М 162038

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

канд. техн. наук В. Н. ВОЛЧЕНКО

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ РАЗРУШАЮЩЕГО И НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

(Специальность 05.167 — Машины и технология сварочного производства)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 1972

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище имени Н. Э. Баумана.

Научный консультант —
член-корр. АН СССР Г. А. Николаев.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Бельчук Г. А.,
доктор технических наук, профессор Ермолов И. Н.,
доктор технических наук, профессор Мельников Н. П.,
доктор технических наук, профессор Проников А. С.

Ведущее предприятие — указано в решении Ученого Совета.

Автореферат разослан «18» апреля 1972 г.

Защ 18. 1972 г.
на засе машинам и
техноло Баумана по
адресу:

С ди теке МВТУ
им. Н.

Ваш рах, заве-
ренные му адресу.

Учен

МВТУ
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

М162038

Л-88957 от 720. Тир. 200

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана

ВВЕДЕНИЕ. ЗАДАЧИ И ПЛАН РАБОТЫ.

Современная технология насчитывает сотни различных способов сварки. Сварочные процессы применяют в судостроении и электронных микросхемах, в космосе и под водой, при монтаже атомных реакторов и при лечении костных переломов. Качество сварных соединений проверяется выборочными разрушающими испытаниями на прочность и неразрушающими испытаниями с помощью радиационных, ультразвуковых, магнитографических и других методов контроля. Однако, развитие средств, методов и особенно совершенствование системы контроля пока отстает от развития сварочной технологии.

В Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 937 от 10 ноября 1970 г. "О повышении роли стандартов в улучшении качества выпускаемой продукции" отмечается, что улучшение качества выпускаемой продукции является одной из важнейших экономических и политических задач на современном этапе развития общественного производства. Считается необходимым обеспечить в ближайшие годы коренное изменение отношения к вопросам качества продукции во всех отраслях народного хозяйства страны. В этом же направлении ориентируют вести работы решения XXIУ съезда КПСС.

М162038

В условиях научно-технической революции и интенсивного роста производства задачей исключительной важности является правильный выбор критериев оценки качества продукции и эффективности технологических процессов. Однако, переход от традиционных "валовых" показателей эффективности к показателям, учитывающим трудоемкость, номенклатуру и качество продукции весьма затруднен. Указанные трудности имеются и в сварочном производстве. Достаточно отметить, что в общесоюзной форме отчетности (N1-НТ) для сварочных подразделений, показатели качества вообще отсутствуют.

Исследования, проводимые последние 10 лет на кафедре сварки МВТУ им. Баумана, показали, что качество сварных соединений колеблется и по отдельным отраслям промышленности и строительства может быть весьма низким. Например, доля "вырубленного" брака,

обнаруженного при дефектоскопии сварных соединений, по некоторым сварочно-монтажным подразделениям составляет 20-40%, а иногда и более. В заводских условиях доля брака достигает 10-25%. В то же время в оптимальные периоды работы брак может составлять 2-5% в заводских условиях и 5-10% на монтаже. В отдельных случаях, при тщательном контроле технологии, доля брака составляет и менее 1%.

Следует отметить, что нормы допустимости отдельных малозначительных дефектов недостаточно обоснованы, поэтому для одних и тех же типов сварных соединений эти нормы могут отличаться в несколько раз. Излишняя "жесткость" отдельных правил контроля приводит к необоснованной вырубке большого числа сварных швов с единичными порами или включениями. В отечественной промышленности до настоящего времени нет стандарта на оценку дефектности соединений, что весьма затрудняет сдачу сварных изделий. Мало обоснованы также объемы контроля, назначение которых обычно не связано с уровнем технологии. Отсутствуют унифицированные показатели качества, позволяющие сравнивать между собой результаты, полученные разными методами контроля, а также позволяющие учитывать дисперсию результатов испытаний.

Сведения о высоком уровне брака поступают к технологам-сварщикам через значительный промежуток времени, связанный с длительным оформлением и осуществлением операций контроля. Кроме того, в разных отраслях, существующие карты и журналы контроля, как правило, содержат несравнимые показатели качества. Контролеры обычно не имеют информации о технологии сварки, поэтому оперативное определение и устранение причин брака затруднено.

В работе установлено, что высокие цифры брака и неустойчивость уровня качества на производстве, как правило, не является результатом несовершенства технологии сварки или средств контроля. Низкое качество обычно является следствием несоблюдения технологии сварки, отсутствия системы с обратной оперативной связью от контроля к технологии, отсутствия единых критериев оценки дефектности сварных соединений и других, скорее организационных, чем технических недостатков. Однако, эти орга-

низационные недостатки не могут быть преодолены без разработки основ теории и практики управления качеством сварных соединений.

Известно, что за рубежом вопросам управления качеством продукции уделяется исключительно большое внимание. Во многих странах уже к 60-м годам применялись десятки стандартов по статистическим методам контроля и оценки качества продукции. Например, в ГДР существует единый стандарт на систему оценки качества и формы сбора информации о дефектах сварных соединений. Все сведения собираются ежемесячно и поступают в отраслевые институты и в центральный институт сварки /ЦИС-Галле/, где их анализируют и принимают соответствующие решения. В отечественном сварочном производстве собрать сведения о качестве пока трудно из-за пестроты в формах учета. Центр по сбору информации и методика ее анализа к началу настоящей работы также отсутствовали.

Указанные выше недостатки, связанные с существующей системой и методикой контроля приводят к значительным экономическим потерям. Причем эти недостатки характерны для различных видов сварки и разных видов контроля, как неразрушающего, так и разрушающего. Становится ясным вывод о том, что существующая система контроля качества сварных соединений должна быть наделена функцией активного управления качеством продукции. Это возможно посредством сочетания приемочных функций с так называемым статистическим регулированием технологических процессов. Решение такой задачи связано, в первую очередь, с разработкой критериев оценки качества.

