приемлемые режимы сварки для некоторых, конкретных сочетаний толщин.

При сварке деталей с соотношением толщин более 20:1 существующие технологические приёмы не позволяют получить сплошную, симметрично расположенную литую зону. Сварной шов образуется в виде тороидальных литых зон, которые в ряде случаев не замыкаются. Это обуславливает снижение прочности и герметичности соединения и появление брака при сварке по существующей технологии. Поэтому целью настоящей работы являлось повышение стабильности показателей качества и эффективности контактной шовной сварки деталей резко различной толщины применительно к сильфонным узлам путём создания условий для образования между деталями сплошной литой зоны.

Анализ литературных данных позволил сделать вывод о том, что получить сплошную литую зону между разнотолщинными деталями можно при изменении распределения тока в зоне сварки. В связи с этим необходимо было исследовать распределение плотности тока, выявить степень его влияния на температурное поле, установить оптимальные условия образования сплошной литой зоны и пути их реализации. Затем выявить режимы сварки сильфонов с арматурой, обеспечивающие получение соединений со сплошной литой зоной, и довести результаты исследования до производственного применения.

Глава вторая посвящена исследованию особенностей электрических и температурных полей при шовной сварке деталей резко различной толщины и выявлению оптимальных условий сварки сильфонов с арматурой.

В соответствии с поставленными задачами была разработана методика исследования электрического поля тока на плоских ме-

талических моделях, качественно характеризующих продольное и поперечное сечение сварного шва. Для построения поля плотности тока на металлическую модель накладывалась координатная сетка, в узлах которой с помощью щупа измерялись потенциалы электрического поля относительно базовой точки. Затем по формулам численного дифференцирования Лагранжа на ЭЦВМ определялись напряженности поля и плотности тока в узлах сетки. Для сравнительной оценки неравномерности распределения тока на разных моделях плотности тока выражали в относительных единицах, приняв за единицу среднюю плотность тока в контакте электрод-деталь на модели.

Для оценки влияния распределения плотности тока на характер температурного поля была разработана методика расчёта температурных полей для условной физической модели, качественно характеризующей продольное сечение шва. Расчёт производился методом конечных разностей (методом сеток) на ЭЦВМ "М-222". При этом учитывались результаты работ Greenwood J.A., Ruge J., Yamamoto T., Чакалева А.А. по расчёту температурных полей при точечной сварке равнотолщинных деталей. В качестве поля внутренних источников тепла использовалось поле относительной плотности тока, получаемое на плоских металлических моделях и учитывалось перераспределение тока в процессе нагрева. Между электродом и деталью задавалось граничное условие теплопередачи 4-го рода.

В конечных разностях это условие записывалось в следующем виде:

$$T_{(x,y,h,t)} = \frac{\lambda_2 - \lambda_2(1-c)}{\lambda_2 + \lambda_2(1-c)} \cdot T_{(x,y,t)}; \quad c = \operatorname{erfc}\left(\frac{h/2}{2\sqrt{\alpha_2 t}}\right),$$

где: $T_{(x,y,h,t)}$ — температура в поверхностном слое электрода;
 $T_{(x,y,t)}$ — температура в наружном слое деталей; λ_2, λ_2 — теплопроводности материала электрода и детали; h — сторона ячейки, равная 1/4 толщины тонкой детали; α_2 — температуропроводность электрода; t — время нагрева.

При расчёте впервые использовалась условная граница в деталях вблизи зоны сварки, позволяющая ограничить рассчитываемую область температурного поля (число ячеек не более 300) и учитывать отвод тепла в холодные участки деталей. Условие теплопередачи на этой границе записывается в виде:

$$T_{(\alpha, y, h, t)} = T_{(\alpha, y, t)} \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{h}{2\sqrt{\alpha_y t}} \right),$$

где: $T_{(\alpha, y, t)}$ - температура граничной ячейки детали; $T_{(\alpha, y, h, t)}$ - температура условной ячейки за границей рассчитываемой области; α_y - температуропроводность детали.

