

М 337954

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

На правах рукописи

КУЛИКОВ Валерий Петрович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
И ПРОЧНОСТИ ТОЧЕЧНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
НА БАЗЕ МАГНИТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ

Специальность 05.04.05. - Технология
и машины сварочного производства

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Могилевском машиностроительном институте
Научный руководитель - к.т.н., доцент Роговий Д.А.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, профессор ОРЛОВ Б.Д.

Кандидат технических наук, доцент КАШУБА А.А.

Ведущее предприятие - Минский тракторный завод.

Защита диссертации состоится "_____" _____ 1979г.
на заседании специализированного Совета по технологии и ма-
шинам сварочного производства Московского ордена Ленина и
ордена Трудового Красного Знамени высшего технического учи-
лища имени Н.Э.Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-я Бау-
манская улица, дом № 5.

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

библиотеке МВТУ

1979г.

И.Стеклов

М 337954

Тир. 100

Л -
Зак.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Большой объем применения контактной точечной сварки при изготовлении ответственных металлоконструкций постоянно требует решения задач, связанных с контролем качества и оценкой прочности точечных сварных соединений. В настоящее время наиболее распространенным способом оценки прочности точечных соединений являются механические испытания образцов-свидетелей и готовых сварных узлов. Как правило, этот метод контроля малоэффективен, т.к. образцы-свидетели позволяют лишь косвенно оценивать прочность реального соединения, а разрушение готовых изделий требует дополнительных трудовых и материальных затрат. В связи с этим, разработка методики прогнозирования прочности точечных соединений по результатам неразрушающего контроля является актуальной задачей.

В данной работе исследована возможность применения магнитографического метода для оценки прочности точечных соединений изделий типа "оребренная" труба, взамен применяющихся механических испытаний. Анализ показывает, что в данном случае, в связи со сложностью конструкции, ограниченным доступом к поверхности соединений, большим количеством сварных точек, применение других методов контроля точечных соединений связано со значительными трудностями и большой трудоемкостью. При магнитографическом же контроле существует возможность размещения ферромагнитной ленты внутри трубы и намагничивания одновременно всех сварных точек, имеющих на изделии. Такая технология позволяет существенно снизить трудоемкость контроля многоточечных соединений.

Цель работы - разработка способа оценки прочностных характеристик точечных сварных соединений на базе магнитографического метода контроля, повышение качества сварки и эффективности контроля некоторых сварных конструкций за счет его применения (на примере изделий типа "оребренная" труба).

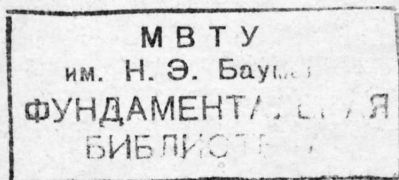
Методы исследования. Основные задачи работы решались экспериментальным и расчетным путем с использованием математических методов статистики, прочностных испытаний точечных соединений на срез и отрыв, осциллографирования основных электрических параметров процесса магнитографического конт-

роля, металлографических исследований. Экспериментальные исследования проводили на образцах из низкоуглеродистых сталей толщиной 1...6 мм. Для записи магнитных полей использовали ленту тип И4701-35, воспроизведение записи осуществляли на дефектоскопе МГК-1. При аналитическом анализе магнитостатического поля, образующегося при намагничивании в зоне точечного соединения, использовали ЭВМ "Минск-32".

Научная новизна работы заключается в экспериментально-теоретическом обосновании возможности измерения диаметра литого ядра точки и оценки прочности точечных соединений магнитографическим методом и формулируется следующими положениями:

- получено уравнение, проведен аналитический расчет и вскрыт характер изменения магнитостатического поля вблизи сварной точки при ее намагничивании. Показано, что экстремумы тангенциальной составляющей магнитостатического поля расположены над границами литого ядра точки, а расстояние между ними линейно связано с его диаметром и не зависит от других геометрических характеристик точечного соединения. Установлено, что по расположению экстремумов, магнитографическим методом может быть определен диаметр литого ядра точки и проведена оценка прочности двухточечного соединения на отрыв.

