М302149

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

ДРУЖИНИНА Надежда Викторовна

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА И ОБОРУДОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПОДГОТОВКОЙ СВАРИВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

05.04.05 - Технология и машины сварочного производства

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 1977 г.

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

М о с к о в с к о е
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище имени Н.Э.Баумана

ДРУЖИНИНА Надежда Викторовна

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА И ОБОРУДОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПОДГОТОВКОЙ СВАРИВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Ф302149

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1302149
Дружинина Н.В. Исследовани

05.04.05 – Технология и машины сварочного производства

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

[illegible]

Москва 1977 г.

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

Научный руководитель д.т.н., проф.ЛОЩИЛОВ В.И.

Официальные оппоненты:

д.т.н., проф.Ольшанский Н.А.

к.т.н., ст.н.с.Кузнецов В.А.

Ведущее предприятие указано в решении Учёного Совета.

Автореферат разослан "___" _____ 1977г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1977г.

на заседании специализированного Совета _____

_____

Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им.Н.Э.Баумана по адресу: Москва, I07005, 2-я Бауманская ул., д.5.

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

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

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
специализированного совета
доктор технических наук ЯМПОЛЬСКИЙ В.М.

Подписано в печать 23 декабря 1976г. Объём I печ.лист Л-79292.
Заказ 763 Тираж I00 экз. Типография МВТУ.

МВТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Неуклонный подъем уровня механизации и автоматизации в народном хозяйстве вызывает возрастающую потребность в изделиях радио- и электротехнической промышленности /микроэлектродвигателях, элементах счетно-решающих устройств, схем управления и др./.

При производстве этих изделий большой объем работ приходится на соединение изолированных проводов с выводными деталями /ламелями электродвигателей, колпачками, лепестками трансформаторов, катушек индуктивности и др./.

Годовой выпуск вышеуказанных изделий исчисляется, как правило, миллионами штук. Поэтому большое внимание уделяется экономии времени на каждой технологической операции, наряду с повышением качества и надежности изделий.

Применяемые в настоящее время способы соединения изолированных проводов с выводными деталями требуют предварительной зачистки изоляции проводов в местах их сварки или пайки.

Известные способы зачистки /механический, химический, термический/ малопроизводительны и, главным образом, выполняются вручную. Кроме того, при всех способах зачистки поверхность проволоки подвергается механическим или химическим воздействиям, что приводит к образованию дефектов на поверхности проволоки, уменьшению ее сечения, местным деформациям. Снижение механической прочности проволоки вызывает обрывы ее при сборке деталей под сварку, сварке, дальнейших операциях изготовления изделий и даже в процессе эксплоатации изделий.

Разработка и внедрение в промышленность метода сварки, свободного от указанных недостатков, и обеспечивающего заданные показатели сварных соединений в сочетании со снижением трудоемкости, является актуальной задачей.

Цель работы. Основная цель данной работы - исследование и разработка метода контактной электросварки изолированных проводов с ультразвуковой подготовкой свариваемых поверхностей, который позволит заменить малопроизводительные и трудоемкие методы пайки и контактной электросварки предварительно зачищенных проводов. Разработка и исследование метода сварки про -

водились применительно к наиболее распространённому в промышленности соединению проводов внакрутку, однако метод может быть использован и для других видов соединений металлов с изоляционными покрытиями.

Методы исследования. Для исследования процесса разрушения и удаления изоляции создана специальная лабораторная установка, позволившая исследовать возможности удаления изоляции различными путями. Для оценки качества подготовки под сварку пользовались измерением электрического сопротивления контакта. Для оценки качества сварных соединений проводили испытания сварных образцов и изделий в соответствии с ТУ. Результаты подвергали статистической обработке. Для определения параметров режима сварки использовали метод планирования активного многофакторного эксперимента. На основании расчёта и экспериментов разработана номограмма определения оптимальной деформации свариваемых проводов. Металлографическим методом и путём измерения микротвёрдости установлена природа образования сварного соединения медных проводов при контактной сварке в условиях ультразвуковой обработки.

Научная новизна. Изучена роль ультразвуковых колебаний в процессе подготовки свариваемых поверхностей к осуществлению процесса контактной сварки. Показано, что ультразвуковое воздействие приводит к разрушению изоляции, удалению её из зоны контакта, развитию обнажённых металлических поверхностей.