В качестве материалов деталей и электрода принималась сталь Х18Н10Т и медь М1. При расчёте не учитывались процессы плавления, изменение размеров контакта и физических свойств материалов.

Для качественной оценки распределения тока в зоне сварки было проведено исследование поля плотности тока на модели, имитирующей продольное сечение шва при шовной сварке деталей резко различной толщины (длина контакта электрод-деталь - l_k равнялась 6 толщинам тонкой детали - δ). При этом установлено, что зона максимальной плотности тока расположена под кромкой электрода со стороны ранее сваренного участка шва (рис.1). Относительная плотность тока в этой зоне достигает 2,5 единиц, тогда как в центральной зоне сварки - 0,5-0,83.

Расчёт температурных полей в продольном сечении шва при нагреве конденсаторным импульсом и постоянным по величине током показал, что температурное поле по характеру соответствует полю плотности тока. Область максимальных температур совпадает с зоной максимальной плотности тока. Температуры в этой области в 1,6-5 раз, в зависимости от длительности нагрева, превышают температуры в центральной зоне сварки. При таком характере температурного поля получение сплошной литой зоны невозможно. Результаты расчёта подтверждаются металлографическим анализом сварных соединений.

При расчёте установлено также, что перераспределение плотности тока, происходящее в процессе нагрева, уменьшает начальную неравномерность поля плотности тока не более, чем на 25%. Это свидетельствует о том, что характер электрического поля тока, выявляемый на плоских металлических моделях, в процессе сварки существенно не изменяется.

Исследование поля тока на моделях поперечного сечения шва и точечной сварки деталей резко различной толщины ($l_k = 6\delta$) показало, что зоны повышенной плотности тока расположены на периферии контакта деталь-деталь. Максимальные относительные

плотности тока в этих зонах не превращают 1,8 единиц, т.е. меньше, чем в продольном сечении шва (2,5 ед.).

На модели, имитирующей продольное сечение деталей равных толщин при шовной сварке ($\ell_k = 6.8$), зона максимальной плотности тока также расположена под кромкой электрода со стороны ранее сваренного участка шва. При этом максимальная относительная плотность тока не превышает 1,7 единиц, что в 1,5 раза ниже, чем при шовной сварке деталей резко различной толщины. Характер температурного поля, как показали расчёты, только в течении времени $t = 4.8^2$ мс (δ в мм) совпадает с характером поля плотности тока. При более длительном нагреве область максимальных температур смещается в центральную зону сварки, что предопределяет образование чечевидного литого ядра в контакте деталь-деталь.

В результате сравнительного анализа тока была выдвинута рабочая гипотеза, заключающаяся в том, что улучшить условия формирования литого ядра можно за счёт уменьшения неравномерности распределения плотности тока до уровня, имеющего место при шовной сварке деталей равных толщин. Теоретические соображения и анализ различных моделей позволили установить, что это можно осуществить путем уменьшения длины контакта электрод-деталь. Максимальная относительная плотность тока в продольном сечении шва деталей резко различной толщины снижается с 4,1 до 1,8 единиц при уменьшении длины контакта ℓ_k от 10 до 3.8.

Расчёт температурных полей при $\ell_k = 3.8$ и нагреве постоянным по величине током показал, что неравномерность температурного поля также снижается. Максимальные температуры у кромки электрода со стороны ранее сваренного участка шва лишь в 1,2-1,5 раза превышают температуру в центральной зоне сварки. При нагреве конденсаторном импульсом тока с определенной скоростью нарастания область максимальных температур смещается к контакту деталь-деталь. В этом случае возможно образование сплошной литой зоны без её выхода на поверхность шва.

Таким образом, для получения температурных полей, при которых возможно образование сплошной литой зоны необходимо, чтобы отношение максимальной плотности тока в зоне сварки к

средней в контакте электрод-деталь не превышало. 1,8, т.е. чтобы $\ell_k \approx 3.8$.