В научном плане вопрос об оценке качества сварных соединений тесно соприкасается с тремя большими направлениями. Первое из них - это технология производства и прочность сварных конструкций, второе - дефектоскопия сварных соединений и третье - общая теория управления качеством продукции. По первому направлению диссертантом учтены результаты работ МВТУ им. Н.Э.Баумана /Г.А.Николаев, С.А.Куркин, В.А. Винокуров, И.И.Макаров и др./, работы ИЭС им. Е.О.Патона /Б.Е.Патон, В.И.Труфяков, В.А.Бабаев и др./, работы ЛКИ /Г.А.Бельчук, В.Д.Мацкевич и др./, а также исследования других организаций и авторов. По второму направлению, связанному с контролем качества сварных соединений, использованы результаты работ И.Н.Ермолова, Д.С.Шрайбера, А.К.Гурвича, Н.В.Химченко, Л.М.Яблоника, В.А.Цечаля /ультразвуковой контроль/; С.Т.Назарова, С.В.Румянцева, А.Н.Майорова, С.В.Чернобровова

И.Е.Нейфельда /радиационный контроль/; Д.М.Хусанова, И.И.Кифера /магнитография/ и др.

В настоящее время разработки по каждому из этих направлений ведутся как бы "по вертикали": для отдельных способов сварки, видов соединений и конструкций, марок материалов, методов контроля и т.п. В реферируемом исследовании оценку качества соединений предложено вести по единой системе, независимо от вариантов технологии сварки и контроля, т.е. как бы "по горизонтали". Поэтому нами использованы статистические методы управления качеством, развитые в отечественных работах (третьего направления) по теории оценки качества продукции и надежности изделий /работы В.В.Болотина, Б.В.Гнеденко, И.В.Дунина-Барковского, А.С.Проникова, Я.Б.Шора и др./, а также переводные зарубежные работы Д.Коудена, Б.Хенсена, Э.Шиндовского и др.

В сварочном производстве методы управления качеством продукции пока не нашли нужного применения. Их разработка является основной целью диссертации. Исследования, проведенные под руководством диссертанта впервые в МВТУ им. Баумана /Б.Г.Маслов, Н.П.Алешин, А.К.Вощанов и др./ и в ряде других организаций /В.Ф. Давиденко, К.Т.Леньшин, Л.И.Кузьмина, Б.Ф.Демидов и др./ показали, что такие работы перспективны и связаны со значительным экономическим эффектом.

Реферируемая работа состоит из четырех частей, в которых решаются основные теоретические и практические задачи, направленные на создание и применение новой системы управления качеством в сварочном производстве.

I-я часть диссертации посвящена анализу существующих показателей и систем оценки качества и разработке предлагаемых схем-моделей количественной оценки качества сварных соединений.

Во II-й части разработаны унифицированные вероятностные показатели и методики оценки качества на основании разрушающих испытаний сварных соединений.

В III-й части дается разработка унифицированных вероятностных оценок дефектности сварных соединений. Дается методика обоснования норм допустимой дефектности, норм объемов контроля, методика учета и анализа качества сварки на основании неразрушающего контроля соединений.

IУ-я часть посвящена разработке интегральных показателей качества, созданию и экономическому обоснованию рациональной организации контроля. Даются проекты нормативных документов, необходимых для управления качеством в сварочном производстве.

Диссертация содержит 357 страниц, в том числе 77 таблиц, I57 илл. и библ. 208 наименований.

Часть I. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА И КОНТРОЛЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.

I. Разработка показателей качества при разрушающем и неразрушающем контроле сварных соединений.

Работам, относящимся непосредственно к оценке и контролю качества соединений, предшествовали исследования по оценке эффективности различных вариантов технологии сварки. Анализ особенностей различных технологических процессов сварки, анализ надежности сварочного оборудования и другие исследования позволили выявить главные факторы, влияющие на качество сварных соединений. Эти факторы, сгруппированы в два класса - технологический и эксплуатационно-конструктивный. Установлено, что в статистическом плане они могут быть случайными или закономерными /систематическими/.

Случайные "факторы качества" могут приводить к появлению случайных дефектов сварных соединений. В Ш-й части работы показано, что при устойчивой технологии поток случайных дефектов стабилен и может быть описан статистическими распределениями. Однако, существующие системы классификации дефектов, отраженные, например, в документах МИСа *IIS/IIW* 340-69; 369-7I и рекомендациях другихорганизаций не содержат статистических показателей и четких признаков оценки дефектности, а опираются только на характеристики видов и размеров дефектов.

Для возможности количественной оценки качества по результатам неразрушающего контроля, в диссертации разработана система признаков и показателей дефектности сварных соединений. Эти показатели разделены на четыре группы: геометрические, статистические, технологические и конструктивно-эксплуатационные. Предлагаемая система позволяет учесть как детерминированные технологические характеристики каждого отдельного дефекта, так и

обобщенные показатели уровня дефектности. Благодаря этому удалось подготовить материалы-рекомендации к созданию унифицированной методики нормирования дефектов /см. части 3 и 4/.

Изучение отечественных и зарубежных систем оценки качества сварных соединений и результаты исследований, проводимых на кафедре сварки МВТУ, позволили разработать классификацию и дать особенности применения разрушающих /прочностных/ и неразрушающих испытаний сварных соединений. Установлены сравнимые характеристики чувствительности, областей применения и информационных особенностей основных методов дефектоскопии сварных соединений.

На основе указанной выше систематизации объектов наблюдения /дефектов/ и методов их обнаружения в работе намечены пути применения математико-статистических методов для контроля и оценки качества сварных соединений. Для этой цели разработана общая вероятностная схема-модель формирования качества /надежности/ сварных соединений, в структуре которой физически обоснованы понятия производственно-технологической потери качества и ее ступеней-компонентов - технологической и производственной потери. Введение этих понятий, инвариантных по отношению к любым методам испытаний, позволяет в дальнейшем установить единые критерии качества соединений по отношению к основному материалу.