На основании анализа тепловых и силовых факторов, действующих в контакте, объяснён механизм разрушения и удаления изоляционных покрытий из контакта. Установлена принципиальная возможность удаления различных видов изоляций обмоточных проводов под действием ультразвука.

Установлена аналитическая зависимость свойств сварных соединений от степени деформации деталей при сварке и построены номограммы, позволяющие оперативно устанавливать оптимальную деформацию для различных сочетаний диаметров соединяемых проводов.

Практическая ценность. Разработан метод сварки изолированных проводов при соединении их внакрутку, позволяющий осуществлять процессы удаления изоляции и контактной сварки в одних и тех же электродах сварочной машины в условиях крупносе-

рийного производства.

Разработана методика выбора параметров режима сварки изолированных проводов. Предложена номограмма для выбора степени деформации проводов в процессе сварки, которая обеспечивает получение оптимальной прочности сварного соединения.

Установлено, что метод может быть использован для сварки обмоточных проводов с различными типами изоляций.

Разработана установка для сварки изолированных проводов СИП-I.

Апробация работы. Основные положения работы доложены:

I. На научно-технической конференции по новым методам сварки и передовой технологии в производстве сварных конструкций, г. Пермь, 1971 г.

2. На научно-технических конференциях, г. Калуга, 1971, 1973 г.

3. На научном семинаре кафедры, г. Москва, 1973 г.

4. На семинаре ИЭС им. Патона, г. Киев, 1974 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и общих выводов по работе, содержит 141 машинописный лист, 62 рисунка, 17 таблиц и список литературы, включающий 111 наименований.

Глава I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ИЗУЧЕНИЕ ПРЕДПОСЫЛОК К СОЗДАНИЮ МЕТОДА СВАРКИ ОБМОТОЧНЫХ ПРОВОДОВ

В первой главе показаны конструкции микроэлементов и виды соединений выводных концов обмоток с выводными деталями, наиболее распространенными из которых являются соединения внакрутку.

Приводится классификация применяемых в промышленности обмоточных проводов.

Дается описание применяемых в настоящее время в промышленности методов соединения изолированных проводов /пайки и контактной электросварки/. Существенным недостатком этих методов является необходимость предварительной зачистки изоляции провода. Известные способы зачистки /механический, тепловой, химический/ сопровождаются воздействием на провод наждачной бумаги или кромки режущего инструмента, высокой температуры,

химических реагентов . Механическое воздействие приводит к надрезам поверхности проводов и их утонению. Тонкие провода /диаметром 0,05...0,I мм/ обрываются в процессе зачистки. При химическом воздействии пары кислот и солей попадают в обмотки, разлагают изоляцию, что приводит к межвитковым замыканиям. Действие высокой температуры снижает прочность провода. Все это приводит к обрывам проводов в процессе зачистки, сборки, сварки и при эксплоатации изделий.

Так, статистика отказов моточных мироэлементов, проведенная на базе завода "Калугаприбор", показала, что до 80 % отказов приходится на обрывы обмоток. Путем вскрытия дефектных мест и макроскопических исследований установлено, что 54,5 % обрывов наблюдается в местах сварки.

В связи с этим была подвергнута тщательному анализу применяемая на заводе технология подготовки под сварку и сварки выводов трансформаторов с выводным колышком /соединение внахрутку обмоточного провода ПЭВ-2 диаметром 0,I и 0,2 мм и выводного колышка диаметром 0,8 мм из меди МI/. Анализ показал, что обжиг, зачистка, навивка на выводную деталь и сдавливание электродами, приварка изолированного провода Ø 0,2 мм снижают его прочность соответственно до 82; 8I; 65; 28 % от исходной прочности. Для Ø 0,I мм на тех же операциях - до 76,4; 72,6; 5I; 44 % соответственно. Уменьшение прочности провода увеличивает вероятность обрывов обмоток при изготовлении и эксплуатации изделий.

На основании вышеизложенного была поставлена задача разработки метода соединения изолированных выводов обмоток с выводными деталями, который позволил бы исключить из технологического процесса операцию предварительной зачистки изоляции.

Наиболее перспективным методом соединения можно считать ультразвуковую сварку. Такие достоинства этого метода как возможность сварки без расплавления свариваемых деталей, приварки деталей, значительно отличающихся по толщине, малая мощность оборудования, возможность сварки без предварительного удаления изоляции с поверхностей свариваемых деталей делают этот метод перспективным для сварки изолированных проводов.

