

М 352771

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

Гонашевский Леонид Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА УЛЬТРАЗВУКОВОЙ
СВАРКИ ВЫТЕСНЕННЫМ РАСПЛАВОМ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЯКИХ ПЛАСТМАСС

/ Специальность 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

Москва

1979

Работа выполнена в Омском политехническом институте
Научный руководитель – академик АН СССР Николаев Г.А.
Официальные оппоненты : д.т.н., профессор Фролов В.В.
к.т.н., с.н.с. Клеткин И.Д.

Ведущее предприятие – ВНИИСТ

Защита диссертации состоится "___" _____ 1979г.
на заседании специализированного Совета по технологии и машинам
сварочного производства Московского ордена Ленина и ордена
Трудового Красного Знамени высшего технического училища
имени Н.Э. Баумана.

Адрес – 107005, г.Москва, 2-я Бауманская, 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просьба
высылать по указанному адресу.

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

Автореферат разослан "___" _____ 1979г.

В.М. Ямпольский

из. зак. 216

М. 352741

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Применение мягких пластмасс типа полиэтилена, полипропилена и их сополимеров для изготовления довольно ответственных сварных изделий, таких как топливные и аккумуляторные баки, сопла обдува стекла автомобиля, корпуса воздухофильтров к двигателям связано с задачей получения сварных швов, материал которых по своему поведению в процессе эксплуатации практически не отличался бы от основного материала. Физико-химические процессы, происходящие в полимерном материале при сварке, и определяющие его дальнейшее поведение в эксплуатации под действием повышенных температур, ультрафиолетового (УФ) облучения, вибраций и других факторов, в свою очередь зависят от тепловой обстановки в зоне сварки, от параметров режима при любом виде сварки, в том числе и при ультразвуковой. В связи с этим весьма актуальной задачей является исследование физико-химических и структурных превращений в материале, в зависимости от макрореологических процессов в зоне сварки и процессов распространения ультразвуковых колебаний, и разработка на этой основе методики расчета тепловой обстановки в зоне сварки.

Цель исследований. Определение процессов, контролирующих механизм образования соединения при ультразвуковой сварке (УЗС) вытесненным расплавом, выявление причин, снижающих стойкость сварных соединений против старения и разработка процесса сварки, позволяющего получать долговечные соединения, работающие в сложных эксплуатационных условиях.

Методы исследования. В процессе выполнения работы использованы математическое моделирование и метод источников при решении теплофизических задач, методы динамики движения вязких сред при определении скорости перемещения расплава, экспериментальные методы физико-химии полимеров: определение молекулярной массы материала методом вискозиметрии, исследование структурных превращений методом инфракрасной спектроскопии (ИКС), и дифференциальный термический анализ (ДТА) материала шва, электронно-микроскопические исследования надмолекулярных структур, а также методы скоростной макро- и микрокиносъемки, осциллографирование и калориметрирование.

Научная новизна. Анализ явлений, имеющих место при ультра-

звуковой сварке мягких пластмасс, позволил разработать процесс УЗ вытесненным расплавом, при котором сварное соединение образуется в зоне рядом с волноводом, за счет заполнения полости между свариваемыми кромками расплавленным материалом, вытесняемым из зоны контакта деталей под волноводом. Установлены следующие принципиально новые научные положения:

- а) температура расплава и время его пребывания при повышенной температуре определяют склонность материала к дальнейшему окислению в процессе эксплуатации, т.е. его стойкость против старения, при этом увеличение как температуры расплава, так и времени его пребывания при повышенной температуре снижают долговечность материала сварных швов и околосшовной зоны; б) в окончательном виде сформулирован механизм образования соединения при УЗ вытесненным расплавом и показано, что тепловая обстановка в зоне образования соединения является результатом действия двух источников теплоты - подвижного, это движущийся расплав, и неподвижного объемного источника, которым являются распространяющиеся в кромках колебания; в) разработана методика расчета тепловой обстановки в зоне образования соединения с учетом действия 2-х источников теплоты.