Технологическая потеря $\Delta_т$ - соответствует изменению свойств материала при сварке, производственная потеря $\Delta_п$ - влиянию сварочных дефектов, а производственно-технологическая $\Delta_{пт}$ - суммарному воздействию обоих факторов. В большинстве практических приложений преобладает одна из ступеней: либо $\Delta_т$, либо $\Delta_п$. Поэтому по разрушающим испытаниям непосредственно может быть определена технологическая потеря $\Delta_т \approx \Delta_{пт}$, а по результатам дефектоскопии /с дополнительным анализом влияния дефектов/ производственная потеря $\Delta_п \approx \Delta_{пт}$.

Использование указанной модели позволяет для широкого круга сварных соединений общего назначения вести оценку и контроль потенциальной производственно-технологической надежности взамен сложных, а иногда вообще не выполнимых испытаний и расчетов эксплуатационной надежности сварных изделий.

В развитие общей модели разработана частная вероятностная схема-модель и методика оценки производственной потери

качества по результатам дефектоскопии сварных соединений. Согласно этой схеме, вероятность $\varphi_п$ потери качества /надежности/ соединения ниже заданного уровня, при наличии дефектности данного вида и размера x, определяется как произведение вероятностей: $\varphi_р(x)$ - вероятности наличия реальных дефектов и $\varphi_в(x)$ - вероятности их влияния на потерю работоспособности соединений. Таким образом

$$\varphi_п(x) = \varphi_р(x) \cdot \varphi_в(x) \quad \text{/см. Рис 2/}$$

Поскольку реальные дефекты выявляют с помощью средств неразрушающего контроля, то для вероятности $\varphi_0(x)$ обнаружения дефектов имеет место связь

$$\varphi_0(x) = \varphi_д(x) \cdot \varphi_р(x)$$

где $\varphi_д$ - достоверность контроля /выявляемость дефектов/. Эта модель послужила основой к разработке теоретической схемы нормирования допустимой дефектности сварных соединений. Глава I-я завершается разработкой показателей качества и надежности сварных соединений, используемых далее во всех главах.

2. Задачи и возможности применения статистических методов для управления качеством сварных соединений.

На основе анализа общей методики управления качеством показана возможность использования ее при контроле сварных соединений. Рациональное применение стандартов на оценку качества и специальных форм для карт контроля /предлагаемых далее в частях III и IУ/ позволяет обеспечить обратные связи от контроля к технологии по трем каналам - техническому, экономическому и психологическому. Функциональность контроля дает возможность выявить причины дефектов и своевременно устранить их.

С учетом разработанных выше моделей формирования качества, в гл. II сформулированы основные задачи статистического управления качеством сварных соединений. Методика и основные пути решения этих задач изложены в последующих частях диссертации. В главе II даются также элементы прикладной математической статистики и особенности применения их при контроле сварных соединений. Даны примеры использования вероятностных бумаг, контрольных карт, особенностей выборочного контроля по качественному и количественному признаку. Приведены основные законы распределения случайных величин, а также дано физическое обоснование использования этих законов в работе /см. ниже табл. I/.

Таким образом I-я часть работы позволила наметить методику дальнейших исследований и выбрать математический аппарат для обработки и анализа результатов.

Часть П. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ОЦЕНОК КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ РАЗРУШАЮЩИХ ИСПЫТАНИЯХ

3. Разработка методики вероятностной оценки и контроля сварных соединений по результатам разрушающих испытаний.

Развитие современного сварочного производства связано с появлением новых методов сварки, новых свариваемых материалов и новых методов разрушающих испытаний. Поэтому для выбора унифицированного критерия качества первоначально был проведен анализ существующих в настоящее время детерминированных и вероятностных систем оценки, качества, несущей способности и коэффициентов запаса сварных соединений. Рассмотрены известные методики расчетов по допускаемым напряжениям и по предельным состояниям. Проанализированы особенности и примеры применения вероятностных критериев неразрушимости. Эти исследования показали, что вероятностный критерий оценки качества сварных соединений следует выбирать, исходя из условия равнонадежности соединения и основного материала. Использование принципа равнонадежности позволяет развить заложенные ранее в работах Г.А. Николаева по вопросам прочности идеи применительно к контролю качества соединений.

В существующей практике прочность сварного соединения по отношению к основному металлу оценивают некоторым коэффициентом ослабления - Q . Для стальных стыковых соединений, при статической растягивающей нагрузке, коэффициент Q равен I,0 или 0,9, причем I,0 соответствует более высокому уровню технологии. Известно, что показатели качества металла из-за его неоднородности являются случайными величинами, распределенными обычно по закону, близкому к нормальному. В наших исследованиях установлено, что во многих случаях качество сварного соединения также может быть принято как нормально (N) распределенная величина. Однако, методика учета этих распределений, также как и методика выбора или назначения коэффициентов Q , до проведения настоящих исследований отсутствовала.

Введенный в работе статистический показатель качества Q_γ с заданной вероятностью γ характеризует относительную вели-

чину изучаемого параметра $X = W$ в сравнении с исходным параметром $Y = R$. Здесь буквами W и R обозначено качество /прочность/ соответственно сварного соединения и основного материала.