В лаборатории ультразвуковой сварки КФ МВТУ им.Баумана проводились исследования возможности применения ультразвуковой

сварки к соединениям внакрутку. Параметры режима /амплитуда колебаний сварочного инструмента, усилие на электродах, время действия ультразвука/ варьировались в широких пределах, однако получить качественного сварного соединения не удалось. Установлено, что при достаточных давлениях, амплитуде колебаний и времени действия ультразвуковых колебаний на детали изоляция в местах контакта провода с деталью зачищается, провод деформируется в ширину, длину и по высоте, на поверхности выводной детали и провода появляются места схватывания. Но соединение обладает настолько низкой прочностью, что испытаниям обычными методами испытаний на прочность не поддается. Увеличение времени действия ультразвука, давления и амплитуды колебаний приводит к полному передавливанию провода. Аналогичные результаты получаются при попытке сварить провода без изоляции при соединении их внакрутку.

На основании анализа видов сварных соединений при ультразвуковой сварке и полученных результатов сделан вывод о том, что причиной неудовлетворительной сварки соединений внакрутку является неблагоприятное распределение напряжений в очаге деформации свариваемых деталей. Ничем не сдерживаемая деформация тонкого провода в длину, облегчение деформации под действием ультразвука приводят к растяжению и разрыву тонкого провода.

Кроме ультразвуковой сварки в Советском Союзе и за рубежом разработаны методы сварки изолированных проводов, исключающие операцию предварительной зачистки изоляции /термокомпрессионная, конденсаторная сварка, термообжим, различные виды контактной электросварки, лазерная сварка, метод оплавления скрутки проводов в шарик разрядом конденсаторов между угольным электродом и соединяемыми деталями/. Удаление изоляции из контактов свариваемых деталей осуществляется непосредственно в инструментах сварочной машины /введением неизолированной детали и электрода в слой изоляции при обжатии; нагревом одного из электродов различными путями; нагревом одной из свариваемых деталей /или расплавлением слоя изоляции/ при сварке лазером и оплавлении разрядом конденсатора/.

Наиболее рациональным методом можно считать контактную электросварку. Этот метод характеризуется малым временем процесса, локальным выделением тепла, достаточно хорошо изучен и

находит широкое применение в электротехнических и радиотехнических изделиях. Кроме того его легко можно сочетать с различными приёмами удаления изоляции непосредственно в электродах сварочной машины.

Для обеспечения надлежащей проводимости в местах контакта изолированного провода с выводной деталью и электродами исследованы различные методы:

I. Метод разрушения изоляции путём сдавливания собранных деталей электродами сварочной машины. Получить достаточную проводимость этим методом не удаётся вследствие высокой эластичности изоляционной плёнки.

2. Метод термомеханического разрушения изоляции. Установлено, что при сдавливании деталей нагретым электродом разрушение эмалевой изоляции типа ПЭВ и ПЭТВ происходит при температуре 200-250°С и давлении 30-50 кгс/мм^2 за время 0,3...0,5 с. Разрушение волокнистой шёлковой и лавсановой изоляции происходит при нагреве инструмента до температуры 350°С при этом же давлении за время 0,I...I,5с. При этом величина сопротивления в контакте нестабильна. Наблюдается налипание изоляции на инструмент, что делает нерациональным применение этого метода в массовом производстве.

3. Метод пробоя изоляции импульсом высокого напряжения. Этот метод не может быть рекомендован из условий безопасной работы, т.к. норма пробивного напряжения для изоляции проводов высока. Например, для провода ПЭВ-2 Ø 0,15мм она составляет 800 - 900 в.

На основании проведенных исследований создана схема процесса сварки медных изолированных проводов, включающая две стадии: I - ультразвуковая подготовка свариваемых поверхностей, 2 - контактная сварка в тех же электродах сварочной машины /рис.I/. Схема разработана для соединения внакрутку, однако её можно рекомендовать и для других видов соединений материалов с покрытиями.

Рассмотрены особенности образования соединения при контактной сварке медных проводов с ультразвуковой подготовкой свариваемых поверхностей. На основании анализа схемы тепловыделения на участке сварочной цепи между электродами показано, что сварка осуществляется в твёрдой фазе. Это необходимо учиты-

вать при построении пред. рительного этапа формирования контакта.

Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ СВАРКИ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКОЙ ПРОВОДОВ В ИЗОЛЯЦИИ

Процесс подготовки поверхностей изолированных проводов заключается в удалении изоляции из зон их контактирования и развитии контакта обнаженных металлических поверхностей под действием УЗК. Экспериментальными исследованиями процесса удаления изоляции из контакта установлено:

1/ ультразвуковое воздействие приводит к разрушению и удалению из контакта любых видов изоляций обмоточных проводов;

2/ процесс осуществим при введении колебаний в свариваемые детали каса ельно, нормально и под другими произвольными углами к п верхности проволоки;

3/ процесс разрушения и удаления изоляции происходит под действием тепла /тепловой фактор/ и действующих в контакте напряжений /механ ческий фактор/.

Раскрыт механизм силового воздействия, в котором перво - степенна я роль отводится касательным напряжениям. Действие нормальной статической силы не приводит к разрушению изоляции даже при значительной деформации провода /вплоть до передавливания/. Это объясняется наличием сил трения покоя в контакте изоляции с неизолированным проводом и адгезией изоляции к поверхности изолированного провода. Изоляция находится в состоянии трехстороннего сжатия и способна выдерживать нагрузки, во много раз превышающие предел прочности при одностороннем сжатии.

Приложение циклической силы УЗК вызывает в слое изоляции пульсирующие нормальные напряжения, а также пульсирующие /в периферийных областях/ и знакопеременные /в центральной/ каса - тельные напряжения от действия горизонтальной составляющей.

Эти касательные напряжения действуют на пленку как растягивающие, а в центральной зоне - растягивающие и сжимающие. Циклические напряжения вызывают усталостное разрушение материала. Поскольку в наиболее неблагоприятных условиях находит-

ся центральная область контакта, разрушение изоляции начинается именно в этой области. Процесс разрушения изоляции происходит на фоне интенсивного тепловыделения в контакте и нагрева материала изоляционного покрытия, что снижает прочностные характеристики материала, способствует деструкции полимера.

Действие ультразвука на контактирующие обнаженные металлические поверхности приводит к интенсивному смятию микронеровностей и преимущественному пластическому деформированию приконтактных областей. В результате фактическая площадь контакта приближается к предельной - контурной.

Метод сварки разрабатывался применительно к соединениям внакрутку. Особенностью таких соединений является чередование металлических слоев со слоями изоляционного материала /см. рис. I/. Это обусловливает сложную картину передачи колебаний. Амплитуды взаимных перемещений собранных деталей неодинаковы и уменьшаются от верхнего контакта к нижнему. В связи с этим тепловыделение и механическое действие УЗК в контактах будет различно. Экспериментально установлено, что изоляция в слоях соединения внакрутку удаляется неодновременно. В первую очередь наблюдается зачистка в контакте с верхним /вибрирующим/ электродом. Затем процесс постепенно распространяется в направлении к нижнему /невибрирующему/ электроду. При этом контакты, зачищенные вначале, находятся под действием УЗК в течение времени, большем необходимого для зачистки в них изоляции, что приводит к развитию их площади и утонению проводов. Для предотвращения излишней деформации проволоки со стороны вибрирующего инструмента и обеспечения одновременного удаления изоляции из всех четырех контактов введен подогрев нижнего электрода до I50-I80°С. Такая температура обеспечивает размягчение изоляции, в результате чего процесс зачистки в этом контакте ускоряется.

Исследовано влияние параметров ультразвуковой обработки на эффективность процесса подготовки контактов под сварку. Нижний предел нормальной сжимающей силы, амплитуды колебаний инструмента и времени действия УЗК определяется из условий передачи колебаний в нижние слои соединения. Верхний предел ограничивается деформацией тонкого провода.

Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ СВАРКИ МЕДНЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ПОДГОТОВКОЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Принятый метод сварки предусматривает образование сварного соединения без расплавления свариваемых деталей. При этом детали подвергаются значительным пластическим деформациям. Качественные показатели сварного соединения будут зависеть от степени деформации деталей и определяться параметрами процесса сварки. Соотношение размеров контактной площадки и сечения соединяемых проводов в утоненном месте будет определять при прочих равных условиях свойства сварного соединения.

Поскольку размеры контакта и сечения провода в утоненном месте весьма затруднительно измерить на сварном соединении, целесообразно установить зависимость этих размеров от степени деформации деталей, которую замерить значительно проще.

