

М491167

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
Московский
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени государственный технический университет имени
Н.Э.Баумана

На правах рукописи

УДК 620.179.16

БОЕВ Владислав Добринов

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ
УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ СВАРНЫХ ШВОВ
ИЗ СТАЛЕЙ АУСТЕНИТНОГО КЛАССА

Специальность 05.02.11 - Методы контроля
и диагностики в машиностроении

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана и в Высшем машино-электротехническом институте им.В.И.Ленина, г.София, НРБ.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор АЛЕШИН Н.П.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
ВОПИЛКИН А.Х.
кандидат технических наук,
ГРЕБЕННИКОВ В.В.

Ведущее предприятие: ЦНИИТМАШ

Защита диссертации состоится "28" июня 1990 г.
на заседании специализированного совета Д.053.15.07 в Москов-
ском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана

л., д. 5.

пляре, заверенный
ту.

библиотеке МГТУ им.

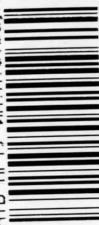
1990 г.

11491167

Э.А.ГЛАДКОВ

Тираж 100 экз.
Н.Э.Баумана

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1491167

Боев В.Д. Разработка компле

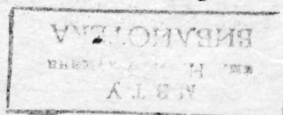
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

79165M

Актуальность работы. В настоящее время в различных отраслях машиностроения (химическое, энергетическое, судостроение, биохимическое, тяжелое и т.д.) в значительных объемах применяются высоколегированные нержавеющие стали. Как правило, конструкции, изготовленные из сталей подобного класса, работают в весьма сложных эксплуатационных условиях (высокие температуры и давление, агрессивные среды). Это обуславливает жесткие требования к качеству сварных швов. Анализ нормативно-технической документации показывает, что в рассматриваемых объектах не допускаются плоскостные дефекты любого типа и размера, а размеры допустимых объемных дефектов весьма невелики и для большинства изделий не превышают 3 мм. Следовательно, чтобы не допустить в эксплуатацию заведомо бракованные изделия, требуется надежный неразрушающий контроль. До недавнего времени, практически единственным методом контроля аустенитных сварных швов был радиографический. Однако применение его ограничено низкой достоверностью (~35...37 %) обнаружения наиболее опасных плоскостных дефектов. Учеными и специалистами ряда стран были выполнены исследования, направленные на применение ультразвуковой дефектоскопии при контроле аустенитных сварных швов. Принципиально новый подход к решению проблемы ультразвуковой дефектоскопии аустенитных сварных швов был предложен в МГТУ им. Н.Э.Баумана. Реализация последнего основана на определении параметров контроля в зависимости от структуры и схемы кристаллизации сварного шва. На основе предложенного принципа были получены качественные зависимости между акусто-сварочными параметрами применительно к конкретным изделиям, изготовленным из сталей с определенной толщиной и разделкой под сварку.

В промышленности встречаются конструкции, имеющие большое многообразие толщин и форм разделок, материалом которых являются аустенитные стали марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 08Х17Н13М2Т и др. Чтобы создать технологию ультразвуковой дефектоскопии аустенитных сварных швов с учетом указанного многообразия особенностей, необходимо было изучить поведение упругого акустического поля при его взаимодействии с многофакторной кристаллической структурой, какой является аустенитный сварной шов.

Поэтому, целью данной работы является расширение области применения ультразвуковой дефектоскопии сварных аустенитных



швов (АСШ).

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Анализ дефектности и структуры АСШ.
2. Анализ существующих подходов при ультразвуковой дефектоскопии АСШ.
3. Изучение формирования структуры и схем кристаллизации АСШ.
4. Обоснование комплексной модели технологии ультразвукового контроля АСШ.
5. Создание обобщенной акусто-сварочной модели АСШ.
6. Разработка САПР технологии ультразвукового контроля АСШ.

Научная новизна

1. Сформулирована и обоснована обобщенная акусто-сварочная модель для объемной схемы кристаллизации, обуславливающая такие углы ввода и разворота акустических осей пьезопреобразователей, при которых наблюдается наименьшее затухание, реверберационное рассеяние и рефракция ультразвукового пучка.