Практическая ценность. Установление закономерностей механизма образования соединения при УЗ вытесненным расплавом изделий из мягких пластмасс позволило разработать процесс сварки изделий с толщиной стенки 2,5 мм прочными и герметичными швами.

Изучение распространения колебаний в волноводах различных форм позволило установить причины появления поперечных составляющих колебаний и их отрицательное влияние на процесс сварки, а также разработать многостержневые сварочные головки, в которых поперечные колебания практически отсутствуют. Определено влияние условий охлаждения элементов колебательных систем на стабильность процесса сварки и разработаны сварочные головки с колебательными системами погруженного типа с улучшенными условиями охлаждения, за счет увеличения активной поверхности контакта элементов колебательных систем с охлаждающей жидкостью.

Апробация работ. Диссертационная работа и отдельные ее разделы доложены на всесоюзной конференции "Применение сварки в приборостроении" в г. Пензе в 1976 г., на научно-технических семинарах ОмПИ в 1977-1978 г.г., на научно-методической конференции в г. Новосибирске в 1976 г.

на научном семинаре сварщи-
им. Н. Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

ков г.Москвы при МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1979г.

Результаты исследований изложены в 10 печатных работах и защищены авторским свидетельством.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации 186 страниц, из них 82 рисунка, 8 таблиц. В списке литературы 76 наименований.

В главе 1 рассматривается состояние вопроса сварки мягких пластмасс, постановка задачи и выбор объекта исследований.

Мягкие пластмассы, типичными представителями которых являются полиэтилен, полипропилен и их сополимеры, характеризуются низким модулем упругости ($E < 5 \cdot 10^4$ кгс/см²) и большим коэффициентом затухания ультразвуковых колебаний ($\beta > 0,55$ см⁻¹), в последние годы начали широко применяться для изготовления ответственных изделий, работающих в условиях повышенных температур, вибрационных нагрузок и под действием климатических факторов. Так как срок эксплуатации этих изделий приравнивается к сроку жизни самого материала (5-10 и более лет), возникла проблема получения сварных швов, которые должны сохранять свои свойства в течение такого же длительного времени.

Анализ литературы, посвященной вопросам сварки мягких пластмасс, показывает, что эти материалы могут быть сварены большинством тепловых способов сварки, а также такими способами, как ИК-излучением, трением, ультразвуком.

При большинстве способов сварки кратковременная прочность соединений может достигать 80-100% от прочности основного материала, однако со временем, при старении происходит падение прочности, причем в разной степени для различных видов сварки.

Технологически неизбежный перегрев при тепловых способах сварки (на 70-100°C выше температуры плавления материала) приводит к резкому падению прочности при старении. Наилучшие результаты могут быть получены при сварке трением и ультразвуком. При сварке трением, соединения практически равнопрочны основному материалу в процессе длительного старения, однако этот способ ограничен в применении формой изделия и используется в большинстве случаев лишь для сварки кольцевых швов и сплошных сечений сравнительно небольших размеров.

Так как большинство изделий, изготавливаемых из мягких пластмасс, имеет корпусную конструкцию, с толщиной стенок от 1,5 до 4 мм и сложную криволинейную форму шва протяженностью до 500 мм и выше, то из анализа литературы видно, что из всех рассмотренных способов сварки наибольшими потенциальными возможностями обладает ультразвуковая сварка.

Вопросы УЗС пластмасс решались в ряде работ Николаева Г.А., Ольшанского Н.А., Мордвинцевой А.В., Дружинина Н.В., Моисового И.В., Волкова С.С. и др. авторов. Важность и основополагающее значение этих работ общеизвестны поэтому настоящая работа базируется на достигнутых научных результатах.

