

4228518
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

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

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

СОВЕТОВ Александр Николаевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА
ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРКИ ИЗДЕЛИИ
ИЗ КАПРОЛОНА «В»**

(05.04.05 — Технология и машины сварочного производства)

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана.

Научный руководитель —
чл.-корр. АН СССР, профессор, д. т. н. Николаев Г. А.

Научный консультант — к. т. н., ст. н. с. Волков С. С.

Официальные оппоненты:

Ведущее предприятие — ВНИИЭСО.

Автореферат разослан « » 1974 г.

Защита диссертации состоится « » 1974 г.

на заседании Сов
Московского ор
Знамени высше
по адресу: Моск
ного
мана

Ваши отзывы
просьба выслать
тью,

С диссертаци
лица.
чи-

Ученый секре

M228518



1228518

Советов А.Н. Исследование

ВВЕДЕНИЕ

Полимерные материалы находят в настоящее время все более широкое применение. Это обусловлено их исключительно ценными свойствами, к которым в первую очередь следует отнести: малый удельный вес, высокую эластичность, низкую тепло- и электропроводность, стойкость к воздействиям агрессивных сред.

Уже сейчас многие детали из металлов и сплавов заменяются полимерными. Такая замена требует почти "металлических" прочностных и несущих свойств последних, что инициирует создание новых высокопрочных конструкционных материалов.

Из материалов, созданных в последнее время, особый интерес представляет капролон "В", обладающий отличными прочностными характеристиками /см.табл./, который уже сейчас применяется достаточно широко.

1228518

Свойства	Капролон "В"	Бронза БР-0С-5-25	Чугун СЧ12-28
Плотность г/см ³	1,15	8,1	7,03
Предел прочности на сжатие кг/см ²	900-1250	900	4000
Предел прочности на изгиб кг/см ²	1200-1500	1300	3200
Предел прочности на растяжение кг/см ²	800-950	1700	1200
Предел прочности на срез кг/см ²	450-780	-	1300
Твердость по Бринелю кг/мм	18-26	60	160
Коэффициент теплопроводности ккал/м·час·град	0,23	50	40

Весьма насущной в судостроении является проблема замены деталей центробежных насосов полимерными. Сказанное в большой степени относится к рабочим колесам центробежных насосов, изготавливаемым из металлов путем отливки по выплавляемым моделям. К недостаткам этого метода следует отнести большой вес изделий, сложность технологического процесса, трудность обработки внутренних полостей колеса после отливки, высокую стоимость и неблагоприятные санитарно-гигиенические условия применяемой технологии.

На основании вышесказанного цель работы состояла в разработке и исследовании способа производства рабочих колес центробежных

насосов из полимерных материалов, свободных от указанных недостатков.

Анализ возможных способов изготовления подобных изделий показал, что метод изготовления колес за одно целое с использованием "соляных знаков" неперспективен. Соединение опорного и покрывающего дисков, отлитых отдельно друг от друга, тепловой сваркой, склеиванием, стягиванием болтами также нецелесообразно. Поэтому из условий производительности процесса, предохранения материала от термоокислительной деструкции и получения изделий с достаточной чистотой рабочей полости, мы сконцентрировали свое внимание на ультразвуковой сварке.

В развитие данного способа сварки большой вклад внесли работы советских ученых школы МВТУ им. Баумана, руководимой членом-корреспондентом АН СССР Г.А. Николаевым, и ряда других организаций: А.В.Мордвинцевой, Н.А.Ольшанского, Н.В.Дружинина, И.В.Мозгового, С.С.Волкова, Ю.Н.Орлова, Р.Н.Астаховой, Л.Н.Мацук, А.В.Богдасhevского, Ю.В.Холопова и др.

Однако, уже первые эксперименты показали невозможность получения прочных сварных соединений на капролоне "В" при передаточной ультразвуковой сварке, по обычной схеме. Кроме того, свариваемость капролона "В" в значительной степени зависела от геометрических размеров деталей.

В соответствии с вышесказанным для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Исследовать свойства исходного материала.
2. Изучить возможность смещения областей с максимальным теплообразованием к границе раздела.
3. Исследовать распределение параметров звукового поля в зависимости от геометрических размеров деталей.
4. Разработать технологию сварки для наиболее распространенных типов соединений.
5. На базе технологических исследований создать оборудование для производства рабочих колес центробежных насосов.