- доказано, что помехи, образующиеся при контроле у границ вмятин от электродов, могут быть компенсированы за счет повторного намагничивания сварного соединения аperiodическим импульсным магнитным полем, имеющим полярность, противоположную основному полю. В результате действия скин-эффекта импульсное поле проникает на малую глубину и вызывает образование магнитных полей рассеяния только от вмятин, которые воздействуют на те же участки ленты, что и при основном намагничивании и, имея противоположное направление, компенсируют помехи. Разработаны рекомендации по выбору параметров намагничивающего импульса.



Практическая ценность. На основе магнитографического метода контроля разработан способ определения диаметра литого ядра точки и оценки прочностных характеристик точечных сварных соединений ферромагнитных материалов толщиной от 1 до 6 мм.

Апробация работы. Материалы работы докладывались и обсуждались на:

- УЛ Всесоюзной научно-технической конференции "Неразрушающий контроль материалов, изделий и сварных соединений". Киев, 1974;

- III конференции молодых исследователей ИЭС им. Е.О.Натона, г.Киев, 1975;

- Белорусской республиканской научно-технической конференции "Многопараметровый неразрушающий контроль ферромагнитных материалов". Минск, 1975;

- II межвузовской Всесоюзной научно-технической конференции "Электромагнитные методы контроля качества материалов и изделий", Рига, 1975;

- Белорусской республиканской научно-технической конференции "Механизация и автоматизация сварочного производства", Могилев, 1975;

- научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Могилевского машиностроительного института в 1973-1977 гг.;

- научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1977.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 118 страницах машинописного текста и состоит из введения, пяти глав и выводов. Содержит 12 таблиц, 72 рисунка, приложение и список использованной литературы, включающий 145 наименований.

Первая глава посвящена анализу качества точечных сварных соединений базовых изделий и обзору возможных методов их контроля, постановке цели и задач работы. Объектом практического применения результатов данной работы являются изделия типа "оребренная" труба, которые выпускаются рядом предприятий нашей страны. Изделие представляет собой трубу из низкоуглеродистой стали, к которой приваривают контактной точечной сваркой пять U-образных ребер, каждое - двумя точками.

Размеры изделия могут быть различными. В данной работе экспериментальные исследования, основные конструктивные решения и рекомендации были сделаны для изделия, выпускаемого базовым предприятием. Основные его размеры: внутренний диаметр трубы - 20 мм, наружный - 31 мм, длина трубы - 70 мм, толщина ребра - 2 мм, длина ребра - 35 мм. Основным критерием качества точечных соединений данных изделий является их прочность на отрыв. Минимальное допустимое усилие отрыва ребра от трубы - 1000 кгс. По существующей в отрасли системе, оценка прочности точечных соединений осуществляется посредством выборочных механических испытаний, по результатам которых определяется качество всей партии изделий, изготовленных в смену. Контроль одноступенчатый, по альтернативному признаку. Объем выборки - 2% из сменной партии, приемочное число $C = 0$.

В результате анализа установлено, что существующая система оценки качества точечных соединений оребренных труб обладает рядом недостатков, которые заключаются в следующем:

- оценка качества изделий в процессе механических испытаний проводится по альтернативному признаку в зависимости от количества забракованных единиц в выборке. При этом не учитывается история качества и закон распределения количественного признака. Это существенно снижает достоверность контроля (на базовом предприятии до 18%);

- принятая система контроля имеет слабые обратные связи с процессом производства. Механические испытания, как правило, проводятся в ЦЗМ после изготовления всей партии изделий, часто на следующий после старки день. Это приводит к тому, что контроль только констатирует наличие брака и практически не способствует его предотвращению;

- высокая стоимость контроля, вследствие разрушения готовых изделий в процессе механических испытаний.

Устранить отмеченные недостатки существующей системы контроля можно за счет разработки и внедрения неразрушающего метода оценки прочности точечных соединений оребренных труб при одновременном пересмотре плана проведения контроля и расширении его предупредительной функции.

С целью исследования возможности применения неразрушающих методов для оценки прочностных характеристик точечных

соединений оребренных труб, был проведен анализ их качества и причин снижения прочности. Анализу было подвергнуто 25460 двухточечных соединений ребра с трубой, для которых фиксировали усилие отрыва, а также наличие внутренних дефектов. Для 14090 точек были измерены диаметры литого ядра. Установлено, что для данных изделий основным дефектом, вызывающим снижение усилия отрыва, является уменьшение диаметра литого ядра точки. Наличие в соединении раковин и пор практически не влияет на прочность. Непроваров в виде "склейки" в точечных соединениях данных изделий обнаружено не было.