Как показано в работах Моисового И.В., Волкова С.С. при ультразвуковой сварке наблюдается значительный разброс значений прочности, даже на одном изделии прочность шва колеблется от 50 до 100% от основного материала. Исследователи объясняют такой разброс нестабильностью процесса сварки, однако физико-химическая сущность происходящих процессов остается не раскрытой.

Проведенный анализ схем УЗС, применяемых приемов, изучение срезов и прочностные испытания образцов показали, что сварное соединение при УЗС мягких пластмасс образуется как в центральной части под волноводом, так и в периферийной зоне, за счет выдавливаемого из зоны контакта деталей расплавленного материала.

Замеры температур в зоне шва, изучение срезов разрушенных образцов, сваренных по разным схемам, например, с дополнительным захватом и без дополнительного захвата образцов, показали, что причинами нестабильности прочности соединений являются :

- во-первых, большой разброс температур выдавливаемого материала - от 100 до 180°C, что приводит к несплавлению и снижению прочности на участках с низкой температурой и перегреву материала и также снижению прочности на участках с высокой температурой;

- во-вторых, из-за неравномерной ширины периферийной зоны сплавления на участках с малой ее шириной несущая способность соединения оказывается низкой, даже несмотря на качественное сплавление расплава с кромками на этом участке.

Разработка сварочного процесса, обеспечивающего получение равномерной ширины периферийной зоны сплавления и стабильного

качества сплавления расплава с кромками с изучением явлений, происходящих в зоне сварки : а) распространение ультразвуковых колебаний (УЗК) в свариваемых деталях и их роль в образовании соединения ; б) кинетика перемещения вытесняемого расплава и ее взаимосвязь с тепловыми процессами; в) влияние тепловых процессов в зоне сварки на свойства материала; г) физико-химические и структурные превращения в материале и их влияние на прочность и долговечность соединений, являлись основными задачами исследований диссертационной работы.

В качестве материала для исследований выбран полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), у которого наиболее ярко выражены типичные для мягких пластмасс свойства - низкий модуль упругости ($E < 2 \cdot 10^4$ кгс/см²), большой коэффициент затухания УЗК ($\beta > 0,55$ см⁻¹). Основным типом соединений, применительно к которым разрабатывался процесс сварки, являлись соединения по отбортовке на корпусных конструкциях.

В главе II на основании предварительных исследований различных форм подготовки кромок, конструкции соединений, создающих условия для течения расплава, ограничивающих его перемещение и других факторов разработан процесс сварки вытесненным расплавом, в основу которого положено разделение зоны сварки на зону образования расплава и зону образования соединения. (рис.1).

При сварке по схеме вытесненным расплавом соединяемые кромки располагают под волноводом с зазором. Приложенным сварочным давлением кромки приводятся в соприкосновение друг с другом, при этом в зоне рядом с волноводом образуется полость, которая заполняется расплавленным материалом, вытесняемым из зоны контакта деталей под волноводом. Расплавленный материал оплавляет кромки деталей и при полном заполнении полости образуется сварное соединение.

С целью изучения влияния кинетики процесса и тепловой обстановки на физико-химические процессы в материале и влияния этих процессов на прочность и долговечность соединений проводились испытания в аппарате искусственной погоды АИП-1 образцов, сваренных на различных режимах сварки, обеспечивающих разную степень нагрева расплава, различное время пребывания его при повышенной температуре. Испытания на старение проводились в соответствии с ГОСТом 17171-71 по режиму со-но-5-7. После испытаний в АИП-1 образцы подвергались механическим испытаниям на разрушение, а также проводились исследования

ИК-спектров поглощения и ДТА материала шва и электронно-микроскопические исследования надмолекулярных структур.

Для получения сравнительной оценки проводились исследования образцов, сваренных УЭС по известной схеме, УЭС вытесненным расплавом и тепловой сваркой нагретым элементом.