Глава I. Исследование физико-механических свойств капролона "В"

Рассмотрение условий эксплуатации рабочих колес центробежных насосов позволило определить виды испытаний, дающих достоверную картину поведения материала в реальных условиях. Необходимо было проанализировать следующие данные: I. влияние на

свойства капролона "В" водопоглощения; 2. изменение физико-механических свойств материала при повышенных температурах; 3. роль старения, как фактора, влияющего на прочностные показатели; 4. результаты усталостных испытаний.

В результате экспериментов по определению влияния водопоглощения было выяснено, что физические свойства капролона "В" изменяются незначительно, оставаясь в два раза выше, чем у капрона. Максимальное водопоглощение достигается через два месяца вылеживания в воде с температурой 15-20°C и составляет 6,5%.

Старение, в связи с его влиянием на прочность, начинает проявляться лишь после двухсот часов облучения двумя дуговыми лампами при 90°C.

Понижение и повышение температур до -50 и +100°C не приводит к значительному изменению прочностных показателей.

По своей усталостной прочности капролон приближается к армированным пластикам, а в некоторых случаях превосходит их. Примечательно также, что материал отличается и большим коэффициентом сопротивления, свидетельствующим о том, что после определенного числа циклов испытаний капролон сохраняет значительную долю первоначальной прочности.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о возможности применения капролона "В" в качестве материала для изготовления рабочих колес центробежных насосов.

На свариваемость ультразвуком влияет большое количество факторов. К ним в первую очередь следует отнести гистерезисные потери при циклическом деформировании, динамический модуль упругости, температурный интервал вязкотекучего состояния, демпфирующие свойства.

По мнению *H. Patente* и Б.А.Черняка гистерезисные потери от циклического деформирования являются источником теплоты при ультразвуковой сварке, определяя, таким образом, возможность получения соединений вообще. С.Б.Ратнер указывает, что большинство пластмасс /к ним относится и капролон "В"/ имеет относительно высокие гистерезисные потери, что приводит к значительному их разогреву и таким образом гарантирует теплообразование при ультразвуковой сварке.

При образовании соединений нагрев свариваемых поверхностей необходимо осуществлять до определенной температуры, которая должна быть ниже температуры деструкции и выше минимальной, что

соответствует температурному интервалу вязкотекучего состояния. Необходимо также подвести к границе раздела определенное количество энергии. В качестве критерия такой способности может служить коэффициент затухания $1/\beta$.

Распределение пучностей и узлов колебательных скоростей и сил ультразвукового поля связано с геометрическими размерами деталей определяемыми акустическими параметрами. Это приводит к необходимости экспериментального определения динамического модуля упругости, скорости звука и длины волны на ультразвуковой частоте колебаний.

Для определения температур перехода в вязкотекучее состояние $T_{ст}$ был использован метод термомеханических кривых. Эксперимент заключался в регистрации деформации и температуры цилиндрического образца при сжатии, достаточно быстро и равномерно нагреваемого в вакуумном масле.

Известно, что температура размягчения $T_{ст}$ полимеров весьма резко зависит от механического напряжения, испытываемого материалом. Значение последнего вследствие этого изменялось от 74 до 500 кг/см^2 . В результате было установлено, что зависимость $T_{ст}$, определенной как точка пересечения касательных к пологой и крутой ветви термомеханической кривой, от давления линейно падает, уменьшаясь с 225 до 130°C .

Температура деструкции определялась по резкому увеличению давления в результате газообразования, происходящего при нагревании мелкой стружки капролона "В". Таким образом было установлено, что температура деструкции лежит в пределах $290-310^\circ\text{C}$.

Измерение скорости звука и коэффициента затухания производилось на приборе УКБ-ІМ, реализующем импульсный метод измерения распространения и затухания ультразвуковых колебаний. К преимуществам последнего следует отнести простоту и надежность измерений для изучения динамических упругих свойств при высоких частотах.

Геометрические размеры образцов выбирались таким образом, чтобы система удовлетворяла определению "стержневой". В результате измерений были получены значения скорости звука и коэффициента затухания равные $2,28 \cdot 10^5 \text{ см/сек}$ и $0,19 \text{ неп/см}$ соответственно на частоте 25 кгц.