Теоретические соображения и анализ полученных зависимостей распределения тока от размеров контакта электрод-деталь в продольном и поперечном сечениях шва позволили установить, что для предотвращения различных дефектов необходимо, при $\ell_k = 3.8$ ширину контакта b_k устанавливать не более 3.8.

Для выявления путей реализации необходимых размеров контакта электрод-деталь был проведен анализ условий контактирования ролика с деталями при шовной конденсаторной сварке деталей резко различной толщины. Показано, что ролик при движении во время паузы, опираясь о край вмятины, отрывается сразу от её поверхности и постепенно накатывается на новую, не деформированную поверхность тонкой детали. При этом длина контурной площади контакта электрод-деталь в момент включения сварочного тока (ℓ_k на модели, рис.1) приблизительно равна шагу сварки. Поэтому использование шага сварки равного 3 толщине тонкой детали позволит получить оптимальную длину контакта электрод-деталь.

Реализовать необходимую ширину контакта электрод-деталь ($b_k \leq 6.8$) можно при использовании роликов со сферической рабочей частью радиусом $r_k \approx 12.8$ мм (δ в мм.)

В результате сравнения физической модели процесса, использованной в расчётах, с реальными условиями сварки было установлено, что для предотвращения выхода литой зоны на поверхность шва необходимо использовать:

а) рационально подобранную геометрию импульса сварочного тока с медленным его нарастанием (30-80 кА/с) в начальной стадии длительностью 2-6 мс (рис.2);

б) электрод-ролик из материала с теплопроводностью близкой к меди MI^2 ;

в) скорость сварки не более 0,55/δ мм/с (δ в мм);

г) усилие сжатия, определяемое по размерам вмятины от электрода (глубина вмятины 15-25% от δ) после сварки I-й точки шва и сопротивлению деформации материала деталей к концу процесса нагрева (20 кГ/мм^2 для X18Ni9Ti).

$$P_{сж} = \sigma_{\Delta \text{кон}} \cdot S_{b \text{ кон}}^I$$

Третья глава посвящена экспериментальной проверке основ-

них теоретических положений, выявлению влияния основных параметров режима на форму и расположение литой зоны и уточнению особенностей формирования соединений.

Для проведения исследований была создана опытная установка для шовной конденсаторной сварки с использованием шунтируемого дросселя в разрядной цепи, что позволяло регулировать в широких пределах геометрию импульса сварочного тока. Исследования проводились при оварке деталей толщиной 0,08–0,2 мм из стали Х18Н10Т и 36НХ10 с арматурой из стали Х18Н10Т диаметром 30–40 мм, имитирующих сварные соединения сильфонных узлов.

В результате экспериментального исследования было установлено, что при выбранных во 2-й главе значениях шага оварки ($h_{св}$), размерах ($r_{пл}$) и материала ролика, скорости оварки ($V_{св}$) и усилия сжатия ($P_{сж}$) достигается образование сварного соединения со сплошной литой зоной и проплавлением каждой детали на 20–60% толщины тонкой детали. При этом параметры геометрии импульса сварочного тока (рис.2), определённые экспериментально, должны иметь значения, приведенные в таблице I. Эти результаты подтверждают, установленную расчётом, возможность получения сплошной литой зоны при уменьшении размеров контакта электрод–деталь и снижении неравномерности распределения тока в зоне сварки. Режимы шовной сварки деталей из стали Х18Н10Т толщиной 0,1–0,2 мм с арматурой диаметром 30–40 мм, обеспечивающие получение сплошной литой зоны, приведены в таблице I (ролик диаметром 80–120 мм).

Таблица I

δ мм	$h_{св}$ мм	$P_{сж}$ кг	$V_{св}$ мм/с	$t_{сб}$ мс	$t_{н}$ мс	I_a кА	$I_{ног}$ А	$t_{ног}$ мс	$P_{пл}$ мм
0,1	0,3	20	2,5	7,0	2,5	2,0	150	2,6	1,5
0,15	0,45	28	2,0	7,5	2,8	2,3	250	3,8	2
0,2	0,65	35	2,0	8,3	3,3	2,6	350	5,5	2,5

Проведенные исследования по выявлению влияния геометрии импульса сварочного тока на формирование литой зоны позволили установить, что увеличение времени нарастания тока ($t_{н}$) и длительности основной стадии импульса ($t_{сб}$) на ± 15 –20% приводит к нарушению непрерывности литой зоны, а уменьшение к появлению наклона литых ядер с выходом их на поверхность шва.