Установлено, что склонность материала к окислению (что наблюдалось по появлению соответствующих полос в ИК-спектрах поглощения материала), а, следовательно, его стойкость против старения, находятся в прямой зависимости от температуры нагрева материала в процессе сварки и времени его пребывания при повышенной температуре. Количественная оценка склонности материала к окислению давалась по площадям экзотермических пиков на кривой ДТА.

$$\Delta H = \frac{\kappa \cdot A}{m} \quad (2-1)$$

где ΔH - теплота реакции
 A - площадь пика кривой
 κ - калибровочный коэффициент
 m - масса реагирующего образца

В качестве эталона для определения калибровочного коэффициента κ использовалась бензойная кислота.

Кроме того, перегрев материала, как показали электронно-микроскопические исследования, сопровождался появлением структурной неоднородности и укрупнением сферолитов, приводящих к снижению пластических свойств материала.

С целью изучения тепловой обстановки в зоне сварки, возможности ее количественной оценки и определения путей управления процессом сварки, обеспечивающим получение материала шва с требуемыми свойствами, проводились исследования процесса течения расплава с использованием скоростной киносъемки, термографирование и калориметрирование процесса, а также изучалось распространение колебаний свариваемых кромок. Полученные кинокадры позволили раскрыть явления, сопровождающие процесс УЭС вытесненным расплавом.

Установлено, что течение расплава подчиняется основным закономерностям течения вязкой неньютоновской жидкости в целевом аппарате и может быть удовлетворительно описано следующим соотношением :

$$W = \frac{\Delta P \cdot \kappa \varphi}{\eta} \quad (2-2)$$

где : W - объемный расход,
 Δp - перепад давлений,
 μ - кинематическая вязкость жидкости,
 K_f - коэффициент, учитывающий соотношение геометрических размеров канала.

Пользуясь этим соотношением, определяли расчетным путем скорость движения расплава, являющегося источником теплоты при сварке.

$$V = \frac{\Delta p \cdot K_f}{\mu \cdot S_k} \quad (2-3)$$

где : V - скорость течения расплава,
 S_k - сечение канала.

Установлено, что скорость течения расплава составляет около 2-4 мм/сек.

Эффективную мощность источника теплоты q определяли исходя из количества звуковой энергии, введенной в некоторый объем материала под волноводом:

$$q = 2 \pi^2 f^2 \xi^2 Z_{акт} S_u \quad (2-4)$$

где : f - частота вводимых колебаний,
 ξ - амплитуда колебаний рабочего торца волновода,
 $Z_{акт}$ - активная составляющая нагрузки,
 S_u - площадь рабочего торца волновода.

Величина $Z_{акт}$, показывающая долю энергии механических колебаний, превращаемую в теплоту, определялась методом калориметрирования.

Исследования распространения колебаний в кромках, выполненные с использованием скоростной микрокиносъемки, показали, что в кромках имеют место колебания сложной формы, являющиеся результатом сложения продольных и поперечных составляющих и вызывающие разогрев кромок.

Количество теплоты, выделяемой в кромках рядом с волноводом, определялось на основании выражения (2-4), при этом величина

ξ , принималась равной (0,3-0,4 ξ).

Результаты проведенных исследований позволили в окончательном виде сформулировать следующий механизм образования соединения :

1) Ультразвуковые колебания, распространяющиеся под волноводом, разогревают материал с образованием расплава, одновременно

менно происходит нагрев ультразвуковыми колебаниями свариваемых кромок в близлежащей зоне.

2) Процесс образования расплава протекает одновременно с его вытеснением в зазор и под волноводом непрерывно обрабатываются новые порции расплава, при этом время пребывания расплава в зоне нагрева сводится до минимума.

3) Движущийся по зазору расплав разогревает кромки, сплавляется с ними, а ультразвуковые колебания, распространяющиеся в кромках, способствуют его дополнительному перемешиванию и ускоряют диффузионные процессы. После полного заполнения зазора и прекращения действия УЗК происходит выравнивание температуры и завершение диффузионных процессов. Образуется сварное соединение.