В общем случае, для произвольных распределений величин R и W, показатель Q_γ выражаем как отношение W_γ / R_γ, где W_γ и R_γ – гамма-процентные характеристики W и R, то есть значения качества, отвечающие вероятности γ реализации его значений. Для N -распределения величин R и W предложены формулы:

$$Q_\gamma = \frac{\bar{W} - z_\gamma S_W}{\bar{R} - z_\gamma S_R} \quad (1) \qquad \text{или} \quad Q_\gamma = Q_{\gamma 50} \frac{1 - z_\gamma V_W}{1 - z_\gamma V_R} \quad (2)$$

где $\bar{W}, \bar{R}$ – средние арифметические значения; S_W, S_R – средние квадратические отклонения; z_γ – квантили N -распределения; $V = \frac{S_W}{\bar{W}}; V_R = \frac{S_R}{\bar{R}}$ – коэффициенты изменчивости W и R.

$Q_{\gamma=50} = Q_{50} = \frac{\bar{W}}{\bar{R}}$ – величина Q_γ, рассчитанная по средним значениям /$\bar{W}, \bar{R}$/ и отвечающая $\gamma = 50\%$.

Формулы /1/ и /2/ выведены из условия:

$$Вер\{W > W_\gamma\} = Вер\{R > R_\gamma\} = \gamma \qquad /3/$$

или в интегральной форме: $$\int_{W_\gamma}^{\infty} f(w)dw = \int_{R_\gamma}^{\infty} f(R)dR \qquad /4/$$

где $f(w)$ и $f(R)$ – плотности распределения W и R. Таким образом W_γ и R_γ соответствуют равновеликим площадям под кривыми распределений $f(w)$ и $f(R)$ (Рис. 1)

Выбор вероятности γ или z_γ при расчетах Q_γ рекомендовано производить, исходя из заданной /по ГОСТ или ТУ/ для основного металла величины $R_\gamma = R_{гост}$. В связи с этим в работе, с участием В.В. Касаткина, были исследованы статистические характеристики прочности ряда свариваемых сталей. Установлены важные для практики характеристики средних значений $\bar{R}$ и дисперсии σ_R^2. Показано также, что вероятности γ_R (и квантили $z_{\gamma R}$), соответствующие $R_{гост}$ для разных марок сталей, весьма различаются / от $z_\gamma = 1{,}65$-3 и более.

Используя далее выражение /3/ и нормальную функцию распределения $$\varphi^* = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{z} e^{-\frac{x^2}{2}} dx,$$

имеющуюся в таблицах, получаем, заменяя в /3/ $[1 - \varphi^*(z)] = \varphi^*(-z)$:

$$\varphi^*\left(\frac{\bar{W} - W_\gamma}{S_W}\right) = \varphi^*\left(\frac{\bar{R} - R_\gamma}{S_R}\right) \quad (5) \qquad \text{или} \quad \varphi^*(z_{\gamma W}) = \varphi^*(z_{\gamma R})$$

Переходя к квантилям, имеем:

$\tilde{W} - W_\gamma = \vartheta_W Z_\gamma$ /6/ $\qquad \tilde{R} - R_\gamma = \vartheta_R Z_\gamma$ /7/

Величину Z_γ определяем из /7/, где $\tilde{R}$ и ϑ_R находим по кривой распределения $\varphi(R)$, а R_γ принимаем равным R гост. Затем найденные Z_γ подставляем в /6/ и /I/, откуда определяем W_γ и Q_γ.

Если стандартные нормативные значения R_γ для основного металла неизвестны, то вероятность γ может быть назначена, исходя из желаемой точности получения оценок Q_γ. При этом практически, например, могут быть приняты значения

γ % = 50;84;90;95;97,7;99; 99,86;99,99% и др., что соответствует Z_γ = 0;I;I,3;I,65;2;2,33; 3; 3,8 и др.

Для обоснования γ в работе /см.приложение IУ/ исследована функциональная зависимость безразмерного параметра $\frac{Q_{50} - Q_\gamma}{Q_{50}}$ от величины γ /или Z_γ/. Такая зависимость имеет место при расчете $Q_\gamma = Q_\gamma^{ГЕН}$ - по генеральным характеристикам W и R то есть по математическим ожиданиям $M(w)$; $M(R)$ и дисперсиям $D(w)$; $D(R)$;

Формула /2/, в которую введен т.н. коэффициент относительной изменчивости $K_V = V_W / V_R$, после преобразований имеет вид:

$$\frac{Q_{50} - Q_\gamma}{Q_{50}} = \frac{Z_\gamma (K_V - 1)}{1/V_R - Z_\gamma} = \frac{\Delta Q}{Q_{50}} \quad /8/.$$

Ее анализ показывает, что при $1 < K_V \leq$ I,25, а $Z_\gamma = 2 \div 3$, ΔQ не превышает 5% от Q_{50}. Однако, при $K_V > 2$, ΔQ % уже может достигать 25% Q_{50} и более. Таким образом, если заранее установлено малое отличие дисперсий $D(w)$ и $D(R)$, то можно практически использовать Q_γ при любых Z_γ от 0 до 3.

Значения $Q_\gamma = Q_\gamma^{ГЕН}$ являются не случайными, а детерминированными величинами. В работе их рекомендовано использовать как нормативные значения при расчетах прочности и приемочном контроле качества сварных соединений. Однако, для статистического регулирования технологических процессов, можно определять $Q_\gamma^* = Q_\gamma^{выб}$ по выборочным характеристикам W и R. Для объемов выборки $n <$ I2 предложена приближенная формула

$$Q_\gamma^* = \frac{\tilde{w} - \omega_w}{\tilde{R} - \omega_R} \quad /9/,$$

в которой используются медианы $\tilde{w}$; $\tilde{R}$ и размахи ω_w; ω_R значений W и R; принято $Z_\gamma = d_n$, а $n_w = n_R = n$, где d_n - коэффициент, зависящий

от объема выборки n ($d_n = 1{,}7 \div 3$).