Иссл. Технология и оборудование контактной сварки. Под ред. Орлова Б.Д. "Машиностроение", М, 1975 г., с.61.

Медленное нарастание сварочного тока (30–80 кА/с) в начальной стадии длительностью 2.5–5.5 мс позволяет повысить стабильность процесса и качества сварки и дополнительно регулировать форму и расположение литой зоны.

В результате исследования влияния шага сварки на форму и расположение литой зоны установлено, что его оптимальные значения при использовании электрода из меди М1 равняются 3–3.3 толщинам тонкой детали. Это соответствует величине, полученной при теоретическом исследовании. Увеличение шага сварки ($h_{\text{св}} = \delta_n$) до 6.6 приводит к образованию прерывистой литой зоны и выходу её на поверхность шва, что подтверждает результаты, полученные при расчёте температурных полей. При использовании роликов из сплавов Бр.Х и Бр.НБТ с теплопроводностью на 10–40% ниже, чем у меди М1 шаг сварки может быть увеличен до 4–5 толщин тонкой детали и для практических случаев определён по формуле:

$$h_{\text{св}} = [3 \div (10.6 - 8.1 \lambda_n)] \delta,$$

где λ_n – теплопроводность материала электрода в кал/см·с.⁰С,
а δ – толщина тонкой детали в мм.

Исследование кинетики формирования соединения на оптимальных режимах сварки позволило установить, что образование отдельной точки шва протекает в две стадии. На первой стадии, в период нарастания сварочного тока, происходит формирование литого ядра при использовании менее 25% пропускаемого количества электричества. Площадь контакта электрод–деталь на этой стадии остается постоянной, а длина его по оси шва равна шагу сварки. На второй стадии происходит вдавливание ролика, которое приводит к увеличению площади контакта электрод–деталь более, чем в 3 раза и уменьшению средней плотности тока. При этом свыше 75% количества электричества расходуется на дополнительный нагрев деталей, который способствует вдавливанию ролика на глубину до 20–25% от δ . Благодаря этому, ролик при перекачивании отрывается одновременно от поверхности вмятины и длина контакта электрод–деталь в момент включения тока равняется шагу сварки. Такое распределение пропускаемого количества электричества затрудняет определение оптимальной геометрии импульса сварочного тока расчётным путём. Она может быть выявлена экспериментально (путём подбора), ба-

зируясь на полученных режимах (табл.1).

Исследование кинетики позволило также дать рекомендации по корректированию геометрии импульса тока при изменении диаметра арматуры.

При определении режимов сварки разнородных металлов-сильфонов из сплава ЗЭХ1Ю с арматурой из стали Х18Н10Т установлено, что для создания благоприятных условий перемешивания металлов целесообразно уменьшать усилие сжатия. Поэтому при его расчёте сопротивление деформации ($\sigma_{\text{д.ком}}$) необходимо принимать равным 10 кг/мм^2 . Остальные параметры режимов сварки, приведенные в таблице 2, выбираются так же как и при сварке сильфонов из стали Х18Н10Т. Для повышения стойкости электрода желательно использовать ролики из сплава Бр.НБТ.

Таблица 2.