2. На основе обобщенной акусто-сварочной модели создана комплексная модель технологии ультразвуковой дефектоскопии, предусматривающая послойное прозвучивание сечения шва с изменением параметров контроля для каждого слоя в зависимости от схемы кристаллизации.

Практическая ценность

Разработан алгоритм и на его основе создан программный комплекс "АУСТЕНИТ-ТЕСТ" для 16 битового персонального компьютера Правец16 (совместимый с IBM-PC/XT/AT). Комплекс "АУСТЕНИТ-ТЕСТ" является САПР технологического процесса УЗ-контроля аустенитных сварных швов толщиной от 6 до 100 мм, выполненных из сталей 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 08Х17Н13М2Т и др. На основе разработанных программ получены инженерные номограммы параметров раздельно-совмещенных акустических систем и параметры технологии с учетом конструктивных особенностей изделия. Результаты работы были использованы при создании акустических систем, переданных на Пакискую атомную станцию (Венгрия) и акустических систем, апробированных на заводе "Химмаш" г.Хасково и Котлостроительном заводе, г. София.

Методы исследования

Расчетные методы включают в себя: методы решения дифферен-

циальных уравнений в частных производных (метод конечных разностей); методы системного анализа; методы теории принятия решений; математический аппарат теории вероятностей и математической статистики; метод регрессионного анализа и планирования экспериментов; поисковые методы нелинейной оптимизации (нелинейного программирования).

Изучение параметров ультразвуковых преобразователей проводилось на специально разработанном стенде с прибором ультразвуковой дефектоскопии Эхограф I030 фирмы "Карл Дойч" ФРГ, спектральным анализатором ТЕК 2710 фирмы "Тектроник" США и универсальным осциллографом фирмы "Хитачи".

Апробация. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях и семинарах:

- 1) 5-ой научно-технической конференции "Лабораторный контроль качества-89", Варна, 1989 г.;
- 2) II-ой научной конференции болгарских аспирантов в СССР - 89, Москва, 22-23 июня 1989 г.;
- 3) научной сессии "ВМЭИ им.В.И.Ленина-89", София, октябрь 1989 г.;
- 4) 7-ой научно-технической конференции с международным участием "Дефектоскопия-89", Пловдив, октябрь 1989 г.;
- 5) научном семинаре кафедры МТ-7 МГТУ им.Н.Э.Баумана, Москва, март 1990 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 5 печатных работ.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 235 страницах машинописного текста, иллюстрируется 62 рисунками, содержит 14 таблиц, состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы (93 наименования) и 3 приложений.

Автор выражает благодарность канд.техн.наук Н.Н.Волковой за творческое участие в постановке и проведении ряда практических и научных задач.

Первая глава посвящена изучению структуры и дефектности аустенитных сварных швов изделий, применяемых в энергетическом, химическом, биотехнологическом машиностроении, судостроении и некоторых других отраслях промышленности. Анализ подвергались сварные швы толщиной от 6 до 100 мм, изготовленные из сталей 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 08Х17Н13М2Т и др. ручной дуговой и автоматической сваркой. Изучение показало, что в рассмо-

тренных случаях, независимо от толщины материала, формы разделки и марки стали структура, имеющая транскристаллитное строение, состоит из отдельных кристаллитов длиной от 4 до 14 мм и диаметром 500...800 мкм. Направленность кристаллитов однопроходного шва связана с формой межфазной поверхности сварочной ванны, а при многопроходном сварном шве кристаллиты каждого последующего слоя прорастают на образовавшихся кристаллитах предыдущего слоя, сохраняя при этом направление кристаллизации.

На основе выполненных исследований и литературных данных было установлено, что возможны две схемы кристаллизации:

- кристаллиты растут в плоскости, перпендикулярной оси шва;

- рост кристаллитов происходит в двух взаимноперпендикулярных плоскостях (объемная схема кристаллизации).

Замечено, что отклонение оси кристаллита как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях может составлять от 0 до 90°. Причем отклонение в вертикальной плоскости значительно больше для соединений малых толщин, а для соединений толщиной от 30 до 100 мм оно не превышает 5°. Отклонения в горизонтальной плоскости характерны для толщин до 10...12 мм, выполненных на малых скоростях сварки (например, ручная двухсторонняя однопроходная). Следует заметить, что направление роста кристаллита, в основном, обуславливается направлением теплоотвода.