Установлена регрессионная связь между разрушающим усилием отрыва и средним значением диаметра литого ядра для двухточечного соединения ребра с трубой. Уравнение регрессии имеет вид: $R_0 = 282\bar{D} + 6$. Среднее квадратичное отклонение линии регрессии: $S_{yx} = 167 \text{ кгс}$, коэффициент корреляции - $r = 0,88$. Наличие достаточно тесной связи между $\bar{D}$ и R_0 свидетельствует о том, что для оценки прочности двухточечного соединения ребра с трубой достаточно знать диаметр литого ядра каждой сварной точки.

В настоящее время, благодаря работам С.Т. Назарова, Б.Д. Орлова, С.В. Румянцева, В.С. Фастрицкого и других исследователей, разработан ряд методов неразрушающего контроля точечных соединений, позволяющих определять диаметр литого ядра. Такими методами являются: рентгеновский, вихретоковый, тепловой и ультразвуковой. Каждый из методов имеет свои преимущества, недостатки и обусловленную ими область применения. Анализ показывает, что в данном случае, в связи со сложностью конструкции, большим количеством сварных точек и ограниченным доступом к поверхности соединений, применение известных методов контроля точечных соединений связано со значительными трудностями и большой трудоемкостью. В частности, весьма перспективный способ теневого ультразвукового контроля в процессе сварки не может быть использован в данном случае, т.к. при сварке оребренных труб нижний электрод сварочной машины располагается горизонтально и по мере износа поворачивается вокруг своей оси. Это исключает возможность размещения в нем пьезоэлемента на достаточно длительное время.

Для данных изделий целесообразно использовать магнито-

графический метод контроля, который при размещении магнитной ленты внутри трубы, дает возможность намагничивать практически одновременно все сварные точки, имеющиеся на изделии, записав информацию о их качестве на одном отрезке ленты. Такая технология позволит существенно снизить трудоемкость контроля многоточечных соединений.

Приоритет в разработке магнитографической дефектоскопии принадлежит Советским ученым. Исследованию этого метода контроля посвящены работы А.С.Фалькевича, М.Х.Хусанова, В.С.Козлова, М.А.Кашубы, И.И.Кишера, В.В.Щербинина, А.М.Шаровой и других исследователей. Основная область применения магнитографической дефектоскопии – стыковые соединения, выполненные дуговой сваркой, для которых процесс контроля изучен достаточно подробно.

Вопросы магнитографического контроля точечных соединений изучены значительно меньше, а возможность его использования для измерения диаметра литого ядра точки и оценки прочностных характеристик точечных соединений не исследована.

Специфические свойства и особенности строения точечных соединений, а также своеобразие задачи контроля, заключающейся в необходимости определения диаметра литого ядра точки и оценки прочности соединения, требуют решения в работе следующих основных задач: исследование свойств, особенностей строения и геометрических параметров точечных соединений, как объекта магнитографического контроля; исследование и разработка способа измерения диаметра литого ядра точки на базе магнитографического метода контроля; разработка способа уменьшения помех, образующихся при контроле у границ вмятин от электродов; разработка методики оценки прочностей точечных соединений оребренных труб на основе их выборочного магнитографического контроля.

Глава вторая посвящена изучению свойств, особенностей строения и геометрических параметров точечных соединений, как объекта контроля. По результатам анализа макрошлифов точечных соединений оребренных труб установлены наиболее характерные для данных изделий форма и размеры неферромагнитного зазора между деталями. Это позволило обосновать выбор модели точечного соединения при расчете магнитостатиче-

ского поля, образующегося при намагничивании в зоне сварной точки. Определены наиболее типичные размеры вмятин от электродов, оставшихся после сварки на внутренней поверхности трубы и на ребре, что необходимо для изучения степени их влияния на процесс контроля.

Исследованы магнитные свойства металла и характер их изменения в процессе контактной точечной сварки. В результате аналитических расчетов и экспериментальных исследований установлено, что изменение магнитных свойств металла, происходящее вследствие термомеханического воздействия контактной сварки, не оказывает существенного влияния на процесс магнитографического контроля. Это обусловлено тем, что магнитные характеристики металла точки и основного металла отличаются незначительно, а намагничивание изделия в процессе сварки невелико, вследствие нагрева металла в зоне точки до температуры Кюри. Остаточная индукция имеет максимальное значение на расстоянии 3-8 см от центра точки и не превышает значений порядка 0,2-0,3 Т, что значительно меньше индукции, характерной для магнитографического контроля.

