N287732

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СС

Московское

ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее

техническое училище имени Н.Э.Баумана

на правах рукописи

НЕФЕДОВ Владимир Вячеславович

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ШОВНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ МЕТАЛЛОВ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 1976 г.

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте электросварочного оборудования /ВНИИЭСО/

Научный руководитель – к.т.н.,ст.н.с. Холопов Ю.В.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор Лощилов В.И.

Кандидат технических наук Мазур А.И.

Ведущее предприятие институт металлургии АН СССР им.А.А. Байкова

Защита диссертации состоится " " _____ 1976г.

на заседании специализированного совета "Сварочное производство" Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им.Н.Э.Баумана

по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская ул., дом 5

...оах, заверенные печатью,

...теке Училища.

1976г.

...а

...от 16.04.76. Зак 1062

М287732

Ультразвуковая сварка – УЗС является одним из наиболее эффективных способов получения неразъемных соединений цветных металлов. Для этого способа характерны такие весьма ценные технологические свойства, как возможность сварки без предварительной подготовки поверхности металлов, отсутствие зоны термического влияния, хорошая свариваемость металлов с высокой тепло– и электропроводностью.

В результате комплекса научно-исследовательских, проектно-конструкторских и технологических работ, проведенных за последнее время в СССР, разработаны и успешно внедрены в промышленную эксплуатацию различные типы сварочного оборудования. Освоено серийное производство ряда машин для точечной УЗС металлов.

Анализ литературных данных, а также исследования, проведенные во ВНИИЭСО, показали, что преимущества УЗС наиболее сильно выражены в области шовной сварки.

Актуальность проблемы создания оборудования для шовной УЗС обусловлена значительным ростом объема выпуска тонколистового проката цветных металлов и расширением областей его применения, а также несовершенством существующих способов шовной сварки медных, алюминиевых, никелевых и других фольг.

Целью настоящей работы является исследование колебательных систем – сварочных головок, особенностей технологии шовной УЗС металлов и разработка сварочного оборудования.

Методы исследований, приведенных в диссертации, состояли в создании действующих базовых моделей сварочных машин, проведении экспериментальных и теоретических исследований колебательных систем, изучении особенностей технологии шовной УЗС различных металлов и изделий.

Научная новизна проделанной работы заключается в исследовании условий возбуждения неоднородной колебательной системы, состоящей

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1287732
Нефедов В.В.Исследование

из круглой пластины и стержня переменного сечения, и выводе уравнений для расчета ее геометрических размеров, обеспечивающих оптимальные условия передачи энергии при шовной УЗС металлов.

Практическая ценность выполненной работы состоит в разработке оборудования и технологии шовной УЗС тонколистового проката цветных металлов.

Содержание диссертации докладывалось в 1970-1972 г.г. на 3-х Ленинградских итоговых сессиях по производственным и научно-исследовательским работам в области сварки, опубликовано в 7 научно-технических статьях. По результатам исследований, приведенных в диссертации, получено 5 авторских свидетельств. Окончательная апробация законченной работы состоялась на научном семинаре "Машины и автоматизация сварочных процессов" в МВТУ им.Н.Э.Баумана 23 апреля 1975 г.

Диссертация состоит из 4 глав и изложена на 163 страницах машинописного текста, включающих 43 рисунка, 9 таблиц и приложения. Библиография содержит 75 работ.

В первой главе проведен обзор работ, посвященных шовной ультразвуковой сварке металлов и сформулированы задачи настоящего исследования.

Анализ литературных данных показал, что информация о конструкциях сварочных машин крайне скупа и ограничена сведениями рекламного содержания. Отсутствует методика расчета колебательных систем для шовной УЗС, не выявлены основные закономерности колебательных процессов в таких системах и не проведен анализ методов стабилизации их работы.

Недостаточно полно освещены такие вопросы, как исследование конструктивно-технологических особенностей оборудования для шовной УЗС металлов, анализ прочностных характеристик сварных швов и стабильности их прочности.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Провести теоретические исследования физических условий передачи энергии ультразвуковых колебаний при шовной УЗС металлов.

2. Провести экспериментальные исследования колебательных систем и разработать методику их расчета.

3. Исследовать влияние конструктивно-технологических параметров колебательных систем на прочность швов и разработать методику выбора технологических параметров шовной УЗС металлов.