Анализ дефектности этих соединений показывает, что большую долю несплошностей составляют объемные дефекты - всего 64 %, в т.ч. типа пор-(44,6 %) и неметаллических включений - (19,5 %). Относительно мала доля плоскостных протяженных дефектов (~ 20 %), в т.ч. типа трещин (3,6 %), непроваров (9,5 %), протяженных неметаллических включений (4,4 %) и др. Но их потенциальная опасность для разрушения соединения много больше, чем объемных. Чаще всего в односторонних швах трещиноподобные дефекты появляются в корне шва, в двухсторонних - в середине шва. Причем протяженные дефекты ориентированы вдоль оси шва.

Полученные данные послужили исходной предпосылкой при разработке технологии ультразвукового контроля аустенитных сварных швов, рассматриваемых объектов.

Вторая глава посвящена системному анализу существующих подходов к решению проблемы ультразвуковой дефектоскопии аустенитных сварных швов. Исходя из того, что основными трудностями при контроле аустенитных сварных швов являются высокий

уровень помех, затухание и рефракция ультразвуковых колебаний, можно условно выделить четыре подхода к преодолению этих трудностей.

В первом подходе (Крауткремер, Карл Дойч, Едельман, Пилзнер, Хербарг и др.) для достижения максимального отношения сигнал/помеха используют варьирование отдельных параметров контроля или обработку сигналов без учета реального строения и структуры шва, исходя только из предположения ее крупнозернистости. Однако в этих исследованиях отсутствовал системный подход в решении целевой функции — максимум отношения сигнал/помеха. Варьирование одного или двух параметров контроля обеспечивало некоторый рост полезного сигнала при решении частной задачи, но не раскрывалась причина полученного результата.

Во втором подходе делаются попытки увязать помехи со структурой шва. Так, Крауткремер объясняет высокий уровень помех наличием крупнозернистой равноосной структуры, на границе зерен которой происходит трансформация волн. Высокий уровень затухания объясняется, например, количеством и расположением в шве ферритной фазы. В ряде работ сварной шов представляется в виде слоистой структуры и даются рекомендации по использованию угла ввода, равного 45° . В подходе В.В.Гребенникова селектирование полезных сигналов на фоне помех достигается путем двухчастотного ввода посылаемых колебаний, а оптимальное соотношение между частотами, равное 1,5, получено из предположения, что шов представляет собой слоистую структуру с мелкозернистыми зонами. Таким образом, второй подход также не учитывает реального строения аустенитного шва, однако, его можно расценивать, как основу в развитии оптимизационных моделей.

Третья группа исследователей рассматривает сварной шов, как совокупность кристаллитов. Куперман представляет его как совокупность параллельных кристаллитов. Силк, Н.Н.Вадковский, Огилви дают более точное геометрическое описание шва. В этом подходе делаются попытки установить зависимость между прохождением ультразвука через реальный сварной шов, имеющий анизотропию акустических свойств. Авторы пытаются тем или иным расчетным путем связать параметры ультразвукового контроля с параметрами структуры. Модели этой группы являются акусто-геометрическими, в которых дифференциальным образом учитывается струк-

тура сварного шва без учета технологии сварки.

В МГТУ им. Н.Э.Баумана предложен подход, позволяющий учесть параметры технологии сварки. Н.П.Алешиным, Н.Н.Волковой установлено наличие функциональной зависимости параметров ультразвукового контроля от параметров технологического процесса сварки и свойств материала с учетом оптимального направления распространения ультразвукового пучка. Были получены расчетные зависимости для случая автоматической однопроходной сварки под флюсом на режимах, для которых характерен рост кристаллитов только в поперечном сечении шва (плоскость YOZ). Разработанный в соответствии с моделью способ дефектоскопии использует раздельную схему контроля и обеспечивает высокий уровень отношения сигнал/помеха.

Однако способ не явился решением задачи контроля в общем виде. Для расширения области применения ультразвуковой дефектоскопии на более широкий класс аустенитных сталей и типоразмеров сварных соединений необходимо было создать комплексную модель технологии ультразвукового контроля аустенитных сварных швов. С этой целью вначале была сформулирована схема методики для оценки подходов и моделей, содержащая следующие основные этапы: формирование требований к контролю "объекта"; характеристика "объекта" по структуре и акустическим свойствам; анализ метода контроля; наличие оптимизации параметров контроля; наличие конечной технологии контроля в виде методик и средств контроля.