Третья глава посвящена разработке способа измерения диаметра литого ядра точки на базе магнитографического метода контроля. Известно, что необходимым условием применения методов магнитной дефектоскопии при контроле сварных соединений, является наличие связи между качеством соединения и полем рассеяния, образующимся в зоне соединения при намагничивании. Теоретические и экспериментальные исследования полей рассеяния от дефектов нашли свое отражение в работах В.Н. Аркадьева, В.С. Вонсовского, Р.И. Ягуса, Н.С. Акулова, И.И. Еремина, И.А. Халилеева, А.Б. Саложникова, Н.Н. Зацепина, В.В. Власова и др. В настоящее время создана теория расчета магнитных полей рассеяния от дефектов различной формы и ориентации. Результаты расчетов качественно хорошо согласуются с результатами экспериментов.

Своеобразие задачи при контроле точечных соединений заключается в том, что уменьшение диаметра точки не является дефектом в обычном смысле понимания этого слова (т.е. нарушением сплошности) и само по себе не приводит к образованию поля рассеяния. Наличие здесь связи между качеством сварки и полем рассеяния не столь очевидно, как для дефек-

тов сплошности. В связи с этим, для оценки возможности измерения диаметра точки магнитографическим методом, необходимо доказать теоретически и подтвердить экспериментально наличие зависимости между диаметром литого ядра точки и характером поля рассеяния на поверхности соединения, установить факторы, влияющие на эту зависимость, определить область ее существования.

На основе дипольной модели формирования поля рассеяния получено математическое выражение, позволяющее рассчитать топографию магнитостатического поля, образующегося при намагничивании в зоне точки, и установить характер ее изменения в зависимости от основных параметров точечного соединения:

$$H = -4\sigma \left[\int_{-a}^a \frac{x-\eta}{(x-\eta)^2 + (\delta+h)^2} d\eta - \int_{-a}^a \frac{x-\eta}{(x-\eta)^2 + \delta^2} d\eta + \right. \\ + \int_{-\delta/\cos\alpha}^{-R/\cos\alpha} \frac{(x-\eta\cos\alpha)d\eta}{(x-\eta\cos\alpha)^2 + (\delta+h-R\tg\alpha-\eta\sin\alpha)^2} - \int_{-\delta/\cos\alpha}^{-R/\cos\alpha} \frac{(x-\eta\cos\alpha)d\eta}{(x-\eta\cos\alpha)^2 + (\delta+R\tg\alpha+\eta\sin\alpha)^2} + \\ + \int_{R/\cos\alpha}^{\delta/\cos\alpha} \frac{(x-\eta\cos\alpha)d\eta}{(x-\eta\cos\alpha)^2 + (\delta+h-R\tg\alpha+\eta\sin\alpha)^2} - \int_{R/\cos\alpha}^{\delta/\cos\alpha} \frac{(x-\eta\cos\alpha)d\eta}{(x-\eta\cos\alpha)^2 + (\delta+R\tg\alpha-\eta\sin\alpha)^2} + \\ \left. + \int_{\delta}^a \frac{x-\eta}{(x-\eta)^2 + (\delta+h)^2} d\eta - \int_{\delta}^a \frac{x-\eta}{(x-\eta)^2 + \delta^2} d\eta \right], \quad (1)$$

где: $2a$ - ширина сварного образца; 2δ - диаметр пластического пояса; $2R$ - диаметр литого ядра точки; δ - толщина свариваемых изделий; h - величина зазора между свариваемыми деталями; x - координата точки вычисления поля рассеяния; σ - плотность магнитных зарядов на поверхности зазора между деталями.

Третий, четвертый, пятый и шестой интегралы выражения (1) представляют собой логарифмическую или тригонометрическую функцию в зависимости от значений величин, входящих в знаменатель, и поэтому в общем виде вычислены быть не могут. В связи с этим, проводили численное интегрирование выражения (1) по методу Симпсона на ЭВМ "Минск-32 при различных значениях геометрических характеристик точечного соединения.