4. Разработать, исследовать и внедрить в промышленность сварочн-

МВТУ им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

ные машины.

Вторая глава посвящена исследованию процесса возбуждения ультразвуковых колебаний в звеньях колебательной системы.

Исследуемая колебательная система состоит из концентратора, продольные колебания в котором возбуждаются электромеханическим преобразователем, и сварочного ролика, совершающего изгибные колебания.

I. Влияние геометрических размеров сварочного ролика на его параметры. Сварочный ролик представляет собой круглую пластину постоянной толщины, возбуждаемую в центре силой, равномерно распределенной на площади диска радиусом b. Для решения задачи о колебаниях ролика использовано классическое уравнение движения круглой пластины:

$$\nabla^2\nabla^2 v + k^4 v = j\omega p/D, \qquad (1)$$

где $$k^4 = \frac{\omega^2 \cdot m}{D}; \quad D = \frac{E \cdot h^3}{12(1-\nu^2)}; \quad \nabla^2 = \frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{d}{dr}\right).$$

Здесь v – колебательная скорость, ω – круговая частота, m – масса ролика, отнесенная к единице площади, h – толщина ролика, E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, p – возбуждающая сила, отнесенная к единице площади.

Предварительные эксперименты, в ходе которых производился обмер распределения амплитуд колебаний по поверхности сварочных роликов, показали, что некоторое искажение симметричности распределения амплитуд, вызванное нагружением в процессе сварки, локализовано в области, непосредственно прилегающей к зоне контакта ролика со свариваемыми материалами. При работе в диапазоне оптимальных усилий сжатия такое перераспределение амплитуд незначительно отражается на энергетическом балансе колебательной системы и условиях возбуждения её звеньев. Поэтому при анализе условий возбуждения сварочного ролика рассмотрены осесимметричные колебания круглой пластины со свободным контуром.

Решение уравнения (I) для этого случая найдено в виде:

$$v = AJ_0(kr) + BI_0(kr) - j\frac{F}{Z_c}\begin{cases} \frac{8}{\pi\beta^2} + 2\frac{N_1(\beta)}{\beta}J_0(kr) - \frac{4}{\pi}\frac{K_1(\beta)}{\beta}I_0(kr) & r \le b \\ 2\frac{J_1(\beta)}{\beta}N_0(kr) + \frac{4}{\pi}\frac{I_1(\beta)}{\beta}K_0(kr) & r \ge b \end{cases} \qquad (2)$$

где $\beta = kb$; $Z_c = 8Dk^2/\omega$ – волновое сопротивление пластины, F – возбуждающая сила, J, I, N, K – функции Бесселя первого и второго рода, A и B – произвольные постоянные.

Преобразовав уравнение (2) с учетом размеров зоны возбуждения в реальных колебательных системах для шовной ультразвуковой сварки ($\beta = 0{,}5\text{–}0{,}7$), решение задачи для выбранных граничных условий получили в виде входного механического сопротивления сварочного ролика и распределения амплитуды колебательной скорости по его поверхности:

$$\bar{Z} = jZ_c \frac{\alpha(J_0I_1 + J_1I_0) - 2(1-\nu)J_1I_1}{2(1-\nu)(I_1N_1 - 2J_1K_1/\pi) - \alpha[(J_0+I_0)(N_1 - 2K_1/\pi) - (J_1 - I_1)(N_0 - 2K_0/\pi)]} \quad (3)$$

$$V = \frac{V_0}{I_1(\alpha) - J_1(\alpha)} [I_1(\alpha)J_0(kr) - J_1(\alpha)I_0(kr)] \quad (4)$$

(в уравнении (3) аргументом функций Бесселя является $\alpha = ka$).

Дальнейшие исследования проведены после преобразований найденных решений с помощью ассимптотических представлений функций Бесселя:

$$\bar{Z} = Z_c \frac{\cos\alpha \cdot sh(\eta\alpha/4) + j\sin\alpha \cdot ch(\eta\alpha/4)}{\cos\alpha \cdot ch(\eta\alpha/4) + j\sin\alpha \cdot sh(\eta\alpha/4)}, \quad (5)$$

где η - коэффициент потерь механической энергии в материале сварочного ролика,

$$V = V_0 \sqrt{\frac{2}{\pi kr}} \left[\cos(kr - \pi/4) - \frac{\cos(\alpha - \pi/4) + 2\alpha \cdot \sin(\alpha - \pi/4)}{2\alpha - 1} e^{-(\alpha - kr)}\right]. \quad (6)$$