Поскольку выборочные значения W, R, S_W, S_R зависят от n, то Q^*_γ также будет случайной величиной. Анализ показал, что стоящее в числителе и знаменателе Q^*_γ выражение вида $x_\gamma = \bar{x} - z_\gamma S_x$, при N - распределениях W и R также близко к N -закону, хотя S_x имеет, как известно, χ^2 -квадрат распределение. Однако, дробь Q^*_γ, даже при N - законах W_γ и R_γ, оказалась распределенной по весьма сложному закону, являющемуся композицией распределения Коши и бета-распределений.

Поскольку, практические расчеты распределений Q^*_γ оказались неприемлемыми, предложена приближенная оценка доверительных границ Q^*_γ. Согласно этой методике из выражения /I/ имеем:

$$Q_{\gamma(н)} = \frac{W_{\gamma\,min}}{R_{\gamma\,max}} = \frac{\bar{W}_{(н)} - z_\gamma S_{W(в)}}{\bar{R}_{(в)} - z_\gamma S_{R(н)}}, \qquad Q_{\gamma(в)} = \frac{W_{\gamma\,max}}{R_{\gamma\,min}} = \frac{\bar{W}_{(в)} - z_\gamma S_{W(н)}}{\bar{R}_{(н)} - z_\gamma S_{R(в)}} \quad (10).$$

Индексами (н) и (в) здесь обозначены нижние и верхние границы для Q_γ, а также для средних арифметических значений $\bar{x}$ ($\bar{W}$ или $\bar{R}$), которые являются состоятельными, несмещенными и эффективными оценками математических ожиданий $M(X)$.

Эмпирические дисперсии $\tilde{D} = S^2$, в свою очередь, являются оценками генеральной дисперсии $D(X)$. Доверительные границы определяем по имеющимся у нас данным прочностных испытаний образцов основного металла R и сварных соединений W.

Формулы для доверительного интервала $\gamma_\beta(a-\varepsilon; a+\varepsilon)$, "по средним"-$\gamma_\beta(\bar{x})$ и "по дисперсиям"-$\gamma_\beta(\tilde{D})$ имеют вид:

$$\gamma_\beta(\bar{x}) = (\bar{x} - z_\beta \sigma_{\bar{x}};\ \bar{x} + z_\beta \sigma_{\bar{x}}) \quad (11) \text{ и } \gamma_\beta(\tilde{D}) = (\tilde{D} - z_\beta \sigma_{\tilde{D}};\ \tilde{D} + z_\beta \sigma_{\tilde{D}}) \quad (12),$$

где z_β - квантили нормального закона распределения для доверительной вероятности β. Точность /среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\bar{x}}$ / оценки $\bar{x}$ и точность $\sigma_{\tilde{D}}$ оценки дисперсии $\tilde{D} = S^2$ находим на основании формул $\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\tilde{D}/n}$ ... (13) и $\sigma_{\tilde{D}} = \sqrt{\frac{2}{n-1}}\,\tilde{D}$ ... (14).

Ведутся расчеты доверительных границ для показателя Q^*_γ при разном числе испытаний n и $\beta = 0{,}90$. Тогда диапазон практически возможных значений ошибок, возникающих при замене $M(X)$ на $\bar{x}$ и $D(X)$ на $\tilde{D}$, будет равен $\pm\varepsilon$, а бо́льшие по абсолютной величине ошибки будут появляться только с малой вероятностью $\alpha = 1 - \beta = 0{,}1$.

4. Применение вероятностных оценок при разрушающих испытаниях.

В соответствии с предложенной в главе Ш методикой и формулами было исследовано более десяти тысяч сварных образцов и соединений. По результатам специально поставленных автором на базе кафедры сварки МВТУ испытаний, а также по результатам производственного контроля сварных конструкций рассчитаны с использованием ЭВМ распределения значений $f(w), f(R)$ и величины показателя Q_γ. В расчетах участвовали Б.Г.Маслов, Н.Н.Савинов, В.С.Борисенко.

Широкая проверка методики подтвердила, что показатель Q_γ является универсальным практически при всех видах испытаний. Например, испытания на статическую прочность стыковых соединений нержавеющих и малоуглеродистых сталей, выполненных в среде аргона, под флюсом и вручную, показали, что значения $Q_\gamma(\sigma_в)$ во многих случаях могут быть приняты равными единице, то есть соединения равнонадежны основному металлу. Это относится также и к большому числу соединений, для которых сейчас принято $Q = 0,9$.

Проведенные в работе испытания тавровых соединений, а также результаты тщательного анализа значений Q_γ для угловых и нахлесточных швов показали, что существующий в настоящее время единый коэффициент ослабления, равный 0,65 для многих вариантов технологии и материалов может быть повышен до 0,8 - 0,9 и даже до $Q = I$. Кроме того, в работе дана методика и примеры приближенной оценки показателей Q_γ непосредственно по результатам квалификационных испытаний сварщиков, что позволяет заменить специальные исследования контрольных образцов-свидетелей статистическим анализом однородности выборок "шов-зона-металл". Этими испытаниями также подтверждено, что нормативные значения Q_γ в ряде случаев могут быть увеличены.

С другой стороны, статистический анализ данных испытаний сварных образцов в "особых" условиях - на хрупкую, усталостную и коррозионную прочность показал весьма низкие значения показателей Q_γ, составляющие часто менее 0,5. Здесь использованы результаты исследований, выполненных автором в руководимой им группе и в группе Н.Л.Каганова, а также результаты исследований, выполненных в МВТУ В.А.Винокуровым, С.А.Куркиным, О.И.Стекловым и их аспирантами.

Для всех видов "особых" испытаний характерен разброс с коэффициентами вариации V_w, достигающими 30–100%, в то время как при статике V_w обычно менее 0,I. Установлено также, что точность ε и надежность p выборочных оценок в подобных испытаниях при выборках n = 3–5образцов, как правило, совершенно недостаточны. Например, для получения требуемой точности ε порядка I0–I5% от среднего значения, при надежности p 90%, необходима выборка n = 9–II образцов. Это обосновано указанной выше формулой, связывающей генеральную дисперсию σ с дисперсией среднего $\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma^2/n$, при выборке n: $\sigma_{\bar{x}}^2 = \sigma^2/n$, откуда далее получено $n = z_p^2 \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2}$.