Исходя из кинетической модели процесса образования соединения разработана методика расчета тепловой обстановки в зоне сварки, согласно которой температурное поле в процессе сварки рассматривается как результат действия двух источников теплоты: а) равномерно распределенного объемного источника q_1 , являющегося результатом распространения УЗК в свариваемых кромках; б) подвижного теплового источника q_2 - движущегося расплава.

$$t(x, y, z) = t_1(q_1, z) + t_2(q_2, x, y, z) \quad (2-4)$$

где: t_1 - температура в точке от действия объемного источника теплоты

t_2 - температура в точке от действия подвижного источника теплоты.

При начальных и граничных условиях:

$$\begin{aligned} \tau = 0 \quad t = 0 \\ q_s = 0 \end{aligned} \quad (2-5)$$

Индекс s относится к поверхности.

Особенностью подвижного источника является то, что он не весь одновременно начинает свое действие на нагреваемое тело, а последовательно входит в контакт, поэтому подвижный источник схематизирован нами серией линейных, непрерывно действующих источников, начинающих свое движение от края пластины, причем каждый последующий источник начинает свое действие на величину $\Delta \tau$, позднее, чем предыдущий и проходит к моменту окончания сварки расстояние на величину ΔX меньшее (рис.2).

$$t_1(q_1, \tau) = \int_0^{\tau} \frac{q_1 d\tau}{c\rho} \quad (2-6)$$

$$t_2(q_2, x, y, \tau) = \sum_{n=0}^N \int_{\tau''}^{\tau} \frac{\Delta q_2 V d\tau'}{4\pi a c \rho l (\tau - \tau')} \exp\left[-\frac{(x - V\tau')^2 + y^2}{4a(\tau - \tau')}\right] \quad (2-7)$$

где : V - скорость движения расплава,
 a - температуропроводность материала,
 c - удельная теплоемкость,
 ρ - плотность материала,
 l - длина рабочей части волновода,
 Δq_2 - мощность единичного линейного источника.

$$\Delta q_2 = \frac{q_2^2}{\delta} \Delta x \quad (2-8)$$

где: δ - длина зазора.

$$\tau'' = \frac{\Delta x}{V} n \quad (2-9)$$

где: τ'' - момент начала действия отдельного источника,
 n - число, являющееся порядковым номером источника.

$$0 \leq n \leq N \quad N = \frac{\delta}{\Delta x} \quad (2-10)$$

С использованием разработанной модели были рассчитаны на ЭВМ „Наири-2“ температурные поля и термические циклы при сварке полиэтилена толщиной от 1 до 5 мм.

Получено хорошее совпадение расчетных и экспериментальных термических циклов, при сварке полиэтилена толщиной 2,5 мм, что свидетельствует об адекватности разработанной математической модели.

В главе III проведены исследования режимов работы срарочных инструментов- волноводов и описаны разработанные многостержневые сварочные головки погруженного типа.

Ультразвуковую сварку изделий больших размеров осуществляют чаще всего шовно-шаговым способом, путем перекрытия отдельных участков, однако это снижает производительность процесса.

Прогрессивным направлением в области УЗС является применение контурных волноводов, успешно используемых для сварки кольцевых швов. Однако получить сварное соединение по сложному криволинейному контуру подобными волноводами не удается, что связано, как показавали исследования с неравномерностью распределения амплитуд и с наличием поперечных составляющих колебаний на рабочем торце волновода и вызывающих подплавление материала под волноводом, ухудшающее качество сварки (рис.3).

Причиной возникновения поперечных колебаний и неравномерности распределения амплитуд продольных колебаний являются значительный периметр контура — до 500 мм, несимметрия контура и, соответственно, волновода .. др.

Разработаны многостержневые сварочные головки, состоящие из нескольких колебательных систем с волноводом стержневого типа, объединенные на общей диафрагме и работающие одновременно от одного источника питания. Практически полное отсутствие поперечных колебаний в рабочей части волноводов многостержневых сварочных головок позволяет получать швы одинаково высокого качества по всему контуру.