Рассмотрение полученных характеристик в связи с оценкой материала на свариваемость по известным классификациям привело к

противоположным результатам.

Согласно Л.Н.Скороходову, предлагающему характеризовать свариваемость значением модуля упругости $E < 2 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2$ - плохо сваривающиеся, $E > 2 \cdot 10^4 \text{ кг/см}^2$ - хорошо сваривающиеся/, капролон "В" необходимо отнести к хорошо сваривающимся материалам. Значение же коэффициента затухания материала, согласно И.В.Мозговому, классифицирует капролон "В", как трудно свариваемый. Очевидным, таким образом, является факт необычности материала по сравнению с другими "жесткими" термопластами /полиметилметакрилат, полистирол и др./, у которых достаточная упругость сочетается с низким значением коэффициента затухания.

Значение последнего дает основание предполагать наличие трудностей при образовании соединений, связанных с ограниченной возможностью транспортирования энергии к границе раздела.

Глава II. Исследование влияния геометрии деталей на свариваемость ультразвуковым методом

Анализ существующих рекомендаций показал, что обработка свариваемых кромок /наличие разделки, искусственных или естественных шероховатостей/ приводит к положительному эффекту, выражающемуся в сведении к минимуму необходимой для процесса энергии, повышению прочности соединений, уменьшению разброса прочностных показателей. Экспериментально, однако, указание преимущества подтверждены в недостаточной мере. Отметим также отсутствие единого мнения даже по вышеперечисленным преимуществам, не говоря уже о теоретическом обосновании необходимости подготовки поверхности.

Согласно современным взглядам разогрев полимеров при ультразвуковой сварке обусловлен либо совместным действием внутреннего и внешнего трения /*H. Potente* /, либо только гистерезисными потерями при циклическом деформировании /Б.Я.Черняк/. Распространяя эту гипотезу на "жесткие" пластмассы Б.Я.Черняк указывает, что уменьшение реальной площади контакта приводит к развитию значительных динамических напряжений. Как бы продолжая эту мысль *H. Potente* утверждает, что "зоны размягчения являются областями, где динамические напряжения имеют максимум. В этих зонах и происходит сварка." Достаточно полное подтверждение выдвинутой гипотезе можно найти в литературе по механике полимеров. Оно, однако, совершенно отсутствует применительно к высоким частотам и малым амплитудам смещений, характерным для процесса ультразвуковой

сварки полимерных материалов. Поэтому было необходимо: 1. привести экспериментальное обоснование необходимости разделки кромок при сварке трудносвариваемых пластмасс; 2. определить оптимальную форму свариваемых кромок на образцах из капролона "В"; 3. исследовать кинетику образования соединений при сварке изделий с разделкой кромок на жестких полимерных материалах.

Наиболее распространенными из применяемых разделок является V-образная и гнездовая. Применение гнездовых разделок, однако, неоправданно из-за сложности их изготовления. Поэтому в дальнейшем свариваемые кромки образцов обрабатывались V-образно.

Для качественной оценки напряжений, возникающих в контакте деталь-деталь при озвучивании, были произведены эксперименты, основанные на поляризационно-оптическом методе. В результате было установлено, что разделка свариваемых кромок действительно, как это и предполагалось *H Potente* и Б.Я.Черняком приводит к возникновению пучности напряжений на границе раздела. В связи с полученными результатами весьма интересным представлялось установить связь между уровнем динамических напряжений и теплообразованием в этой зоне, для чего было проведено термографирование процесса.

Последнее показало, что на блочном полистироле наличие разделки кромок приводит к уменьшению времени достижения максимальных температур в три раза по сравнению с образцами, где разделка кромок не производилась. Термографирование процесса сварки тавровых и стыковых образцов из капролона "В" позволило установить, что при отсутствии разделки зона максимального развития температур находится в области, прилегающей к волноводу. Соединение в этом случае не образуется. Обработка кромок приводит к смещению максимума температур к границе раздела и гарантирует получение сварного соединения.