Подготовлено /впервые в сварочной технике/ обоснование норм объемов разрушающих испытаний, включенное в проект стандарта на сварные стыки арматуры. Вместо 3Δ процентного, независящего от качества сварки, отбора образцов, дана методика, учитывающая браковочный q_m и приемлемый q_0 уровни качества, риски потребителя β и поставщика α, а также позволяющая корректировать объем выборки n и вести статистическое регулирование качества в зависимости от размаха ω_w значений прочности соединений. На основании статистических данных II-ти заводов определены генеральные характеристики $\bar{R}\,\sigma_R$ и $\bar{w}\,\sigma_w$ и, по предложенной выше методике учета равнонадежности, определен $W_н$ – нормативный уровень: $W_н = \bar{W} - \sigma_w \frac{\bar{R} - R_н}{\sigma_R}$, где $R_н = \sigma_{в\ гост}$.

Для сварки втавр, под флюсом стали класса АШ имеем по исходной статистике $\bar{W} = \bar{X} = 64$; $\bar{R} = 68$; $\sigma_w = \sigma = 4$; $\sigma_R = 2{,}6$; $R_н = 60$.

Из расчета получаем: $\gamma = 99{,}86$; $z_\gamma = 3$; $q_0 = 1 - \gamma = 0{,}0014$; $W_н = 52$; $x_c = \bar{X} = 64$; $x_m = x_{min} = 58$; $q_m = \Phi^*\left(\frac{x_н - x_m}{\sigma}\right) = 0{,}067$; $\alpha = \beta = 0{,}1$; $z_{1-\alpha} = z_{1-\beta} = 1{,}28$; $\delta = \frac{x_m - x_0}{\sigma} = 1{,}5$.

Далее определены объем выборки n и приемочное число $x_0 < C < x_m$: $\sqrt{n} = \left(\frac{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}}{x_m - x_0}\right)\sigma = \frac{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}}{\delta}$ откуда $n = 4$ шт. $C = x_m - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} z_{1-\beta} = 61$ кг/мм^2

Оперативная характеристика плана имеет вид

$$P(\bar{x}) = Вер(\bar{x} \le C) = \Phi^*\left(\frac{C - \bar{x}}{\sigma/\sqrt{n}}\right), \text{ причем } \alpha = 1 - P(x_0);\ \beta = P(x_m).$$

Новый стандарт позволяет уменьшить долю n/N при больших N, что сэкономит металл и средства.

Подготовлено также нормирование показателя Q_γ. Предлагается пять классов равнонадежности, в которых пределы значений Q_γ составляют: I кл.–I,0–0,9; II кл.–0,9–0,8; III кл.–0,8–0,7; IУ кл.–0,7–0,6; У кл.–менее 0,6. Для проекта стандарта собраны и обработаны данные по R, W, W_γ, Q_γ для основных вариантов технологии.

Часть Ш. РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ОЦЕНОК И ОБОСНОВАНИЕ НОРМ ДЕФЕКТНОСТИ ПРИ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.

5. Разработка методики анализа дефектности сварных соединений.

Поскольку статистическое управление качеством возможно только при условии рациональной системы сбора и обработки информации, то на первом этапе исследований были разработаны унифицированные образцы документации: обобщенные формы учета качества сварки ФУ-I, отраслевые формы "контроль-учет" КУ-I, КУ-2 и др. Эти формы отличаются от ранее принятых на производстве единой системой показателей дефектности и балльной оценки качества, наличием технологической информации, позволяющей анализировать причины дефектов, необходимой для машинной обработки системой кодирования параметров сварки-контроля и т.п.

Разработанная в диссертации методика обработки статистических данных по качеству соединений с использованием статистических карт, штриховых диаграмм, графиков и указанной выше документации позволила собрать и проанализировать данные о качестве сварки в разных отраслях, а также обосновать возможность управления качеством. Одновременно были установлены основные понятия и термины, относящиеся к управлению качеством продукции сварочного производства. При этом учтены современные нормативные документы Госстандарта СССР. Однако, специфика сварочного производства обусловила необходимость разработки и создания новых нормативных и методических материалов, отличных от применяемых в общем машиностроении (см. т. IV)

Основной единицей продукции сварочного производства был принят контролируемый участок /к.у./ шва или контролируемый стык. Совокупность контролируемых элементов /участков или стыков/ сваренных при устойчивой технологии, рассматривается как однородная статистическая совокупность объектов наблюдения. Каждому элементу может соответствовать при контроле дефектограмма, причем возможен как сплошной, так и выборочный контроль.

На нескольких десятках предприятий разных отраслей промышленности и строительства сотрудниками МВТУ, совместно с работниками производства и головных НИИ, были организованы и проведены по предлагаемой методике сбор, обработка и анализ информации о качестве сварки. Исследованы соединения, выполненные автоматической

дуговой сваркой под флюсом /АДФ/, в среде аргона вольфрамовым электродом /АДВ/, ручной дуговой сваркой /РД/ и другими способами, в конструкциях из малоуглеродистых, низколегированных, нержавеющих сталей и алюминиевых сплавов. По результатам радиационного /рентгеновского и гамма-контроля/ и ультразвуковой дефектоскопии проведены альтернативная и количественная оценка более ста тысяч дефектограмм.

Соответствие дефектограмм нормам существующих правил контроля /ПК/ оценивалось по альтернативному признаку "да-нет", то есть, "годен-негоден". Затем вычислялась доля брака Б или доля дефектных элементов D, как отношение числа бракованных $n_б$ или дефектных n_D элементов к общему числу $n_к$ проконтролированных: $Б = n_б/n_к$ (15); $D = n_D/n_к$ (16).