Практика использования УЗС в промышленности показывает, что в существующих конструкциях ультразвуковых сварочных головок происходит быстрый нагрев волноводов, что отрицательно сказывается на процессе сварки.

В основу разработанной конструкции сварочной головки погруженного типа положено нижнее расположение сварочной головки в машине, т.е. волноводы располагаются вверх рабочим торцем и механизм создания давления расположен сверху. Это позволило сравнительно просто решить проблему охлаждения элементов колебательных систем, путем погружения в охлаждающую жидкость не только преобразователя и трансформатора колебаний, но и большей части волновода (рис.4).

Замеры температур в рабочей части волноводов термомпарами и калориметрирование позволили установить, что при погружении волновода на $1/2 - 3/4$ их длины в охлаждающую жидкость обеспечивает работу их без перегрева практически при любых значениях ПВ.

В главе 1У на основе технологических исследований влияния параметров процесса сварки, энергетических характеристик колебательных систем разработаны технологический процесс и оборудование для ультразвуковой сварки 2-х типов воядухофильтров из полиэтилена для малолитражных двигателей внутреннего сгорания.

Основным моментом при разработке технологического процесса сварки с использованием многостержневых сварочных головок является получение одинаковых свойств сварных швов, сваренных разными колебательными системами.

В основу разработанного технологического процесса положен принцип равной энергоемкости отдельных участков шва, т.е.

сложный криволинейный контур разделяется на отдельные участки, в которые вводится равное удельное количество энергии. Выбор параметров технологического процесса и разработка конструкции соединения осуществлялись с использованием выражений для оценки тепловой обстановки в зоне сварки

Стендовые и эксплуатационные испытания изделий подтвердили высокую прочность и долговечность сварных соединений, полученных УЭС вытесненным расплавом.

Внедрение разработанных техпроцесса и оборудования на Петropавловском заводе малолитражных двигателей позволили получить экономический эффект более 100 тыс. рублей в год. Изделия экспортируются за границу в 11 стран мира. Кроме сварки в воздушно-филътров на базе процесса УЭС вытесненным расплавом разработана технология и опытно-промышленное оборудование для изготовления путем сварки и других изделий: полипропиленовых сопел обдува ветрового стекла автомобиля "Камаз", корпусов термосов из полипропилена и полиэтилена.

В Н В О Д И

1. В результате всестороннего изучения с помощью ИРС спектров поглощения, ДТА и электронной микроскопии протекающих в полимерах физико-химических структурных превращений установлено, что при тепловых способах сварки, основанных на нагреве от внешнего источника теплоты, перегрев полимерного материала является технологически неизбежным и сопровождается деструкцией материала. Это приводит к снижению прочности сварных соединений при эксплуатации в условиях повышенных температур, и под действием климатических факторов.

2. Проведенный анализ схем и приемов, применяемых при УЭС мягких пластмасс показывает, что существующие схемы ультразвуковой сварки не исключают перегрев материала и не обеспечивают стабильного качества при сварке мягких пластмасс толщиной свыше 1 мм из-за неодинаковой прочности на отдельных участках шва и низкой воспроизводимости результатов сварки.

3. Разработан процесс УЭС вытесненным расплавом, в основу которого положен принцип разделения зоны сварки на зону образования расплава и зону образования шва.

Кинетика процесса при этом заключается в том, что сварное

соединение образуется в зоне рядом с волноводом за счет заполнения зазора между свариваемыми деталями расплавом, вытесняемым из-под волновода, а конструкция соединения создает условия для протекания таких макрореологических процессов, при которых обеспечивается движение расплава, разогревающего свариваемые кромки, захватывающего пограничные слои полимера и смешивающегося с ними.