Третья глава посвящена разработке комплексной модели (КМ) технологии ультразвукового контроля аустенитных сварных швов.

Комплексная (общая) модель (рис. I) может быть представлена в виде структурной схемы элементов - моделей, отражающей последовательность решения и перехода от одной модели к другой. В общей модели входной блок I обеспечивает, с одной стороны, исходные параметры (вектор $\vec{A}$), которые связаны со свойствами самого материала, технологией сварки и конструкций, а с другой, исходные параметры (вектор $\vec{B}$) связаны с требованиями к контролю и выбору метода неразрушающего контроля для обеспечения более высокой вероятности обнаружения дефектов.

Блок 2 (модель [A]) является моделью строения шва с учетом технологии сварки. Выходной вектор $\vec{A}$ этой модели несет информацию о расчетной схеме кристаллизации шва и параметрах

кристаллитов в объеме сварного шва. Вектор исходных данных $\vec{B}$ и вектор $\vec{A}$ подаются на вход блока 3 (модель [B]).

Блок 3 является моделью распространения ультразвуковых волн в сложных кристаллитных структурах. Модель [B] дает на выходе оптимальные условия прохождения ультразвука в этих структурах (вектор $\vec{B}$).

В результате обработки данных векторов $\vec{a}$ и $\vec{b}$ моделями [A] и [B] получаем выходные данные для выбора типа ультразвуковых волн и оптимальные условия распространения ультразвука через структуры сварного шва - вектор $\vec{B}$. На базе данных, поступающих от моделей [A] и [B], в блок 4 (модель [C]) проводится оптимизация параметров ультразвукового контроля с учетом структуры сварного шва, т.е. с учетом технологии сварки.

Модель [C] является оптимизационной моделью и в сочетании с моделями [A] и [B] образуют акусто-сварочную модель, которая позволяет определить наилучшие условия распространения ультразвука в сложной структуре (рис.2.). Выходной вектор $\vec{C}$ оптимизационной модели дает для конкретного шва параметры ультразвукового контроля. На этом основании в блоке 5 (модель [D]) производятся расчеты технологических параметров контроля: выбор и расчет схемы контроля; параметры ультразвуковых преобразователей; режимы настройки и обработки сигнала и т.д. В выходной блок 6 поступает полная информация вектора данных $\vec{D}$ технологии ультразвукового контроля сварных швов из аустенитной стали.

Как видно из рис. 1, комплексная модель является системой связи относительно независимых элементов (модели [A], [B], [C], [D]) и в общем случае отражает связь между характеристиками аустенитного сварного шва и параметрами ультразвукового контроля (система "АСШ - УЗК").

Целью моделирования в этом случае является не просто фиксация свойств системы, например, анализ распространения ультразвуковых колебаний в аустенитном шве, но и оптимизация системы. Совместное решение отдельных элементов - моделей является той причинно-следственной связью, не понимание которой не позволило до сих пор авторам создать адекватную модель исследуемого процесса.

Модель структуры шва (модель [A]) представляет связь показателей структуры шва и схемы кристаллизации (вектор $\vec{A}$) с факторами кристаллизации, которые влияют на структуру металла -

вектор $\bar{a}$ исходных данных. Факторы кристаллизации $\bar{a}$ объединились в следующие основные группы:

1 группа - свойства свариваемого и наплавленного металла (физические, химические, теплофизические и др.).

2 группа - технология сварки (способ, режим, источник сварки, условия теплоотвода и т.д.).

3 группа - конструкция сварного соединения (геометрия шва, подготовка кромок и др.).

Основными показателями структуры шва являются функция направления осей кристаллитов $\gamma = \gamma(x, y, z)$ и функция размеров кристаллитов $\bar{d} = \bar{d}(x, y, z)$, которые определяются главным образом формой фронта кристаллизации $F = F(x, y, z)$. При разных способах сварки из-за различных условий энерговложения и теплоотвода схемы кристаллизации и формы поверхности фронта кристаллизации претерпевают не только количественные, но и качественные изменения.