Анализ полученных результатов показывает, что магнитостатическое поле рассеяния имеет экстремальные значения над

границами литого ядра и существенно не изменяет своего характера и расположения экстремумов при изменении параметров соединения, непосредственно не характеризующих качество сварки — величины зазора между деталями, диаметра пластического пояска, размеров изделия. Эти параметры влияют на величину поля рассеяния. Расстояние же между экстремумами зависит только от диаметра литого ядра точки.

Результаты расчетов подтверждены экспериментальными исследованиями. В процессе воспроизведения зафиксированного на ленте магнитостатического поля происходит дифференцирование сигнала, в связи с чем в экстремальных точках (т.е. над границами литого ядра), воспроизводимая дефектоскопом осциллограмма, пересекает ось X. Поэтому практически диаметр литого ядра точки определяется как расстояние В между точками пересечения осциллограммы с осью X.

Установлено, что для получения качественной записи на ленте полей рассеяния, образующихся в зоне точки, точечное соединение необходимо намагничивать перпендикулярно поверхности, обеспечив одновременное подмагничивание ленты переменным магнитным полем с плавно убывающей амплитудой. Подмагничивание переменным полем в данном случае обязательно, т.к. на ленту действуют слабые магнитные поля. Внешнее магнитное поле на ленте не фиксируется, т.к. направлено перпендикулярно ее поверхности. При сопоставлении результатов магнитографического контроля точечных соединений с результатами измерения диаметра точки по макрошлифам, установлено, что средняя квадратичная ошибка в определении диаметра точки магнитографическим методом составляет $\pm 1,07$ мм для значений контролируемых диаметров 4...15 мм.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния на процесс контроля конструктивно-технологических характеристик изделия, таких как размеры вмятин от электродов, толщина металла, габариты изделия, количество точек на изделии, их шаг.

Вмятины от электродов затрудняют процесс контроля потому, что являются источниками помех. В работе исследованы зависимости между амплитудой помех, обусловленных вмятинами, и их основными размерами. Установлено, что точность измерения диаметра практически не снижается, если глубина

вмятин от электродов не превышает 0,2 мм. В противном случае, необходимо применение специального способа, позволяющего компенсировать помехи от вмятин.

Известные в магнитографической дефектоскопии способы компенсации помех, такие как воспроизведение записи дифференциальными головками, временная селекция, амплитудная и частотная модуляция (Акулов Н.С., Козлов В.С.), не могут быть использованы в данном случае. Это связано с тем, что сигналы от границы точки и от границы вмятины нельзя разделить ни по протяженности, ни по последовательности появления, ни по частоте, т.к. диаметр точки близок к диаметру вмятины и может быть как больше, так и меньше его.

В работе предложен способ магнитографического контроля, позволяющий выделить полезный сигнал от границы ядра на фоне помех от вмятин. Способ основан на явлении скин-эффекта и заключается в следующем. После основного намагничивания, которое в данном случае осуществляется одновременно постоянным и переменным магнитным полем, производится дополнительное намагничивание изделия со стороны расположения ленты импульсным полем, имеющим полярность, противоположную постоянному. При основном намагничивании на ленту действуют поля рассеяния от границ литого ядра точки и от вмятины. При намагничивании импульсным полем возникают поля рассеяния только от вмятины, т.к. импульсное магнитное поле при соответствующем выборе его параметров, не проникает вглубь металла до границ литого ядра точки. Поле рассеяния от вмятины при импульсном намагничивании, будет компенсировать сигнал от вмятин, записанный на ленте при основном намагничивании, что позволяет резко уменьшить амплитуду помех. В работе проведены исследования и анализ параметров намагничивающего импульса, позволяющие выбрать их оптимальное соотношение, при котором обеспечивается требуемая глубина проникновения импульсного поля и необходимое значение его напряженности.

При исследовании влияния на процесс контроля конструктивных характеристик изделия установлено, что увеличение толщины контролируемого металла, количества точек на изделии, а также уменьшение его габаритов приводит к снижению амплитуды сигнала от границы точки. Однако в исследуемом диапазоне толщин от 1 до 6 мм, размеров изделия от

30 мм и выше, количества точек от 1 до 5 в ряду, сигнал от границы точки всегда остается достаточно большим, что не снижает чувствительности и не требует изменения методики контроля. Показано, что при контроле сварных точек, расположенных в ряд, можно производить их одновременное намагничивание одним намагничивающим устройством без заметного снижения чувствительности.