М162038

Динамика доли брака Б=р оценивалась с помощью контрольных карт типа "р" или "np" для качественных признаков контроля. Границы регулирования /ГР/ определялись как $ГР_{в,н} = \bar{P} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{n}}$ /17/ при биномиальном распределении доли брака "р", или как $ГР_{в,н} = \bar{C} \pm 3\sqrt{\bar{C}}$ /18/, где c=np, - при Пуассоновском распределении.

Результаты расчетов средней доли брака Б и границ ее регулирования, для сварных стыковых швов, при толщине металла 8-I5 мм, по заводам некоторых отраслей даны в таблице ($n > 100$):

Условия сварки	$\bar{Б}$%	ВГР-НГР%	Примечания
отрасль №I; сталь; сварка АДФ, I969г.	8	I3-3	$Б=Б_с$ - доля брака "по снимкам" забракованных участков.
отрасль №2; сталь; сварка РД, I97Iг.	I6	27-5	
отрасль №3; АМг-6; сварка АДВ, I970г.	0,08	0,26-0	$Б=Б_у$ - по удаленным участкам

Из таблицы видно, что $\bar{Б}$ и $\Delta Б$ могут быть весьма велики, особенно в строительстве /отрасль № 2/. Причем "выбросы" брака в отдельные периоды превышают 50-70%. Высокая доля брака является следствием отсутствия системы статистического регулирования качества. Введение такой системы позволило оперативно выявить причины брака и уменьшить $\bar{Б}$ на ряде предприятий отрасли № 2 до 5-8%.

Однако, при существующей альтернативной оценке дефектограмм значительная часть информации о дефектах не учитывается. Поэтому достоверная оценка качества возможна только при больших выборках

МВТУ им. Н. Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

/ $n > 100$/, что понижает экономичность и оперативность контроля. Поэтому была тщательно исследована дефектность соединений по количественным признакам: размерам, числу, площади дефектов и др. Использовались карты типа "$\bar{x}/s$ " или " $\tilde{x}/R$ ", а также статистическая аппроксимация распределения дефектов /см.табл.I/.

Исходя из физических особенностей появления сварочных дефектов-включений /пор и шлаков/, распределение их по размерам должно отвечать экспоненциальному Е-закону. В соответствии с моделью, данной в I-й части работы, обнаруженные дефекты будут распределены по N - закону или W - закону Вейбулла, что связано с пониженной выявляемостью мелких дефектов. Число дефектов или дефектных элементов распределяются /при малой их доле/ по закону Пуассона.

Указанные выше теоретические предпосылки были широко подтверждены экспериментами: а/ по результатам вскрытия реальных дефектов при разрушающих испытаниях сварных соединений, б/ по анализу рентгеновских и гамма снимков, в/ по результатам ультразвукового контроля. Некоторые примеры расчета параметров распределений размеров дефектов и введенного ниже, в главе 6 унифицированного критерия дефектности даны в табл. 2. Расчеты велись с помощью вероятностных бумаг распределения Вейбулла, которые удобно тем, что при параметре формы $\gamma = I$, оно превращается в экспоненциальное. Соответствие эмпирических данных теоретическим распределениям проверялось критериями согласия /Пирсона и др./.

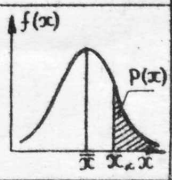
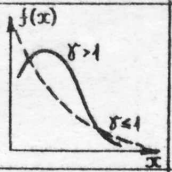
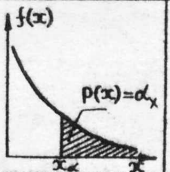
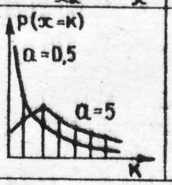
6. Обоснование норм допустимых дефектов и объемов неразрушающего контроля сварных соединений.

Разработка системы расчета обоснованных норм сварочных дефектов является важной задачей, поскольку от принятых норм зависит, с одной стороны, несущая способность сварных конструкций, а с другой стороны доля брака на производстве. До последнего времени эмпирически считалось, что нормы допустимых дефектов определяются только одним фактором - влиянием этих дефектов на работоспособность или прочность конструкций. Однако, это оказалось справедливым, главным образом, только для критических /по терминологии ГОСТ I7I02-7I/ дефектов, например, для трещин, которые обычно считают недопустимым дефектом. Изучение правил контроля в то же время показало, что нормы малозначительных дефектов/отдельных пор, шлаков, непроваров/ могут для одних и тех же типов соединений отличаться в несколько /иногда в десятки!/ раз. Причиной таких различий, с нашей точки

физические и статистические модели для анализа качества сварных соединений.

Таблица 1

Обозначения: $Вер(X<x)=F(x)=\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx$ $Вер(X>x)=P(x)=1-F(x)$;

Физические модели	Форма кривой $f(x)$	Основные статистические модели
Качество (прочность) основного металла $f(R)$ и соединения $f(w)$ Критерий неразрушимости		N -распределение (Гауссa) $f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$ $M_x \approx \bar{x}$ $D_x=\sigma^2$
Размеры обнаруженных дефектов $f(x)$ при коэффициенте выявляемости $K_в<1$ Время или длина бездефектной сварки		W -распределение Вейбулла $f(x)=\frac{\gamma}{\beta}x^{\gamma-1}\exp(-\frac{x^\gamma}{\beta})$ $M_x=B_m\beta^{\frac{1}{\gamma}}$ $P(x)=\exp(-\frac{x}{\beta})$ $\sqrt{D_x}=C_m\beta^{\frac{1}{\gamma}}$ Прим: возможны N -усеченное, N -логарифмическое, гамма--распределения и др.
Размеры $f_p(x)$ реальных дефектов Относительные площади дефектов $f_p(g)$ Междефектные длины $f(e)$		Экспоненциальное E-распределение $f(x)=\lambda e^{-\lambda x}$ $M_x=\frac{1}{\lambda}$ $P(x)=e^{-\lambda x}$ $D_x=\frac{1}{\lambda^2}$
Число D дефектных элементов в партии $P(D)$ Число дефектных элементов в выборках $P(d, n, C)$, где C - приемочное число		P-распределение Пуассона $P(K)=\frac{a^K}{K!}e^{-a}$ $M_x=a$ $a=nq$ $D_x=a$ Прим: возможны биномиальное и гипергеометрическое распределения.