4. Энергия УЗК, воздействующих на зону образования шва, имеет малую интенсивность и осуществляет предварительный подогрев соединяемых поверхностей, а также способствует дополнительному перемешиванию расплава и ускоряет диффузионные процессы, а минимально возможный нагрев и малое время пребывания расплава в зоне его образования предупреждают развитие процессов деструкции, укрупнение структуры сварного шва и обеспечивают получение долговечных соединений, не уступающих основному материалу по поведению в сложных эксплуатационных условиях.

5. Разработана инженерная методика расчета тепловой обстановки в зоне образования соединения, состоящая в том, что температурное поле рассматривается как результат действия двух источников теплоты, причем подвижный источник теплоты схематизирован серией линейных непрерывно действующих источников с равной продолжительностью действия. Получена удовлетворительная сходимость расчетных и экспериментальных термических циклов при сварке ПЭНП толщиной 2,5 мм.

6. Дан анализ применяемых для УЗС волноводов с точки зрения их технологических возможностей и показано, что одним из перспективных направлений сварки крупногабаритных изделий из полимеров является применение многостержневых сварочных головок с несколькими колебательными системами.

Разработаны многостержневые сварочные головки, в которых несколько колебательных систем объединены на общей диафрагме и погружены в охлаждающую жидкость на большую часть длины инструмента. Головки работают без перегрева благодаря увеличенной поверхности контакта элементов колебательных систем с охлаждающей жидкостью.

7. Изучены причины нестабильности качества ультразвуковой сварки при использовании рупорообразных контурных волноводов и установлено, что в инструментах со сложной конфигурацией рабочего торца неизбежно возникают поперечные смещения, которые

вызывают подплавление в зоне контакта инструмента с изделием. Устранение поперечных составляющих до минимума повышает производительность процесса и качество сварки.

8. Разработан процесс сварки криволинейных, большой протяженности швов, состоящий в том, что шов разделяется на участки одинаковой энергоемкости и выполняется одновременно различными колебательными системами.

Разработанный технологический процесс применен при изготовлении полиэтиленовых воздухофильтров с криволинейными контурами сварки длиной 400 и 450 мм.

Процесс и оборудование внедрены в производство, обеспечивая годовой выпуск 150 тыс. изделий.

Получен экономический эффект более 100 тыс. рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах :

1. Моаговой И.В., Гонашевский Л.В. Регулирование температурного режима ультразвуковой сварки полиэтилена - Автоматическая сварка, 1975, №10, с 75-76.

2. Моаговой И.В., Гонашевский Л.В. Ультразвуковая сварка изделий из полиэтилена с применением присадки - Автоматическая сварка, 1975, №7, с 74-75.

3. Гонашевский Л.В., Моаговой И.В., Ощепков В.Е. Опорное устройство для ультразвуковой сварки, Авт.свид. № 510376, - Бол.изобрет., 1976, №14.

4. Моаговой И.В., Гонашевский Л.В. Установка для ультразвуковой сварки полимерных пленок и тканей - В сб. "Труды ОмПИ", г.Омск, 1970, с 143-145.

5. Моаговой И.В., Гонашевский Л.В. Машина для ультразвуковой сварки воздухоочистителей из полиэтилена - Сварочное производство, 1976, № 5, с 53-54.

6. Гонашевский Л.В., Моаговой И.В. Исследование процесса ультразвуковой сварки полиэтилена вытесненным расплавом. В сб. „ Эффективность использования технических средств в вузах РСФСР", г.Новосибирск, 1976, с 95.

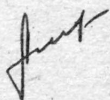
7. Моаговой И.В., Гонашевский Л.В. Улучшение условий охлаждения ультразвуковой сварочной головки - Сварочное производство, 1978, №3, с 43-44.

8. Моаговой И.В., Гонашевский Л.В. Влияние поперечных

колебательных движений ультразвуковых инструментов на процесс сварки пластмасс - Автоматическая сварка, 1977, №7, с 62-63.