Анализ структуры выражения для входного сопротивления сварочного ролика позволил выяснить оптимальные условия его возбуждения. Энергетически наиболее выгодным является резонансный режим работы. Условием резонанса является равенство нулю реактивной составляющей входного сопротивления сварочного ролика ($\alpha = n\pi$). На резонансных частотах входное сопротивление является активным, и его величина определяется потерями механической энергии в материале сварочного ролика:

$$Z = Z_c \cdot th(\eta\alpha/4). \quad (7)$$

С увеличением номера формы колебаний входное сопротивление на резонансных частотах растет и в пределе стремится к волновому. Как установлено, при отклонениях частоты возбуждающей силы от резо-

нансной частоты сварочного ролика его входное сопротивление увеличивается тем быстрее, чем выше номер формы колебаний (n).

Исследования распределения колебательной скорости позволили выявить закономерности передачи энергии ультразвуковых колебаний к сварочной кромке. Первое слагаемое в (6) представляет собой основную часть колебаний, а второе описывает искажения вблизи сварочной кромки, и его влияние быстро уменьшается при удалении точки наблюдения от кромки. Уравнение (6) непригодно для расчетов колебательной скорости при $kr < 1$. В центре сварочного ролика $V = V_0$. Однако, оно позволяет в значительной степени упростить расчеты (с достаточной степенью точности) распределения амплитуды скорости на остальной части поверхности ролика и, что самое важное, на сварочной кромке. Установлено, что амплитуда колебательной скорости сварочной кромки обратно пропорциональна квадратному корню из номера формы колебаний сварочного ролика:

$$V_{св} = 2V_0/(\pi\sqrt{n}). \qquad (8)$$

Анализ приближенных решений (5) и (6) показал их достаточно высокую точность для расчета резонансных частот, величины входного сопротивления и колебательной скорости на сварочной кромке. Их погрешность довольно велика (5–10%) только для первой формы колебаний. Для последующих форм они дают практически точные значения резонансной частоты и колебательной скорости сварочной кромки.

2. Исследование нагрузочных характеристик концентраторов. Концентратор является промежуточным звеном между сварочным роликом и преобразователем и служит для согласования их параметров. Теория концентраторов основана на задаче о продольных колебаниях стержней переменного сечения.

Решена задача о колебаниях концентратора, на входном торце которого действует возбуждающая сила, развиваемая преобразователем, а на выходном – сила реакции сварочного ролика, выраженная через нагрузочное сопротивление $\bar{Z}_н$. Решения получены в виде входного сопротивления и коэффициента усиления концентраторов. Исследование полученных решений проведено для конического и экспоненциального концентраторов, которые нашли наибольшее применение при построении колебательных систем для ультразвуковой сварки. Выведены уравнения для расчета резонансной длины l и коэффициента усиления K_y концентраторов при их нагружении на комплексное сопротивление $\bar{Z}_н = R_н + jX_н$, причем $R_н \ll X_н$. Уравнения имеют вид:

для конического концентратора

$$tg\,kl = \frac{kl - (X_н/wS_2)(kl)^2 N/(N-1)}{1+(kl)^2 N/(N-1)^2 - (X_н/wS_2)\cdot kl/(N-1)}, \qquad (9)$$

$$K_y = N\left|\cos kl - \frac{N-1}{N}\,\frac{\sin kl}{kl}\right|, \qquad (10)$$

для экспоненциального

$$tg\,k'l = \frac{k'l\,(X_н/wS_2)}{(X_н/wS_2)\ln N - \sqrt{(k'l)^2 + \ln^2 N}}, \qquad (11)$$

$$K_y = N\left|\cos k'l - \frac{\sin k'l}{k'l}\,\ln N\right|, \qquad (12)$$

где k – волновое число, w – удельное волновое сопротивление, S_2 – площадь входного торца концентратора, N – отношение радиусов входного и выходного торцев, $k' = \sqrt{k^2 - [(1/l)\cdot \ln N]^2}$