Пятая глава посвящена разработке методики оценки прочностных характеристик точечных соединений изделий типа "оребренная" труба по результатам их магнитографического контроля. Для контроля точечных соединений оребренных труб разработана установка, имеющая пять электромагнитов и обеспечивающая намагничивание одновременно пяти пар сварных точек. Намагничивание осуществляется постоянным и переменным магнитным полем по заранее заданной программе, выполнение которой осуществляется автоматически. Выбор оптимальных режимов работы установки был проведен с использованием метода математического планирования эксперимента.

Для определения точности оценки статической прочности точечного соединения на отрыв по выходному параметру осциллограммы В, в производственных условиях магнитографическим методом было проконтролировано 2409 двухточечных соединений, которые затем были подвергнуты механическим испытаниям. После статистической обработки результатов эксперимента получено уравнение регрессии, характеризующее связь между усилием отрыва R_o и средним значением параметра осциллограммы $V_{ср.}$, определенным для двухточечного соединения: $R_o = 137,9 \cdot V_{ср.} + 75,3$; коэффициент корреляции $r = 0,84$. Средняя квадратичная ошибка в определении усилия отрыва магнитографическим методом составляет $S_R = \pm 214$ кгс при средней величине $\bar{R}_o = 2039$ кгс.

Основные результаты проведенных исследований прошли испытания и внедрены в производство. В процессе производственных испытаний была определена достоверность разработанного способа оценки прочностных характеристик изделий типа "оребренная" труба по результатам магнитографического контроля. Оценку достоверности проводили по методике, предложенной В.Н. Волченко, учитывая достоверность метода контроля и достоверность выборочных оценок. Опираясь на нормативное

значение прочности и учитывая характеристики корреляционной связи "сигнал-прочность", определены приемочный и браковочный признаки, а также объем выборочного контроля. Установлено, что при контроле точечных соединений оребренных труб по количественному признаку, объем выборки из партии должен составлять 70 двухточечных соединений. При этом достоверность выборочных оценок равна $P = 0,9$. Достоверность метода контроля при ее интервальной оценке составляет $V = 0,942$. Общая достоверность $\Phi = 0,85$, что в 4,7 раза выше достоверности существующего приемочного контроля, проводимого по альтернативному признаку.

Кроме приемочного контроля, на предприятии внедрен промежуточный магнитографический контроль точечных соединений, который проводится изготовителем непосредственно у рабочего места после сварки небольших серий изделий. Применение промежуточного контроля позволило своевременно обнаруживать отклонения технологического процесса и оперативно на них реагировать, что дало возможность сократить уровень брака изделий по сварке.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Существующая система оценки прочности точечных соединений оребренных труб посредством выборочных механических испытаний малоэффективна, т.к. связана с большим объемом разрушения готовых изделий, имеет низкую достоверность и слабые обратные связи с производством. Вместо механических испытаний целесообразно применить магнитографический метод, при одновременном пересмотре плана проведения контроля и расширении его предупредительной функции.

2. Получено уравнение, проведен аналитический расчет и вскрыт характер изменения магнитостатического поля, образующегося в зоне сварной точки в процессе магнитографического контроля. Показано, что экстремумы тангенциальной составляющей магнитостатического поля расположены над границами литого ядра точки, а расстояние между ними линейно связано с его диаметром и не зависит от других геометрических характеристик точечного соединения. Установлено, что расположение экстремумов, а следовательно, и диаметр литого

ядра точки, могут быть определены магнитографическим методом.

3. Для осуществления магнитографического контроля точечные соединения необходимо намагничивать перпендикулярно свариваемым поверхностям, обеспечивая одновременно подмагничивание ленты переменным магнитным полем с плавно убывающей амплитудой. Определение диаметра производится при считывании записи с ленты по воспроизводимой на экране дефектоскопа осциллограмме.

4. Изменение магнитных свойств металла, происходящее вследствие термомеханического воздействия контактной сварки, не оказывает существенного влияния на параметры магнитографического контроля. Это обусловлено тем, что магнитные характеристики металла точки и основного металла отличаются незначительно, а намагничивание изделия в процессе сварки невелико вследствие нагрева металла в зоне точки до температуры Кюри. Остаточная индукция имеет максимальное значение на расстоянии 3-8 см от центра точки и не превышает значений порядка 0,2-0,3 Т, что значительно меньше индукции, характерной для магнитографического контроля.