Наличие разделки оказывает существенное влияние и на кинетику образования соединений. Достаточно большое количество данных по образцам из жестких полимерных материалов, сваренных ультразвуковым методом позволило заметить, что образование соединений может происходить по двум схемам: 1. с "преимущественным внедрением" одной из деталей в другую; 2. с "преимущественным оплавлением" острия разделки. По аналогии с проникновением артиллерийских снарядов в преграды, "внедрение" было объяснено ударным воздействием волновода о торец образца. Условие ударного воздей-

ствия применительно к ультразвуковой сварке запишется в виде:
 $\epsilon < A$, здесь ϵ — деформация от статического давления,
 A — амплитуда смещений.

Пренебрегая вязкими свойствами материала в силу того, что время действия динамической силы мало, и учитывая, что разделка деформируется пластически, можно считать материал участка постоянного сечения подчиняющимся закону Гука. Тогда условие удара запишется: $P \cdot \frac{\ell}{E} < A$, где P — статическое сварочное давление, ℓ — длина преимущественно упругой части образца /длина образца минус высота разделки/, E — модуль упругости. Давление, при котором происходит отрыв и удар волновода с торец, определяется напряжением: $P_{кр} < \frac{AE}{\ell}$ (I). При $P > P_{кр}$ удара не происходит. Теплообразование здесь целиком связано с потерями на внутреннее трение, приводя к "оплавлению" разделки. Ударное воздействие, подтвержденное фотографированием границы раздела волновод-деталь происходит при возрастании давления до 25 кг/см^2 /при $A=45 \text{ мм}$, $\ell=5,4 \text{ см}$ /. Причем величина $P_{кр}$ с достаточной точностью определяется выражением (I). Увеличение давления выше 25 кг/см^2 переводит процесс на схему "оплавления".

При сварке по схеме с "преимущественным оплавлением" прочность соединений выше, чем при "внедрении". Соединения, сваренные по схеме "внедрения", однако, могут найти применение при изготовлении декоративно-прикладных изделий, так как они характеризуются минимальным гратообразованием.

По схеме "внедрения" могут быть также получены соединения и на разнородных пластмассах, несовместимых по своим теплофизическим характеристикам. Соединение в этом случае осуществляется за счет чисто механического сцепления.

Помимо геометрии поверхности раздела, значительное влияние на свариваемость оказывают геометрические размеры деталей.

Как уже было определено, необходимо, чтобы поверхность контакта свариваемых деталей совпадала с зоной максимальных динамических напряжений. Для получения прочного сварного соединения, кроме того, в зоне контакта волновод-деталь должна лежать пучность амплитуды смещений. Успешное применение ультразвуковой сварки, таким образом, определяется распределением по длине свариваемых деталей пучностей и узлов смещений и динамических напряжений. Знание законов распределения параметров ультразвукового поля существенно необходимо при использовании передаточной

сварки, когда соединение образуется на значительном расстоянии от места ввода колебаний. Волновые процессы в этом случае значительны и свариваемые детали должны рассматриваться, как часть акустической системы преобразователь-волновод-деталь-опора.

Вопрос о выборе геометрических размеров деталей при сварке впервые был рассмотрен *H. Potente*. Для определения оптимальных и критических геометрических размеров применялся обобщенный анализ, причем условию оптимальности соответствовал случай максимальной амплитуды смещений на входе в свариваемые детали. Необходимо отметить недостаточность одного этого условия для успешного проведения процесса сварки. Кроме того, в работе *H. Potente* недостаточно четко обоснована возможность пренебрежения потерями, а также отсутствуют прямые экспериментальные данные, подтверждающие наличие корреляционной связи между длиной свариваемых деталей, прочностью и температурой в зоне сварки. Обходится молчаливым важным вопросом о влиянии угла разделки кромок и статического давления на выбор геометрических размеров свариваемых деталей.

Для решения этих вопросов нами использовался метод конечных нагрузок. Задача заключалась в том, чтобы найти такое соотношение геометрических размеров деталей, при котором выполнялись бы следующие условия оптимальности: 1. пучность амплитуды смещений находится на входе стержневой системы; 2. пучность амплитуды динамических напряжений должна лежать в зоне контакта свариваемых деталей.

В результате были получены выражения для определения оптимальных геометрических размеров в частных случаях ультразвуковой сварки.