На основании расчетов и опытным путем установлена связь геометрии сварного соединения с его прочностью и электропроводностью. Построены номограммы для определения степени деформации деталей, обеспечивающей оптимальную прочность соединения при различных соотношениях радиусов свариваемых деталей. Показано, что в случае оптимальной прочности контакт перекрещивающихся цилиндров не создает дополнительного сопротивления прохождению электрического тока.

На основании проведенных исследований выработаны следующие рекомендации по определению параметров режима сварки крестовых соединений:

1. Усилие на электродах выбирается по формуле

$$N = n \cdot F_к \cdot \sigma_т (1 - \psi)\ кг,$$

где n – количество витков обмоточного провода, попадающих под инструмент;

$F_к$ – площадь контакта одного витка провода с выводной деталью, выбираемая из условия наибольшей прочности по номограмме;

$\sigma_т$ – предел текучести материала провода, кг/мм^2;

ψ – коэффициент уменьшения предела текучести материала при ультразвуковой обработке.

2. Время действия УЗК назначается минимальным из условия производительности и составляет 0,3...0,5 с. Этого времени достаточно для удаления изоляции проводов диаметром от 0,05 до 0,5 мм при соответствующей амплитуде УЗК и для формирования контакта.

3. Амплитуда колебаний инструмента подбирается опытным путем при выбранном давлении и времени действия УЗК и лежит в пределах 5...I5 мкм;

4. Сварочный ток и время его действия назначают при помощи уравнения

$$T = 0{,}24 \left(\frac{\rho}{c\gamma}\right)_{cp} \cdot j^2 \cdot t ,$$

где T – температура нагрева деталей в процессе сварки;

$\left(\frac{\rho}{c\gamma}\right)_{cp}$ – среднее значение теплофизических постоянных для интервала температур 20...I000°С;

j, t – плотность и время действия сварочного тока.

Для удобства использования этой зависимости в работе приводится номограмма для выбора значений тока и времени для различных значений температур.

Выбранные таким образом параметры являются ориентировочными. Оптимальные величины их уточняются экспериментально с применением метода планирования многофакторного эксперимента.

Исследование качества сварных соединений проводилось на образцах и изделиях в сравнении с соединениями, полученными методом контактной сварки после предварительного удаления изоляции перед сборкой соединения. Сравнительные данные по прочности и электропроводности сварных соединений показали, что образцы, сваренные после ультразвуковой подготовки, имеют меньшую величину среднего сопротивления с меньшим разбросом результатов. Это объясняется тем, что ультразвуковая зачистка производится непосредственно перед пропусканием сварочного тока и детали не покрываются окисной пленкой. Кроме того под действием ультразвуковых колебаний происходит интенсивное смятие микронеровностей на поверхности контакта, что способствует созданию более стабильных условий для протекания сварочного тока.

Испытания на прочность также показали высокую стабильность результатов при сварке разработанным методом. При этом прочность соединений проводов 0,2 + 0.8 мм увеличилась с 30 % до 50 %.

Металлографическими исследованиями подтверждено, что соединение медных проводов разработанным методом осуществляется в твердой фазе. Ультразвуковое и тепловое воздействие на свариваемые детали приводит к созданию физического контакта соединяемых деталей, активации поверхностных частиц и вызывает диффузию в зоне соединения. Все это приводит к образованию узлов схватывания по всей поверхности и росту зерен через границу раздела.

Глава 4. РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СВАРКИ ПРОВОДОВ В ИЗОЛ... ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДА НА ЗАВОДАХ РАДИОПРОМЫШЛЕННОСТИ.

На основании проведенных исследований были выработаны требования к конструкции сварочной машины и изготовлен первый опытный образец установки, предназначенной для приварки изолированных обмоточных проводов к неизолированным или изолированным выводным деталям.

Конструктивно машина состоит из цельнометаллического каркаса с расположенным на нём сварочным узлом, педальным механизмом нажатия, блоком управления, силовым сварочным трансформатором. На специальных стойках над сварочным узлом установлен ультразвуковой генератор.

Сварочный узел является рабочим исполнительным элементом машины. Электроды машины сочетают признаки акустического узла и электродов контактных точечных машин. Поскольку контактная сварка меди осуществляется в вольфрамовых электродах, нижний электрод изготовлен из вольфрама диаметром 5 мм, а верхний - сменный имеет вольфрамовую вставку из прутка диаметром 2 мм, посаженную по прессовой посадке. Нижний, невибрирующий электрод имеет подогреватель с регулируемым нагревом. Конструктивное оформление сварочного узла рассчитано на сварку соединений внакрутку медных обмоточных проводов Ø 0,I и 0,2 мм с выводными лужёными колышками из меди MI Ø 0,8 мм.