5. В результате экспериментальных исследований установлено, что при статических испытаниях на отрыв двухточечных соединений обретенных труб, разрушающее усилие линейно связано со средним для двух точек значением диаметра литого ядра и поэтому может быть определено магнитографическим методом посредством измерения диаметров точек.

6. Установлено, что наличие на поверхности металла вмятин от электродов глубиной более 0,2 мм, снижает точность определения диаметра и оценки прочности точечного соединения, вследствие образования помех. Для повышения помехоустойчивости магнитографического контроля предложено производить дополнительное намагничивание точечного соединения и ферромагнитной ленты импульсным магнитным полем, имеющим полярность, противоположную основному полю. В результате действия скин-эффекта импульсное поле проникает на малую

глубину и вызывает образование магнитных полей рассеяния только от вмятин, которые воздействуют на те же участки ленты, что и при основном намагничивании и, имея противоположное направление, компенсируют помехи.

7. Для магнитографического контроля точечных соединений оребренных труб разработана и доведена до производственного применения установка, обеспечивающая высокую производительность контроля за счет одновременного намагничивания всех сварных точек, расположенных на изделии. Намагничивание производится в соответствии с заданной программой одновременно постоянным и переменным магнитным полем, а после их отключения — магнитным полем, создаваемым одиночным аperiodическим импульсом, компенсирующим помехи от вмятин.

8. В результате производственных испытаний установлено, что магнитографическим методом могут быть определены: диаметр литого ядра точки ферромагнитных материалов в среднем с ошибкой $\pm 1,07$ мм для значений контролируемых диаметров 4...15 мм; усилие отрыва для изделий типа "оребренная" труба в среднем с ошибкой ± 214 кгс, при достоверности контроля — 94,2%.

9. Проведенные исследования и полученные результаты легли в основу разработанной системы контроля точечных соединений оребренных труб, основными отличительными чертами которой являются:

- замена механических испытаний магнитографическим методом оценки прочности точечных соединений;
- внедрение промежуточного контроля точечных соединений по мере сварки небольших серий изделий;
- замена альтернативной оценки качества на контроль по количественному признаку. Внедрение предлагаемой системы контроля на машиностроительном предприятии, выпускающем оребренные трубы, позволило снизить уровень брака изделий по сварке с 0,7% до 0,24%, повысить достоверность контроля в 4,7 раза, снизить его трудоемкость в 5 раз и получить годовой экономический эффект 21,5 тыс. рублей.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. ШАРОВА А.М., РОГОВИН Д.А., КУЛИКОВ В.П. Намагничивающее устройство для магнитографического контроля. Авторское свидетельство № 418786, 1973.

2. ШАРОВА А.М., РОГОВИН Д.А., КУЛИКОВ В.П. Исследование

чувствительности магнитографического контроля сварных соединений из малоуглеродистых сталей. "Автоматическая сварка", 1973, № 7.

3. КУЛИКОВ В.П. Применение методов математической статистики при исследовании магнитографического контроля точечных сварных соединений. В сб. "Механизация и автоматизация сварочного производства", Могилев, 1975.

4. КУЛИКОВ В.П., ШАРОВА А.М. Отстройка от ложных сигналов при магнитографическом контроле точечных сварных соединений. В сб. "Механизация и автоматизация сварочного производства". Могилев, 1975.

5. ШАРОВА А.М., КУЛИКОВ В.П., НОВИКОВ В.А. Исследование магнитографического контроля точечных сварных соединений. Материалы II межвузовской конференции "Электромагнитные методы контроля качества материалов и изделий". Рига, 1975.

6. КУЛИКОВ В.П., ШАРОВА А.М. О контроле точечных соединений магнитографическим методом. "Сварочное производство", 1976, № 3.

7. КУЛИКОВ В.П., ШАРОВА А.М. Выбор рационального режима магнитографического контроля точечных сварных соединений. "Сварочное производство", 1976, № 4.

8. ШАРОВА А.М., КУЛИКОВ В.П., НОВИКОВ В.А. Способ магнитографического контроля сварных соединений. Авторское свидетельство № 564563, 1977.