Отклонения кристаллитов от нормали сварного шва в общем случае можно моделировать пространственной кривой (функциональной зависимостью от вышеуказанных факторов) и представить следующим образом.

$$\gamma = \gamma(x, y, z) = f_i(\bar{P}_m, \bar{T}_w, \bar{C}_w, \dots) \quad (I)$$

где γ - функция направления роста осей кристаллитов;

x, y, z - координатные оси сварочного шва;

$\bar{P}_m$ - вектор факторов, связанных со свойствами материала;

$\bar{T}_w$ - вектор факторов, связанных с технологией сварки;

$\bar{C}_w$ - вектор факторов, связанных с конструкцией сварки.

К вектору факторов $\bar{P}_m$ из первой группы относятся, во-первых, физико-химические свойства материала: химсостав, концентрация и распределение примесей, плотность, кристаллизационный интервал твердо-жидкого состояния и т.д.; во-вторых, теплофизические свойства материала: температура плавления, коэффициенты теплопроводности, температуропроводности, теплоотдачи, тепловое расширение, удельная теплоемкость, скрытая теплота плавления, теплосодержание расплавленного металла при температуре плавления, и т.д.; и в-третьих, исходное состояние материала: литой, горячекатаный, кованный и т.д.

Вектор технологии сварки $\bar{T}_w$ содержит компоненты спосо-

ба сварки (ток, напряжение, скорость, диаметр электрода), условия сварки (температурный режим, направление и скорость тепловода) и т.д.

К вектору конструкции сварки $\bar{C}_w$ относятся параметры геометрии шва (форма шва, параметры провара, параметры валика усиления), подготовки кромок (форма кромок, угол скоса, расстояние между кромками) и т.д.

Геометрические размеры кристаллитов и схему их упаковки в пакете кристаллитов в общем случае можно представить аналогично (I) пространственной функцией:

$$\bar{d} = \bar{d}(x, y, z) = f_j(\bar{P}_m, \bar{T}_w, \bar{C}_w, \dots), \quad (2)$$

где $\bar{d}$ - функция представления геометрических размеров кристаллитов и схемы их упаковки в пакете.

Решение по модели структуры АСШ [А] (выражение (I) и (2)) является решением задачи о пространственном положении направлений осей кристаллитов $\gamma = \gamma(x, y, z)$ и размерах кристаллитов $\bar{d} = \bar{d}(x, y, z)$ в зависимости от факторов кристаллизации и с учетом технологии сварки.

Акустическая модель [В] в КМ описывает анизотропию акустических свойств металла сварного шва относительно осей кристаллитов следующими зависимостями:

1) угловая зависимость изменения скорости и распространения УЗ волн - $C = C(\varphi)$;

2) зависимость угла отклонения вектора энергии УЗ волн от вектора распространения - $\Delta = \Delta(\varphi)$;

3) угловая зависимость коэффициента затухания УЗ волн $\delta = \delta(\varphi)$;

где φ - угол между направлением распространения УЗ волн и осью кристаллита.

Известно, что наилучшее отношение полезный сигнал/шум для диапазона толщин до 100 мм можно достичь при использовании разных типов волн. Оптимальные условия распространения УЗ волн получают при специфичном угле φ_0 направления УЗ пучка относительно осей кристаллитов. Например, для продольных волн оптимальный угол φ_0 близок к 45° , скорость продольных волн при этом имеет максимум ($C_L(45^\circ) = 6 \cdot 10^3$ м/с), отклонение вектора энергии $\Delta(45^\circ) \approx 0$ и минимальный коэффициент зату-

хания ($\delta_{(45^\circ)} = 0,02$ дБ/мм).

Для поперечных волн угловая зависимость скорости распространения $C(\varphi)$, отклонения $\Delta(\varphi)$, и затухания $\delta(\varphi)$ связаны с поляризацией (SH или SV-типа) и кристаллографической плоскостью распространения. Для толщин до 20 мм (для плоскостей [100], [010] и [001]) известно, что быстрая поперечная волна SH-типа не изменяет своей скорости $C_{SH} = \text{const}$, отклонение $\Delta_{SH} = \text{const} = 0$, а затухание УЗ волн, распространяющихся поперек или вдоль кристаллитов ($\varphi \approx 90^\circ$, $\varphi \approx 0^\circ$) на 0,3 дБ/мм меньше, чем при $\varphi = 45^\circ$. Для других кристаллографических плоскостей картина распространения значительно меняется. При медленной SV-типа поперечной волне затухание существенно больше, чем у SH-типа по всем направлениям распространения, что ограничивает их применение на практике.