Исследование нагрузочных характеристик показало, что коэффициент усиления концентраторов зависит от сопротивления нагрузки. Зависимости имеют экстремальный характер со сдвигом максимумов в область инерционных сопротивлений. Величины максимумов коэффициентов усиления конического и экспоненциального концентраторов больше N . Установлено, что для экспоненциального концентратора существуют критические нагрузки, при которых происходит срыв колебаний. Величина критического сопротивления нагрузки определяется из уравнения:

$$(X_н/wS_2)_{кр} = \frac{\ln N}{\ln N - 1}. \qquad (13)$$

С увеличением N величина критического сопротивления уменьшается, стремясь в пределе к единице.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям оптимальных условий передачи энергии механических колебаний при шовной ультразвуковой сварке металлов. Проведены исследования влияния параметров звеньев колебательной системы на ее энергетические характеристики, конструктивно-технологических парметров систем на прочностные характеристики сварных швов, разработана методика выбора технологических параметров шовной ультразвуковой сварки металлов.

I. Методика экспериментальных исследований. Исследовани коле-

бательные системы на номинальную мощность 0,63; I,5 и 4,0 кВт. В качестве источника ультразвуковых колебаний использовались магнитострикционные преобразователи из сплава К50Ф2. Преобразователь присоединялся к концентратору с помощью пайки припоем ПСР-45.

Варьирование параметрами звеньев колебательных систем достигалось за счет использования конических и экспоненциальных концентраторов с различными коэффициентами усиления, а также за счет изменения радиуса и толщины сварочных роликов.

В ходе экспериментов измерялись резонансные частоты систем, амплитуды колебаний поверхности сварочного ролика, а также входные электрические параметры колебательных систем. Для измерения амплитуд колебаний применялся универсальный бесконтактный виброметр типа УБВ-2, частоты колебаний - электронно-счетный частотомер Ч3-33, а входных электрических параметров - высокочастотный ваттметр типа Т-I4I.

Основным критерием оценки эффективности работы колебательных систем служила механическая прочность сварных швов на срез. Исследования прочностных характеристик швов проведены на образцах из меди МI толщиной от 0,I до 0,5 мм и алюминия А5 толщиной от 0,I до I,0 мм. Для испытаний прочности из сварных швов вырезались образцы шириной от I5 до 500 мм, а испытания проводились на разрывных машинах МР-05-I и ЦД-I0. Сварка осуществлялась на разработанных во ВНИИЭСО базовых моделях машин для шовной ультразвуковой сварки типа МШУ.

2. Влияние параметров звеньев колебательной системы на ее энергетические характеристики. Исследовано влияние размеров сварочного ролика на прочность швов. Получены экспериментальные зависимости прочности швов от радиуса сварочного ролика при различных его толщинах. Кривые имеют экстремальный характер со сдвигом максимумов прочности швов относительно радиусов, соответствующих резонансным роликам. Установлено, что резонансная частота механической колебательной системы, сварочный ролик и концентратор в которой имеют одинаковые собственные частоты, ниже частоты звеньев. Причиной этого является неоднородность колебательных процессов в сварочном ролике и концентраторе, в месте сопряжения которых происходит трансформация продольной волны в изгибную. Поэтому в колебательной системе из резонансных звеньев концентратор нагружен на нескомпенсированную реактивность - сопротивление неоднородности. Исследования показали, что для эффективной рабо-

ты колебательной системы необходима компенсация сопротивления неоднородности, ибо, в противном случае, в её звеньях нарушаются оптимальные условия передачи энергии ультразвуковых колебаний.

Исследованы два варианта компенсации сопротивления неоднородности: сопротивлением сварочного ролика и сопротивлением концентратора. Входное сопротивление сварочного ролика зависит от его радиуса. При определенных радиусах может быть достигнута такая компенсация, когда сопротивление неоднородности и реактивная составляющая входного сопротивления сварочного ролика будут равны по абсолютной величине и противоположны по знаку. При этом амплитуда колебаний в центре сварочного ролика будет максимальна. Проведенные исследования показали, что максимумы амплитуд колебаний (им соответствуют и максимумы прочности сварных швов) сдвинуты в область отрицательной реактивности входного сопротивления сварочного ролика. В результате экспериментальных исследований определены радиусы сварочного ролика, при которых обеспечивается первый вариант компенсации. Величина сопротивления неоднородности в зависимости от толщины и номера формы колебаний ролика найдена при расчетах из уравнения (3).