$\delta_{\text{мм}}$	$h_{\text{св. мм}}$	$P_{\text{сж. кГ}}$	$V_{\text{св. мм/с}}$	$t_{\text{св. мс}}$	$t_{\text{н. мс}}$	$I_{\text{а. кА}}$	$t_{\text{пог. с}}$	$I_{\text{пог. А}}$	$r_{\text{эл. мм}}$
0,08	0,4	7	3-4	6,2	2,2	1,8	3,8	150	1
0,10	0,5	10	3-4	6,7	2,6	2,0	3,8	200	15
0,15	0,65	15	3,0	7,5	2,8	2,0	5,5	400	2
0,20	0,75	20	3,0	8,5	3,5	2,1	6,5	500	2,5

Глава четвертая. На основе проведенных исследований была разработана технология сварки сильфонных узлов пневматических датчиков давления. Для её реализации был создан дозатор энергии для шовной конденсаторной сварки, который использовался с машиной МР-4.

Производственное опробование разработанной технологии сварки на заводе "Манометр" показало, что брак по негерметичности снижается с 6% (для вакуумированных узлов с 14%) до 2%. В 1,5 раза повышается среднее значение прочности на отрыв тонкой детали и с 38,2% до 22% снижается коэффициент вариации. Вероятность появления участков шва с непроваром снижается с 18,3% до 0,34%.

Разработанная технология сварки сильфонных узлов доведена до производственного применения. Экономический эффект от внедрения составляет 13000 рублей на программу 50000 изделий в год.

ВЫВОДЫ

1. Разработана методика и проведены исследования электрических полей тока на плоских металлических моделях, качественно характеризующих продольное и поперечное сечение шва при шовной сварке деталей резко различной толщины. Эти исследования позволили установить, что

- а) плотность тока на периферии контактов в 1,5–1,0 раза превышает среднюю плотность тока в контакте электрод-деталь;
- б) наибольшая неравномерность распределения плотности тока имеет место в продольном сечении шва;
- в) максимальная плотность тока в продольном сечении достигается под кромкой электрода со стороны ранее сваренного участка;
- г) неравномерность распределения тока в продольном сечении шва снижается при уменьшении отношения длины контакта электрод-деталь к толщине тонкой детали.

2. Разработана методика и выполнены расчёты температурных полей на ЭЦМ для условной физической модели, качественно характеризующей продольное сечение соединения при шовной сварке деталей резко различной толщины из стали X18Ni10T. Эти расчёты позволили установить, что

- а) основным фактором, препятствующим образованию сплошной литой зоны, является резко неравномерное распределение плотности тока в продольном сечении шва;
- б) температурное поле, при которых возможно образование сплошной литой зоны без её выхода на поверхность шва, возникают при снижении неравномерности распределения тока до уровня, когда отношение максимальной плотности тока к средней в контакте электрод-деталь не превышает 1,8 и при использовании рациональной геометрии импульса сварочного тока;
- в) такое снижение неравномерности распределения тока достигается при уменьшении длины контакта электрод-деталь до трёх толщин тонкой детали;
- г) при отношении максимальной плотности тока к средней в контакте электрод-деталь больше 2,5 характер температурного поля, в основном, совпадает с характером поля плотности тока;
- д) при нагреве начальная неравномерность поля плотности тока снижается не более, чем на 25%.

3. Разработанные методики исследования электрических и температурных полей на моделях могут быть использованы для выявления способов регулирования этих полей и установления оптимальных условий сварки.

4. Анализ условий контактирования ролика при шовной конденсаторной сварке деталей резко различной толщины позволил установить, что шаг сварки может быть равен длине контурной площади контакта электрода-ролика с тонкой деталью в момент включения сварочного тока.

5. Сплошная литая зона с достаточным проплавлением деталей при шовной конденсаторной сварке сильфонов из стали Х18Н10Т и 36НХ110 толщиной 0,08-0,2 мм с арматурой из стали Х18Н10Т достигается при использовании:

а) шага сварки равного $[3 + (10,6 - 8,1 \lambda) \delta]$, где δ - толщина тонкой детали в мм, а λ - теплопроводность электрода в кал/см.С.°С;

б) роликовых электродов из сплавов с теплопроводностью не ниже 60% от меди М1 с радиусом сферической рабочей части равным $12,8$ и диаметром 80-120 мм;

в) рационально подобранной геометрии импульса сварочного тока с медленным его нарастанием (30-80 кА/с) в начальной стадии длительностью 2-6 мс;

г) скорости сварки не более $0,55/\delta$ мм/с (δ в мм);

д) усилия сжатия, определяемого по формуле:

$$P_{сж} = 6_{д\text{кон}} \cdot S_{в\text{м кон}}.$$

6. Медленное нарастание сварочного тока в начальной стадии позволяет повысить стабильность процесса и качества сварки и частично регулировать проплавление деталей.