При моделировании распространения УЗ волн через сложную, направленную структуру критерием для оптимального прохождения, как уже было отмечено, служит отношение сигнал/помеха N с одной стороны, а с другой - коэффициент затухания $\delta(\varphi)$. Поскольку отношение сигнал/шум связано с явлениями трансформации, преломления и отражения упругих волн на границе двух сред (в случае двух кристаллитов, двух областей кристаллитов или линии сплавления шва), то оно определяется в большей степени скоростью распространения УЗ волны и ее угловой зависимостью. Поэтому отношение полезного сигнала/шума N тоже является угловой зависимостью от направления распространения относительно осей кристаллитов

$$N = N(\varphi) = f_k(\bar{P}_{us}, \bar{T}_{us}, \bar{C}_{us}, \dots), \quad (3)$$

где N - функция отношения сигнал/шум;

$\bar{P}_{us}$ - вектор факторов, связанных с акустическими свойствами материала (скорость, затухание, отклонение вектора энергии);

$\bar{T}_{us}$ - вектор факторов, связанных с технологией ультразвукового контроля (тип волн, угол и схема ввода/приема, параметры УЗ импульса: амплитуда, частота, длительность);

$\bar{C}_{us}$ - вектор факторов, связанных с дефектностью конструкции, требованиями к контролю и условиями обнаружения дефектов.

Акустическая модель [В] в виде выражения (3) дает решение задачи распространения ультразвуковых волн через сложную структуру аустенитного сварного шва.

Акусто-сварочная модель в КМ является совместным решением сварочной модели [А] для конкретного сварного шва и акустической модели [В] для структуры шва. При этом проводится двухкритериальная, пошаговая, итеративная нелинейная оптимизация (модель [С]) по рассмотренным уже параметрам: отношение полезный сигнал/шум N (3) и коэффициент затухания δ .

На основе акусто-сварочной модели разработан общий алгоритм процесса расчета технологии УЗК АСШ и на его базе программный комплекс "АУСТЕНИТ-ТЕСТ", включающий алгоритмы описанных выше моделей.

Четвертая глава посвящена разработке концепции системы автоматизированного проектирования (САПР) технологии УЗК АСШ. На этой базе создан программный комплекс (ПК) "АУСТЕНИТ-ТЕСТ", который исследован и экспериментально проверен для различных случаев сварки. С помощью ПК "АУСТЕНИТ-ТЕСТ" были получены инженерные номограммы выбора оптимальных параметров раздельно-совмещенных акустических систем с учетом особенностей контролируемого сварного соединения. Результатом работы ПК "АУСТЕНИТ-ТЕСТ" являются технологические карты УЗК АСШ, в которые введены результаты расчета комплексной модели: параметры технологии ультразвукового контроля; выбор УЗ преобразователя РС типа из унифицированного ряда, зоны сканирования поверхности, число проходов контроля и число преобразователей. Например, для контроля стыковых аустенитных швов толщиной 6...20 мм результаты экспериментов показали следующие оптимальные параметры контроля: при $S = 6...12$ мм, $\alpha = 70^\circ$, $\omega = 36^\circ$, РС схема - однократно отраженным лучем, волны SV-типа, а диаметр контрольного отражателя $\phi_k = 2,0$ мм. При $S = 12...20$ мм, $\alpha = 65^\circ$, $\omega = 45^\circ$, $\phi_k = 2,5$ мм, РС схема - прямым и однократно отраженным лучем, волны SV-типа. Частота УЗ импульса $f = 2,5$ МГц, при которой помехоустойчивость и чувствительность наибольшие. Размеры пьезопластин $2a = 12$ мм.

Поскольку расчеты по комплексной модели являются громоздкими, многопараметрическими и многоцикловыми, ставилась задача выполнить все вычислительные операции технологического проектирования с использованием персонального компьютера. Огром-

ные возможности ЭВМ (графические, запоминающие и оперативные) использованы в решении задачи составления технологической документации УЗ контроля.

При проектировании программного комплекса соблюдались следующие требования:

1. Отразить в общем алгоритме характерную взаимосвязь модулей в комплексной модели технологии УЗ АСШ.

2. Выполнить требования структурного и модульного программирования.