Определение величины сопротивления неоднородности позволило производить расчет параметров концентраторов (уравнения 9-12), обеспечивающих второй вариант компенсации - компенсацию сопротивлением концентратора. Сравнительный анализ эффективности работы колебательных систем с двумя вариантами компенсации - сопротивлением сварочного ролика и сопротивлением концентратора - показал , что при втором варианте прочность сварных швов выше на 10-15%.

Проведено исследование влияния формы колебаний сварочного ролика на энергетические характеристики колебательной системы. Снимались резонансные кривые колебательных систем, измерялись амплитуды колебаний в центре и на кромке сварочных роликов и проводились сравнения прочности швов, полученных на системах с различными формами колебаний сварочных роликов. Установлено, что увеличение номера формы колебаний позволяет в значительной степени стабилизировать энергетические характеристики колебательных систем. В исследованном диапазоне мощностей сварочный ролик со второй формой колебаний обеспечивает высокую прочность швов при незначительном расхождении резонансных частот колебательных систем в режимах сварки и холостого хода.

3. Исследование прочностных характеристик сварных швов. Основ-

ными технологическими параметрами шовной ультразвуковой сварки являются скорость сварки и усилие сжатия. Исследования, проведенные при сварке алюминия, меди, никеля и ряда других металлов, подтвердили основные закономерности, выявленные ранее в работах по точечной УЗС. Для зависимостей прочности швов от технологических параметров характерны участки нулевой прочности, ее нарастания и стабилизации. Установлено, что при оптимальных технологических параметрах прочность сварных швов находится на уровне 70-90% от прочности основного материала. Скорость сварки без предварительной зачистки поверхностей фольг цветных металлов, например, толщиной 0,I мм при мощности колебательной системы I,5 кВт составляет: для никеля НI - 3 м/мин, меди МІ - I0 м/мин, алюминия А5 - 20 м/мин и резко возрастает с уменьшением толщины фольг. В области оптимальных значений технологических параметров отмечена их относительная некритичность. Так, например, при сварке меди МІ толщиной 0,2 мм изменение скорости в пределах $\pm$30% от оптимального значения вызывает снижение прочности швов на I0-I5%.

На примере сварки ленты из сплава АМг2 толщиной 0,3 мм проведены исследования прочностных характеристик швов при воздействии агрессивных сред и при повышенных температурах. Зависимости прочности сварных швов от времени их выдержки в водных растворах $NaOH$ и H_2SO_4 , а также от температуры швов в диапазоне от +20 до +450^{o}С приведены в сравнении с аналогичными зависимостями для ленты. Ход кривых свидетельствует о том, что спад прочности сварных швов при воздействии щелочной среды и при повышении температуры обусловлен разупрочением ленты.

Для исследования стабильности процесса шовной ультразвуковой сварки меди, алюминия, никеля и других металлов производились испытания абсолютной прочности швов, а также анализировалось распределение прочности по длине шва. Стабильность сварки оценивалась по разбросу прочности швов от среднего её значения при испытаниях образцов шириной от I5 до 500 мм. Количество швов варьировалось от 3 до I000. При сварке более I00 образцов практиковалось, как правило, получение контрольных значений прочности каждого десятого шва.

Приведены результаты испытаний и построены гистограммы разброса абсолютной и распределенной прочностей швов при сварке ленты из сплава АМг2 толщиной 0,3 мм. Статистическая обработка результатов испытаний показала, что распределение разброса прочности

является симметричным. Поэтому для оценки вероятности ожидаемого разброса прочности использовано усиленное неравенство Чебышева, справедливое для произвольного симметричного распределения случайной величины. Показано, что отклонения прочности швов от её среднего значения больше, чем на $\pm 25\%$, практически невозможны.

Проведенные исследования прочностных характеристик сварных швов показали, что шовная УЗС является высокопроизводительным и надежным способом соединения без предварительной зачистки поверхностей медных, алюминиевых, никелевых и других фольг и может быть рекомендована для промышленного внедрения.