Случай А. Стыковая сварка двух стержней. Условиям оптимальности будут соответствовать следующие длины стержней:

$$\ell_1 = (2m+1) \frac{\lambda_1}{4}; \quad \ell_2 = \kappa \cdot \frac{\lambda_2}{2} \quad (2)$$

где ℓ_1 - длина верхнего стержня, ℓ_2 - длина нижнего стержня, λ_1 и λ_2 - длины волны соответственно для верхнего и нижнего стержней, m и $\kappa = 0, 1, 2, \dots$

Случай Б. Стыковая сварка стержней с разделкой кромок. В этом случае условия оптимальности следующие:

$$\left. \begin{aligned} \ell_1 &= (2m+1) \cdot \frac{\lambda_1}{4} + \frac{\lambda_1}{2\pi} \arctg \left(-2\pi \frac{\ell_2 \cdot W_{01}}{\lambda_2 \cdot W_{02}} \right) \\ \ell_2 &= \kappa \cdot \frac{\lambda_2}{2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

здесь ℓ_1 , ℓ_2 , ℓ_3 , - длина верхнего стержня, высота разделки кромок и длина нижнего стержня соответственно; λ_1 , λ_2 и λ_3 - соответствующие индексам стержней длины волн. W_{01} , W_{02} - волновые сопротивления верхнего стержня и разделки кромок. $W_0 = S \sqrt{\rho \cdot E}$, где S - площадь поперечного сечения звена, ρ - плотность материала звена.

Случай В. Сварка тавровых соединений. Если стержни выполнены из одного и того же материала, то

$$\ell_1 = (2m+1) \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctg} \left[\frac{2\pi}{\lambda} \left(S_1 \cdot \frac{\ell_2}{S_2} + \ell_3 \right) \right] \quad (4)$$

В выражениях (3) и (4), однако, не учтено изменение величины контактной площади и высоты выступа разделки при приложении статической нагрузки. Воспользовавшись решением задачи о скатии клина плоским штампом, полученным Р.Хиллом, и введя соответствующие поправки в уравнения (3) и (4), мы получили выражения, учитывающие зависимость оптимальных геометрических размеров деталей от угла разделки кромок /наилучшим результатам соответствует изменение β от 25 до 45°/ и статической силы F , прикладываемой для достижения акустического контакта на границе волновод-деталь.

Проверка подсчитанных по указанным выражениям оптимальных размеров деталей, произведенная на образцах из капрлона "В" для случая В, свидетельствует о хорошем совпадении теоретических и экспериментальных данных.

Глава III. Разработка технологии ультразвуковой сварки изделий из капрлона "В"

Анализ соединений, выполняемых ультразвуковым методом без присадочного материала, показывает, что наиболее распространенными типами являются стыковые и нахлесточные. Осуществление нахлесточных соединений, как показано в главе II, связано с определенными трудностями из-за необходимости подготовки свариваемых кромок. Эти трудности еще более усугубляются при формировании протяженных швов сложной конфигурации из-за необходимости создания широкозахватных волноводных систем. Поэтому рассматривается особый вид нахлесточных соединений - заклепочный, в котором соединение двух деталей происходит с помощью оплавления третьей - штыря-заклепки.

Помимо заклепочных, рассматривались также стыковые и тавровые соединения.

Все лабораторные эксперименты производились на установке УЭП-1. При этом использовался магнитострикционный преобразователь ПМС-15 мощностью 2,5 кВт и резонансной частотой 19,5 кГц.

Сравнение двух схем сварки с "фиксированным временем" и "фиксированной осадкой" позволило определить, что наиболее оптимальной является предложенная Н.В. Дружининым схема сварки с "фиксированной осадкой", подразумевающая выборку заранее выставленного зазора по мере расплавления разделки, что гарантирует получение соединений со стабильными прочностными характеристиками, если даже материал акустически неоднороден.

При исследовании стыковых и тавровых соединений варьировались амплитуда смещений $/\Delta/$ и статическое давление $/P/$. Их уровень выбирался из условия образования соединений по схеме с "оплавлением". Оптимальное значение величины осадки было выяснено в предварительных экспериментах и составляло $\Delta = 2,5$ мм. Размеры образцов выбирались из двух условий оптимальности согласно главе II. Оптимизируемый параметр – прочность на разрыв. После реализации линейного плана, расчетов и оценки коэффициентов уравнения регрессии на значимость было получено следующее выражение:

$$\hat{y} = 119 + 63X_1 + 3X_2 - 4X_1X_2 \quad (5)$$

где $X_1 = \frac{\Delta - 40}{5}$, $X_2 = \frac{P - 65}{25}$, $\hat{y}$ – расчетное значение прочности.