Производительность установки - до 2000 сварок в час.

По разработанным чертежам завод г. Калуги изготовил для своих нужд 2 машины. По данным этого завода внедрение одной машины в производство высвобождает 8 рабочих, занятых на обжиге и зачистке изоляции, снижает брак по сварке с I0 до 3 % с одновременным повышением надёжности изделий, позволяет экономить в год не менее 30 тыс. рублей.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

I. Предложен метод контактной сварки с ультразвуковой подготовкой свариваемых поверхностей для соединения изолированных проводов. Установлено, что ультразвуковое воздействие на свариваемые детали приводит к разрушению изоляции, удалению её из зоны сварочного контакта и подготовке свариваемых поверхностей для нормального протекания процесса контактной сварки в твёрдой фазе.

2. На основании экспериментально-теоретических исследований раскрыта термо-механическая природа разрушения и удаления изоля-

ции из зон контактов свариваемых деталей под действием ультразвуковых колебаний. Показано, что процесс ультразвуковой очистки в контактах соединения внакрутку осуществляется последовательно, с первоначальным разрушением и удалением изоляции в контакте верхнего /вибрирующего/ электрода с изолированным проводом и постепенным распространением процесса на нижележащие контакты, вплоть до нижнего электрода. При этом общее время, необходимое для зачистки изоляции, зависит от диаметров соединяемых проводов и для Ø 0,05...0,5мм лежит в пределах 0,3...1с.

3. На основании анализа физико-механических свойств изоляций, а также анализа силовых факторов, действующих в контакте в процессе ультразвуковой обработки соединения, установлена принципиальная возможность удаления различных видов изоляций обмоточных проводов, обладающих механической прочностью от 30 до 500 двойных ходов стальной иглы /при испытаниях на истирание в соответствии с ГОСТ 14340. 0-69/.

4. Изучены области рациональных параметров режима сварки медных изолированных проводов. Путём планирования многофакторного эксперимента установлены оптимальные значения параметров. Для соединения внакрутку провода ПЭВ-2 Ø 0,2мм с выводным колпшком Ø 0,8мм параметры режима следующие: усилие сжатия деталей N = 2,4 кгс ; ампл туда колебаний инструмента A= 10мкм ; время действия ультразвука $t_{узк}$= 0,5с ; сварочный ток $J_{св}$= 1150а; время пропускания тока $t_{св}$= 0,07с.

5. Проведен сравнительный анализ качества сварных соединений, полученных методом контактной сварки после предварительной зачистки изоляции и методом контактной сварки с ультразвуковой подготовкой свариваемых поверхностей. Показано, что качество соединений, полученных разработанным методом, характеризуется высокой стабильностью /среднеквадратичное отклонение $\sigma_в$=20,6гс для Ø 0,1 +0,8мм и 3[illegible]гс - для Ø 0,2+0,8мм вместо 21,4 и 39,5гс соответственно/ Прочность соединений на отрыв под углом 90° повышается с 35% до 50% прочности провода.

6. Аналитически и опытным путём установлена связь геометрии сварного соединения с его прочностью и электропроводностью. Разработана номограмма для определения степени деформации, обеспечивающей максимальную прочность и электропроводность сварного соединения при различных соотношениях диаметров соединяемых деталей.

7.Проведены испытания сварных образцов и изделий в соответствии с требованиями ТУ. Установлено, что теплосмены /+70 -60°С/, выдержка в атмосфере 98% влажности, вибрационные перегрузки 5g не ухудшают качества сварных соединений.

8. Результаты металлографических исследований подтверждают, что соединение медных проводов предложенным методом осуществляется без расплавления свариваемых материалов(в твёрдой фазе) и сопровождается диффузионными процессами.

9.На основании комплекса проведенных исследований разработан технологический процесс и оборудование для контактной сварки соединений изолированных проводов внакрутку с ультразвуковым воздействием на детали.

Спроектирована,изготовлена и опробована в производственных условиях машина для сварки изолированных проводов СИП-I.Для осуществления процесса верхний электрод выполнен в виде акустического узла и является одновременно инструментом, передающим ультразвуковые колебания свариваемым деталям, и электродом контактной сварочной машины.Машина прошла апробацию на заводах г.Калуги, Ставрополя и Ростова-на-Дону. Экономический эффект от внедрения одной машины по данным калужского завода составляет более 30тыс.р.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

I.Отчёт по теме КВ-59,Москва,ВНИТИЦЕНТР,№72062018,1972г.