4. Методика выбора технологических параметров шовной ультразвуковой сварки металлов. Разработана методика расчета основных параметров, определяющих процесс шовной ультразвуковой сварки металлов. Исходными данными для расчета являются толщина и свойства свариваемых материалов, а также необходимая производительность (скорость сварки). Расчет параметров производится в следующей последовательности:

а) в зависимости от толщины, физико-механических свойств свариваемых материалов и скорости сварки определяется ориентировочное значение электрической мощности колебательной системы;

б) приближенная величина мощности, выделяющейся в зоне сварки, вычисляется с учетом электроакустического КПД колебательной системы;

в) в зависимости от свойств свариваемых материалов и площади контакта сварочного ролика определяется величина усилия сжатия;

г) эквивалентная колебательная сила системы определяется исходя из условий, обеспечивающих стабильную амплитуду колебаний сварочной кромки;

д) по найденным значениям мощности и эквивалентной силы системы рассчитывается необходимая величина колебательной скорости сварочной кромки;

е) колебательная скорость на входном торце концентратора находится из выражения:

$$V_{вх} = V_{св} / K_п \cdot K_у \,, \qquad (14)$$

где $K_п = 2/(\pi\sqrt{n})$ – коэффициент передачи сварочного ролика по колебательной скорости, $K_у$ – коэффициент усиления концентратора.

Расчет геометрических размеров звеньев при резонансном режиме работы колебательной системы производится на основании полученных

решений уравнений (5) и (9) или (II).

Изложенная методика использована при построении машин типа МШУ для шовной ультразвуковой сварки металлов.

В четвертой главе изложены результаты исследования конструктивно-технологических особенностей колебательных систем и основных узлов сварочной машины. Исследования проведены на разработанных во ВНИИЭСО базовых моделях машин, кинематические схемы которых обеспечивают получение сварных швов при перемещении свариваемых металлов (первый вариант) и при перемещении сварочной головки (второй вариант). Приведены описания конструктивных решений основных узлов, которые использованы при разработке трех типоразмеров машин для шовной ультразвуковой сварки металлов. Представлены результаты исследований, проведенных при испытании и внедрении машины для шовной УЗС медной электролитической оксидированной фольги.

Разработанная и изготовленная во ВНИИЭСО колебательная система мощностью I,5 кВт используется в намоточном станке для сварки алюминиевой ленты при изготовлении силовых трансформаторов на Минском электротехническом заводе. Машина типа МШУ-0,63У4 внедрена в производство фольгированных диэлектриков на Московском заводе "ИЗОЛИТ". Внедрение машины позволило повысить качество продукции, уменьшить отходы медной фольги, улучшить условия труда и обеспечить безопасность производства.

Внедрение шовной ультразвуковой сварки в ближайшее время будет способствовать решению таких важных народнохозяйственных задач, как освоение производства силовых трансформаторов новой серии общей мощностью около 5 млн кВА в год и создание линий по производству лакированной алюминиевой ленты. По данным ВНИИМЕТМАШа ожидаемый экономический эффект от внедрения одной машины для шовной УЗС в производство лакированной ленты составляет около 50 т.р. в год.

Разработка оборудования для шовной ультразвуковой сварки открывает широкие перспективы для проведения исследовательских и технологических работ, направленных на совершенствование существующих способов соединения тонколистового проката меди, алюминия, никеля и других металлов, сварка которых в настоящее время затруднена или практически невозможна.

В Ы В О Д Ы

I. Проведены теоретические исследования процесса возбуждения звеньев механической колебательной системы для шовной ультразвуковой сварки металлов. Получены решения для входного сопротивления и коэффициентов передачи по колебательной скорости, а также уравнения для расчета геометрических размеров сварочного ролика и концентратора, обеспечивающих оптимальные режимы их работы.

2. Показано, что с увеличением номера формы колебаний сварочного ролика его входное сопротивление возрастает, а коэффициент передачи изменяется обратно пропорционально квадратному корню из номера формы колебаний.

3. Установлено, что коэффициент усиления конического и экспоненциального концентраторов зависит от сопротивления нагрузки. Зависимости имеют экстремальный характер со сдвигом максимума коэффициента усиления в область инерционных нагрузок. Для экспоненциального концентратора существуют критические нагрузки, при которых происходит срыв колебаний.

4. Проведены экспериментальные исследования условий, обеспечивающих оптимальную передачу энергии ультразвуковых колебаний при шовной УЗС. Установлено, что реактивная составляющая входного сопротивления колебательной системы, построенной из резонансных звеньев, не равна нулю. Причиной этого является неоднородность колебательных процессов в звеньях системы, вследствие чего концентратор нагружен на нескомпенсированную реактивность – сопротивление неоднородности. Установлено, что сопротивление неоднородности является инерционным, а его величина зависит от толщины и номера формы колебаний сварочного ролика.