7. Анализ кинетики формирования соединения позволил установить, что рост литого ядра завершается в период нарастания сварочного тока при использовании менее 25%, пропускаемого через детали, количества электричества. Остальная часть (более 75%) расходуется на деформирование деталей, что способствует созданию требуемых условий контактирования ролика с деталью при сварке следующей точки шва.

8. Для реализации требуемой геометрии импульса сварочного тока создан дозатор энергии для шовной конденсаторной сварки, позволяющий регулировать в широких пределах скорость нараста-

ния тока в начальной стадии его действия.

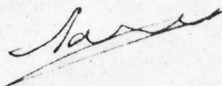
9. Внедрение разработанной технологии на заводе "Манометр" позволило снизить брак сильфонных узлов по негерметичности с 6% до 2% и получить годовой экономический эффект в 13000 рублей на программу в 50000 изделий.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Каганов Н.Л., Лобасов И.М. Получение сплошной литой зоны при конденсаторной сварке сильфонных узлов. "Известия ВУЗов. Машиностроение", № 12, 1975, с.113-116.

2. Каганов Н.Л., Лобасов И.М. Исследование электрического поля тока на плоских металлических моделях. "Известия ВУЗов. Машиностроение", № 4, 1976; с.131-135.

3. Лобасов И.М., Каганов Н.Л., Исаев А.П., Букина Л.И. Метод регулирования начальной стадии импульса сварочного тока конденсаторных машин. "Электротехническая промышленность. Сер.Электросварка", вып.2 (35), 1976, с.11.



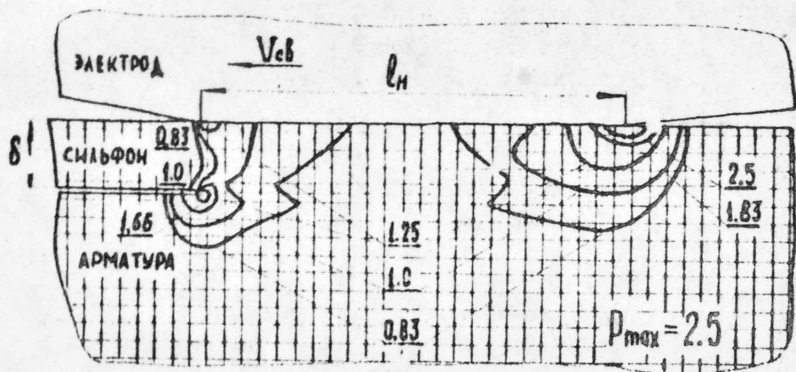


Рис. 1. Поле относительной плотности тока на модели, имитирующей продольное сечение шва при шовной сварке деталей резко различной толщины ($l_k = 6\delta$), где l_k — длина контакта электрод-деталь, δ — толщина тонкой детали.

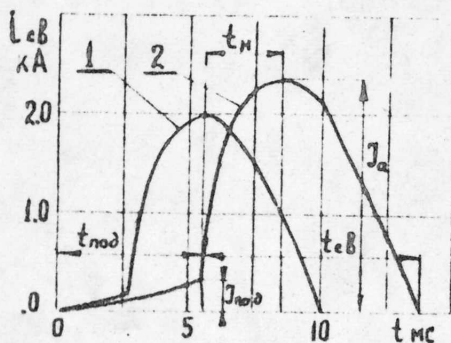


Рис. 2. Геометрия импульсов сварочного тока при сварке детали толщиной 0,1(1) и 0,2(2) мм с арматурой из стали X18H10T.