Оптимальные режимы для сварки стыковых соединений полностью соответствовали режимам тавровых образцов. Прочностные характеристики стыковых соединений при этом возрастали по сравнению с тавровыми. Последнее может быть объяснено менее жесткими /отсутствием момента сил/ условиями их испытаний.

Разработанную технологию можно с уверенностью рекомендовать для производства изделий швами небольшой длины, например, бачки, шаровые емкости и др. Если же сварные швы имеют значительную протяженность и сложную конфигурацию, применение данной технологии становится затруднительным. Весьма рациональным в таких случаях представляется использование заклепочных соединений.

Для проведения экспериментов были выбраны образцы, геометрия которых соответствовала размерам рабочего колеса центробежного насоса. Варьировались три фактора: амплитуда смещений, статическое давление и объем заливки $/V/$. Оптимизируемый пара-

метр — прочность на разрыв. Параллельно со сваркой образцов производился отсчет времени разогрева $t_{раз}$, под которым понимается отрезок времени, отсчитываемый с момента пропускания ультразвукового импульса до начала осадки.

После реализации матрицы планирования и оценки на значимость коэффициентов уравнения регрессии было получено следующее выражение:

$$\hat{y} = 89,22 + 11,77x_2 + 7,13x_2^2 \quad (6)$$

где $x_2 = \frac{P-625}{125}$

Статическое давление оказывает наибольшее влияние на прочностные показатели. Роль его, по видимому, сводится к уплотнению расплавленного материала по объему заделки, что исключает появление несплошностей и пор.

Отработка значений времен разогрева показала, что при изменении сварочного давления в пределах 415–625 кг/см² происходит почти линейное уменьшение $t_{раз}$.

Немаловажным вопросом при изготовлении заклепочных соединений является выбор числа заклепок с учетом разброса прочностных показателей. Для определения максимальной внешней нагрузки используем подход Н.А.Кримова и А.М.Полищука. Будем считать, что:

1. нагрузки, возникающие в каждой заклепке равны по величине;
2. прочность одиночных заклепок распределена по нормальному закону. Составив условие равновесного состояния, и введя в него нормальное распределение, после преобразований получим выражение, связывающее максимально допустимую нагрузку с количеством заклепок и их статистическими характеристиками:

$$Q_{max} = 0,866(\bar{q} - S_{\bar{q}}) \cdot n \quad (7)$$

где $\bar{q}$ — средняя разрывная нагрузка одной заклепки, $S_{\bar{q}}$ — ошибка эксперимента, n — количество заклепок.

Проверка данного уравнения показала, что экспериментальные данные удовлетворительно совпадают с теоретическими, подсчитанными по выражению (7).

Как уже было установлено, наиболее рациональным способом изготовления рабочих колес является соединение опорного и покрывающего дисков методом ультразвуковой сварки. Эксперименты проводились на 2-х типах колес. В I типе лопажки были обработаны V-образно. Во II типе соединение осуществлялось с помощью штирей-заклепок, отлитых на поверхности лопаток.

Работоспособное сварное соединение может быть получено при-

нительно к колесам I типа, при условии одновременного ввода энергии по всему периметру прилегания лопаток, что затруднительно, т.к. потребует создания широкозахватной акустической системы. Поэтому в дальнейшем при изготовлении колес использовался заклепочный способ соединения. После сварки производилось предусмотренное заводской технологией снятие поверхности покрывающего диска на один миллиметр с целью удаления напылов, возникающих после осадки штыря-заклепки. Снятие поверхности, как было экспериментально определено, приводит к повышению прочностных показателей. Это, повидимому, связано с удалением различных дефектов /микротрещины, несплошности/, возникающих при контакте расплавленного полимера с холодным волноводом.

Предварительный экономический расчет определил эффективность перехода на сварной вариант колес. Условно годовой эффект по представленным предприятием данным составит около 30000 рублей.

Глава IV. Разработка установки для ультразвуковой сварки рабочих колес из капролона "В"

В IV главе приводится описание установки для сварки рабочих колес центробежных насосов предложенным способом.