5. Показано, что для эффективной работы колебательной системы необходима компенсация сопротивления неоднородности. Исследованы два варианта компенсации – сопротивлением сварочного ролика и сопротивлением концентратора. Установлено, что второй вариант является более предпочтительным.

6. Исследовано влияние формы колебаний сварочного ролика на энергетические характеристики колебательной системы. Установлено, что увеличение номера формы колебаний сварочного ролика позволяет в значительной степени стабилизировать работу колебательной системы. Показано, что в диапазоне средних мощностей сварочный ролик со второй формой колебаний обеспечивает достаточно высокую прочность сварных швов при низкой чувствительности колебательной системы к

нагрузкам в процессе сварки.

7. Исследовано влияние технологических параметров шовной ультразвуковой сварки металлов на прочность швов. Установлено, что прочность сварных швов на меди, алюминии, никеле, полученных без предварительной подготовки их поверхностей, находится на уровне 70–90% от прочности основного материала. Показана относительная некритичность технологических параметров и высокая надежность сварных швов при воздействии на них кислотной и щелочной сред, а также при повышенных температурах. Анализ стабильности работы колебательных систем показал, что разброс прочности швов от ее среднего значения в пределах, больших чем ± 25%, практически невозможен.

8. Разработаны два варианта базовых моделей машин для шовной ультразвуковой сварки металлов и проведены исследования конструктивно-технологических особенностей их основных узлов. Предложены и защищены авторскими свидетельствами на изобретение технические решения, которые позволили улучшить качество сварки и расширить технологические возможности сварочных машин.

9. Разработаны машины типа МШУ для шовной ультразвуковой сварки тонколистового проката меди, алюминия, никеля и других цветных металлов при непрерывных технологических процессах их обработки. Машина [redacted] типа МШУ-0,63У4 внедрена в производство фольгированных диэлектриков на Московском заводе "ИЗОЛИТ".

Л И Т Е Р А Т У Р А ,
опубликованная по теме диссертации.

1. Нефедов В.В., Холопов Ю.В. – Устройство для шовной ультразвуковой сварки, а/с № 252839, Б.И., 1969, № 29.
2. Нефедов В.В., Холопов Ю.В. – Шовная ультразвуковая сварка фольги. "Автоматическая сварка", 1970, № 12.
3. Нефедов В.В., Холопов Ю.В., Солдатенков В.А. – Устройство для шовной ультразвуковой сварки, а/с № 272020, Б.И., 1970, № 18.
4. Нефедов В.В., Холопов Ю.В. – Устройство для шовной ультразвуковой сварки, а/с № 275701, Б.И., 1970, № 22.
5. Нефедов В.В., Холопов Ю.В. – Устройство для ультразвуковой сварки металлов, а/с № 277524, Б.И., 1970, № 24.
6. Нефедов В.В., Холопов Ю.В. – Особенности оборудования для шовной ультразвуковой сварки металлов. "Электротехн. промышленность". Сер. "Электросварка", 1971, вып. 6.

7. Нефедов В.В., Холопов Ю.В. – Механическая прочность сварных соединений при шовной ультразвуковой сварке сплава АМг2. "Электротехн.пром-сть.Сер."Электросварка", 1972, вып.1 (10).

8. Холопов Ю.В., Нефедов В.В., Игнатьев А.С., Миркин А.М. – Базовые модели машин для шовной ультразвуковой сварки металлов."Сварочное производство", 1972, № 10.

9. Нефедов В.В., Холопов Ю.В. – Устройство для ультразвуковой роликовой сварки, а/с № 345978, 1972, № 23.

10. Холопов Ю.В., Нефедов В.В., Игнатьев А.С. – Машины МШУ для шовной ультразвуковой сварки металлов."Электротехн.пром-сть.Сер.Электросварка", 1974,вып.3 (24).

11. Лютинский В.В., Нефедов В.В., Холопов Ю.В. – Влияние температурных условий источника питания на стабильность его частоты и механической прочности при ультразвуковой сварке. "Электротехн.пром-сть.Сер.Электросварка", 1975, вып.3 (30).

12. Нефедов В.В., Холопов Ю.В. – Методика расчета колебательных систем для шовной ультразвуковой сварки металлов. "Электротехн.пром-сть.Сер.Электросварка", 1975, вып.4 (31).