2.Авторское свидет. №349527,Бюл.изобр. №26,1972г.

3.Авторское свидет. №420419,Бюл.изобр. №11,1974г.

4.Дружинин Н.В.,Борисов Г.Д.,Дружинина Н.В. Сварочная машина СИП-I."Машины,приборы,стенды",каталог МВТУ, №3,1972 г.

5.Дружинина Н.В.,Дружинин Н.В.,Борисов Г.Д. "Методика выбора оптимальных деформаций при сварке цилиндрических стержней вкрест",Электротехническая промышленность,серия Электросварка, вып.I,1973 г.

6.Дружинина Н.В.Методы соединения изолированных проводов с выводными деталями электротехнических изделий/обзор/,"Технология электротехнического производства". вып.II/66/,1974г.

7.Дружинин Н.В.,Борисов Г.Д.,Дружинина Н.В.Контактная сварка обмоточных проводов с ультразвуковой зачисткой изоляции,"Автоматическая сварка",№10,1974 г.

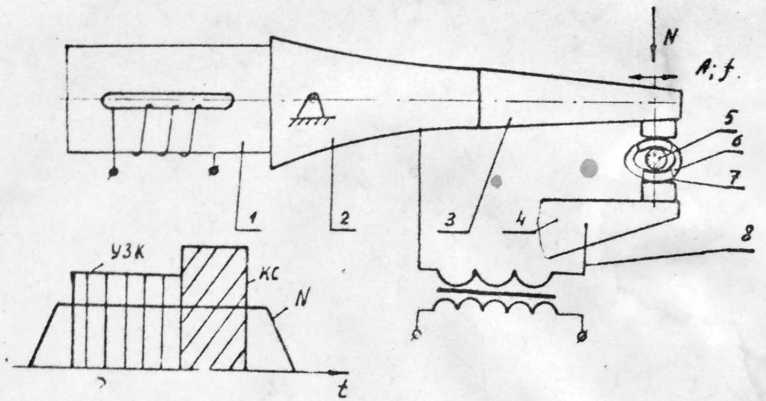


Рис.1.Схема и циклограмма процесса контактной электросварки проводов в изоляции с ультразвуковой подготовкой поверхностей: 1- магнитострикционный преобразователь ; 2- волновод ; 3-сменный инструмент ; 4 - опора ; 5-выводная деталь ; 6-провод в изоляции 7 ; 8-сварочный трансформатор ; УЗК-длительность цикла ультразвуковой подготовки ; КС-длительность цикла контактной сварки ; N -усилие сжатия деталей.

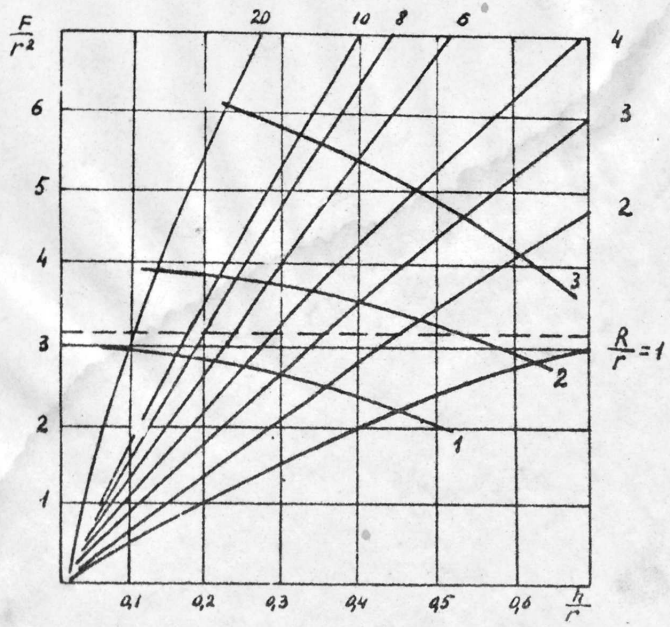


Рис.2.Зависимость площади контакта от деформации перекрещивающихся стержней в безразмерных параметрах для разных соотношений R/r :1 -зависимость площади поперечного сечения тонкого провода от деформации ; 2 и 3 - кривые,ограничивающие область оптимальных деформаций проводов.