3. Иметь гибкость программного комплекса, как открытой системы, в которой имеется возможность добавлять новые функции, редактировать старые, составлять и обновлять банк данных, хранить данные расчетов и пользоваться ими в любое время, документировать результаты расчета с наличными периферийными устройствами.

4. Ввод данных провести клавиатурой в диалоговом режиме. Проверять корректность данных и иметь возможность их корректировать.

Программный комплекс "АУСТЕНИТ-ТЕСТ", построенный по этим требованиям, состоит из 10 модулей (сегментов) и 6 файлов (банк) постоянной и переменной информации. ПК "АУСТЕНИТ-ТЕСТ" поддерживает большое число файлов, в которых сохраняются результаты расчетов, их входные данные и выходные макеты документации. Однажды рассчитанный технологический вариант сварки в режиме работы PROJECT IND (индивидуальный) сохраняется и может быть вызван режимом работы PROJECT TIP (типизированный) из памяти ЭВМ. Результаты расчетов оформляются в технологические карты контроля через печатающее устройство, а при наличии двухкоординатного графопостроителя возможно сделать чертеж зоны УЗ контроля.

Варианты технологии УЗ АСШ были разработаны для заводов "Химмаш" в г.Хасково и "Котлостроительного завода" в г. Софии для толщины 8, 10 и 16 мм сталь I2X18N10T, способ сварки - электродуговая, автоматическая под флюсом электродами типа СВ 06X19N1T, флюс АН26С и для толщин 12 и 16 мм сталь I2X18N10T, способ сварки ручная электродуговая, электродом Е 46 тип "Вежен".

Результаты расчета технологии УЗ подтверждаются экспериментальными данными и получены исследователями путем продолжительных экспериментов.

Апробирования разработанной комплексной модели технологии УЗ АСШ проводились с использованием акустических систем раз-

дельно-совмещенного симметричного типа, изготовленных по предложенной методике в МГТУ им. Н.Э.Баумана. Исследовательский вариант программного комплекса "АУСТЕНИТ-ТЕСТ" передан для использования в научно-исследовательской работе лабораторий неразрушающего контроля в МГТУ им. Н.Э.Баумана на кафедру "Машины и автоматизация сварочных процессов" и в ВМЭИ им. В.И.Ленина на кафедру "Металловедение и технология металлов" (НРБ) и включен в результаты работы по теме 39 КП НТС СЭВ "Неразрушающие методы контроля сварных соединений".

Разработанные программы позволяют существенно ускорить исследование и конструкторско-технологические работы, уменьшить их стоимость, сократить сроки между проектированием и внедрением.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Анализ качества сварных соединений из аустенитной стали показывает, что для широкого диапазона таких соединений доля пор и неметаллических включений, средний размер которых в 1,2... 1,5 раза превышает допустимые значения, составляет 64 %, а плоскостных дефектов, которые недопустимы независимо от размера - 20 %.

2. На основе анализа накопленных экспериментальных результатов ультразвукового контроля (УЗК) аустенитных сварных швов (АСШ) сформулированы принцип и система оценок различных подходов к решению данной проблемы, что позволило перейти к комплексной расчетной оценке параметров УЗК и их оптимизации по двухкритериальной системе.

3. Создана и расчетно-экспериментальным путем подтверждена общая комплексная модель технологии ультразвуковой дефектоскопии аустенитных швов, в которой в отличие от имеющихся подходов установлена единая расчетная взаимосвязь между схемой кристаллизации сварного шва и закономерностями прохождения ультразвуковых волн через данный шов.

4. Сформулирована и обоснована обобщенная акусто-сварочная модель сварного соединения, позволяющая учитывать технологический процесс сварки, геометрию и материал соединения при расчете параметров акустических систем.

5. Разработан алгоритм и на его основе программный комплекс "АУСТЕНИТ-ТЕСТ", который реализует комплексную модель и может быть использован в качестве САПР технологического про-

цессе неразрушающего контроля. Вывод результатов осуществлен в форме, удобной для использования технологами неразрушающего контроля, в виде технологических карт УЗК.

6. Получены инженерные номограммы выбора оптимальных параметров раздельно-совмещенных акустических систем с учетом особенностей контролируемого объекта.