Разработана установка УПРК-I, основное назначение которой - изготовление рабочих колес методом ультразвуковой сварки. Установка отличается от действующих возможностью сварки двумя и более волноводами, каждый из которых обрабатывает по две точки. Основанием для проектирования и изготовления установки УПРК-I послужили результаты испытаний рабочих колес центробежных насосов. Разработанный тип колеса превосходит существующие по чистоте рабочей полости и обладает меньшим весом.

Общие выводы по работе

I. На основании проведенных исследований предложен новый способ изготовления рабочих колес центробежных насосов из полимерных материалов с использованием заклепочных соединений, выполняемых ультразвуковой сваркой.

II. Установлено, что капролон "В" обладает необычными свойствами, сочетая высокий модуль упругости и весьма значительный коэффициент затухания. Последнее обуславливает значительные трудности при сварке, связанные с ограниченной возможностью транспортирования энергии к границе раздела.

III. Экспериментально установлено, что разделка свариваемых кромок приводит к преимущественному теплообразованию на границе

раздела, вызываемому повышением уровня динамических напряжений. Применение V -образной разделки кромок с углом скоса $25-45^\circ$ позволило получить соединение на капролоне "В".

IV. Установлено, что процесс образования соединений при сварке изделий из жестких пластмасс с V -образной разделкой кромок в зависимости от соотношения между амплитудой смещений волновода и деформацией от статического давления может проходить по схемам "внедрения" острия разделки $/A > \epsilon/$ и "оплавления" разделанной поверхности $/\epsilon > A/$.

V. Теоретически и экспериментально доказано, что геометрические размеры свариваемых деталей оказывают существенное влияние на распределение пучностей и узлов сил и скоростей ультразвукового поля, определяя уровень теплообразования и, как следствие, прочностные характеристики соединений. Установлено, что наиболее рациональным из двух условий оптимальности являются следующие размеры стенки таврового соединения из капролона "В": 48,7 мм, 93,7 мм, 138,7 мм.

VI. С помощью метода С.Сокса и К.Уильсона найдены следующие оптимальные режимы сварки: для стыковых и тавровых соединений $A = 45$ мкм, $P = 90$ кг/см², $\Delta = 2,5$ мм, прочность при этом составляет 350 и 200 кг/см² соответственно; для заклепочных соединений $A = 47-63$ мкм, $P = 835$ кг/см², $V = 75-125$ мм³.

Прочность соединений равна 650 кг/см².

VII. Представлено аналитическое выражение, связывающее прочность заклепочного соединения с количеством заклепок и их статистическими характеристиками, дающее удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными.

VIII. Партия колес, изготовленная на основе разработанной технологии, успешно прошла необходимые виды испытаний. Сварное колесо превосходит существующие по чистоте рабочей полости и обладает меньшим весом.

IX. На базе проведенных исследований разработана установка УПРК-I для производства рабочих колес предложенным способом. Конструкция установки позволяет производить сварку колес двумя и более волноводами, каждый из которых обрабатывает по две точки.

ж

ж

ж

Диссертационная работа состоит из 4 глав и содержит 153 страницы машинописного текста, 41 иллюстрацию и 21 таблицу.

Библиография представлена 86 трудами. Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. С.С.Волков, Ю.Н.Орлов, Б.Я.Черняк, А.Н.Советов, П.Н.Куликов К вопросу о возможности сварки капролона "В" ультразвуковым методом, Сборник трудов МВТУ им. Баумана "Применение пластмасс в машиностроении", № 12, 1972 г.
2. А.Н.Советов, С.С.Волков, Ю.Н.Орлов, П.Н.Куликов, А.И.Исаев Исследование процесса, разработка технологии и оборудования для ультразвуковой сварки изделий из капролона "В". Сб. материалов конференции "Разработка и внедрение прогрессивных методов сварки", Омск, 1973 г.
3. А.Н.Советов, С.С.Волков, Б.Я.Черняк, Ю.Н.Орлов, А.И.Исаев, А.И.Казаков Исследование процесса и разработка технологии ультразвуковой сварки изделий из капролона "В". Сб. материалов конференции "Прогрессивные способы сварки в машиностроении", Ташкент, 1973 г.