9. Моэговой И.В. и др. Микрофотографирование траекторий колебаний при ультразвуковой сварке пластмасс - Сварочное производство, 1978, №10, с 52-53.

10. Моэговой И.В., Гонашевский Л.В. О механизме образования соединения при ультразвуковой сварке полиэтилена. Сб. "Прогрессивные технологические процессы заготовительного производства", г.Новосибирск, 1978 с 127-129.



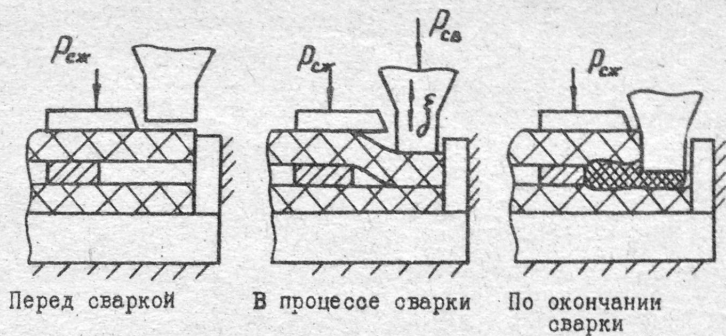


Рис.1. Схема УЗС вытесненным расплавом.

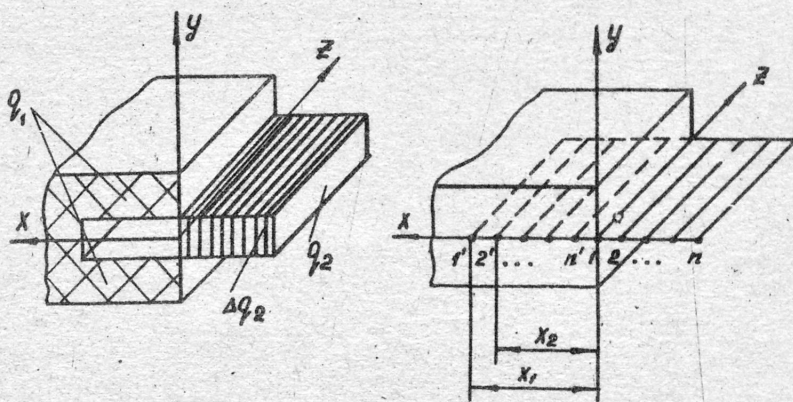


Рис.2. Расчетная схема нагрева.

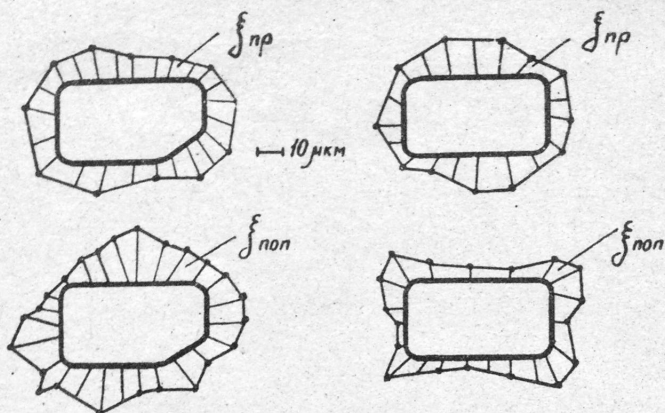


Рис.3. Эпюры распределения амплитуд в рабочей части рупорообразных волноводов.

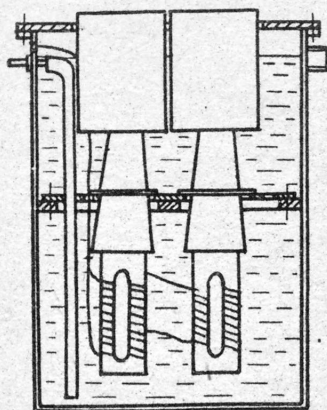


Рис.4. Многостержневая сварочная головка погружного типа.