7. "Инженерный" вариант программного комплекса "АУСТЕНИТ-ТЕСТ", реализованный в виде технологических карт УЗК и разработанных преобразователей прошел апробацию на заводе "Химмаш" в городе Хасково и на котлостроительном заводе в городе Софии.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Боев В.Д., Алешин Н.П., Волкова Н.Н. Относно избор на параметри за ултразвуков контрол на заваръчни шевове от аустенитна стомана чрез използване на някои методи на компютърното моделиране на характеристиките на шева и технологията на заваряването (на болг.яз.)// Лабораторен контрол на качеството '89: Тез.докл. V-й Национальной научно-техн.конф.-Варна, 1989.-II с.

2. Боев В.Д., Алешин Н.П., Волкова Н.Н. Компьютерное моделирование процессов выбора и расчета параметров ультразвукового контроля аустенитных сварных швов Тез.докл. II-й Научной конференции болгарских аспирантов в СССР. - Москва, 1989.- I7 с.

3. Боев В.Д., Алешин Н.П., Волкова Н.Н., Андреев П.Г. Относно избор на параметри за ултразвуков контрол на заварени съединения от аустенитна стомана с отчитане на схемата на кристализации на шева (на болг.языке)// Тез.докл. Научной сесии ВМЭИ им.В.И.Ленина 89. - София, 1989. - 9 с.

4. Алешин Н.П., Волкова Н.Н., Боев В.Д. Анализ акустических моделей распространения ультразвуковых волн в металле сварных швов из аустенитных сталей// Дефектоскопия 89: Тез.докл. VI Национальной научно-техн.конф. с международным участием. - Пловдив, 1989. - 6 с.

5. Боев В.Д., Алешин Н.П., Волкова Н.Н. Компьютерен акустически модел на заварени съединения от аустенитна стомана и избор на параметри на ултразвуков контрол с отчитане на технологията на заваряване (на болг.языке)// Дефектоскопия 89: Тез.докл. VI Национальной научно-техн.конф. с международным участием. - Пловдив, 1989. - 8 с.

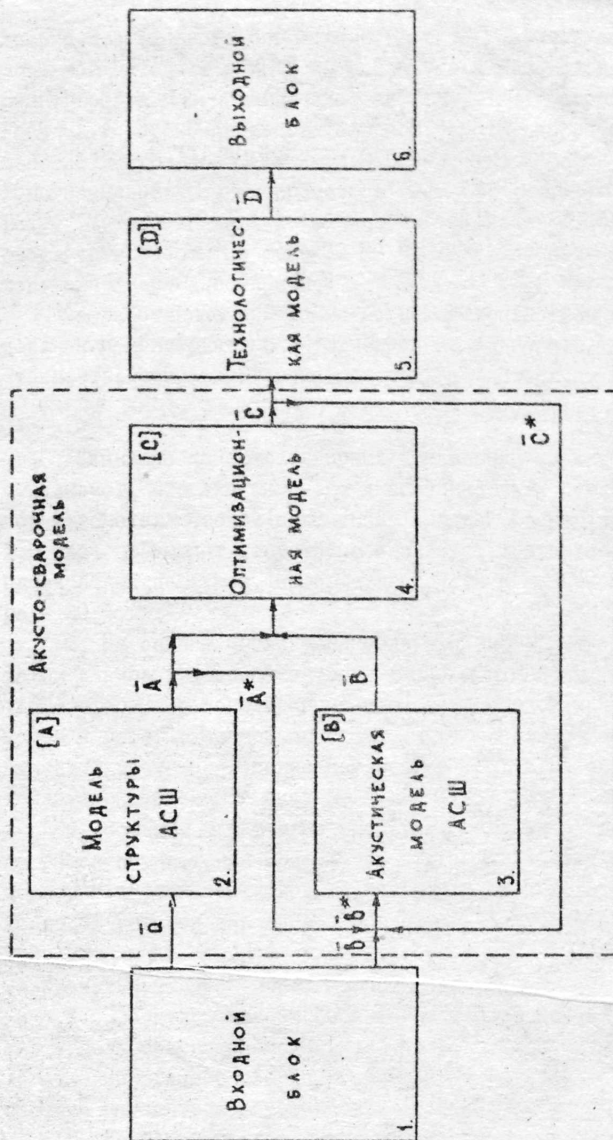


Рис. 1. Комплексная модель технологии ультразвуковой дефектоскопии
аустенитных сварных швов