Результаты расчета $f(x)$ и x_α.

Таблица 2

Материал толщина	Способ сварки, контроля, число участков.	Характеристики дефектов x		Параметры распределения Вейбулла γ	Параметры распределения Вейбулла β	$M(x)$	$\sigma(x)$	x_α при $\alpha_x=10\%$
Ст.4С, СХЛ $\delta=5\div6$мм	Рд, γ-графия $n_к=38$	a g	мм %	1,1 0,9	1,0 0,28	1,0 0,26	0,9 0,29	2,1 0,6
То же $\delta=6\div20$	АДФ; УЗК-контроль $n_к=400$	$\ell_{усл}$ m	мм шт	0,50 1,0	4,30 2,0	36,8 2,0	82,0 2,0	98 4,6
16ГС $\delta=10\div12$	АДФ; Р-графия $n_к=570$	a g	мм %	2,0 1,0	4,2 0,27	1,80 0,27	0,95 0,27	3,1 0,6
35ГС $\varnothing=16$мм	АДФ, Вскрытие $n_к=175$	ΔS	мм^2	1,0	15,0	15,0	15,0	34

зрения, является то, что до настоящего времени не было достаточно четкого представления о методике расчета этих норм.

В работе показано, что обоснование норм допустимости малозначительных дефектов следует связывать одновременно с двумя факторами: во-первых, с возможным влиянием дефектов на работоспособность соединений, а, во-вторых, с вероятностью появления этих дефектов при данном уровне технологии сварки.

Исходя из этого, разработана система, критерии и величины норм допустимых дефектов, направленные на решение комплексно двух задач: с одной стороны, обеспечения гарантированной вероятности для заданного уровня работоспособности соединения, а, с другой стороны, гарантированной вероятности отсутствия /при данной технологии/ дефектов недопустимого размера или вида.

Для решения первой задачи в нормах указывают размеры, природу /вид/, геометрию /тип/ дефектов и стремятся учесть конструктивно-эксплуатационные характеристики влияния на работоспособность соединения отдельных дефектов.

Вторая задача связана с предупредительным текущим контролем, для которого, согласно ГОСТ-у 15895-70, рекомендован термин - статистическое регулирование технологического процесса. Для решения второй задачи нет необходимости в детерминированной оценки каждого отдельного дефекта. Однако, в то же время, требуется интегральный показатель, учитывающий уровень дефектности при данной технологии.

Введенный в работе унифицированный критерий q -"дефектность" контролируемого элемента - учитывает одновременно величину, количество, виды и типы дефектов, путем их приведения к эквивалентной относительной площади /эквивалентной длине или другому аналогичному показателю/. Этот критерий принципиально пригоден как для радиационных, так и для ультразвуковых и магнитографических методов контроля.

Дефектность элемента определяется как $q = \frac{S}{S_p}$, где $S = \Sigma \Delta S$ -относительная суммарная площадь дефектов данного вида /или типа/ в расчетном сечении S_p соединения. При наличии разных видов или типов дефектов эквивалентная дефектность $q_э = \Sigma q_i r_i$ где (при $i=1$) $r_i = q_э / q_i$ - коэффициент приведения любых i-тых дефектов к эквивалентным. За эквивалент удобно принять дефектность элемента

имеющего только поры, тогда $\vartheta_э = \vartheta_п$, а для пор принимаем $r_п = I$.

Ниже показано, как коэффициенты приведения r_i можно определять из дефектологических исследований. Однако, пока r_i могут назначаться эмпирически, как это делается на практике /хотя и в неявной форме/.

Например, анализ различных ПК /СССР, ГДР, США и др./ показал, что в структуре норм "заложены" следующие примерные значения r_i : а/ единичные округлые поры - $r_{Aa} = I$; б/ цепочки, скопления пор, вытянутые поры - $r_{Aб}, r_{Ac} = 0{,}65\text{-}2$; в/ шлаки округлые - $r_{Ba} = 0{,}5\text{-}I{,}5$; г/ шлаки вытянутые $r_{Bб} = 0{,}65\text{-}2{,}3$; д/ несплавления по кромкам $r_C = 5\text{-}8$; е/ непровар в одностороннем шве $r_{Da} = 3\text{-}5$; ж/ непровар в двустороннем шве $r_{Dб} = 0{,}I5\text{-}2{,}7$. Обозначения даны по СЭВ.

Для дальнейшего решения указанных выше двух задач разработаны соответственно эксплуатационная и технологическая модели расчета норм: $\varphi_п < \varphi_{пн}$; $\varphi_р < \varphi_{рн}$ /рис.2 /. Модели подтверждены результатами серии испытаний тавровых соединений "стержень-пластина" на прочность и вскрытием дефектов.

Соответственно установлены две зависимости. Первая $B_{ер}(X > x) = P(x_д) = \exp(-\lambda x)$ - вероятность появления дефектов площадью большей, чем нормативная $x = x_д = x_н$. Она построена на основании опытной гистограммы, аппроксимированной экспонентой с плотностью вероятности

$$f_р(x) = \lambda e^{-\lambda x} = 0{,}07\, e^{-0{,}07 x}$$

Вторая зависимость - связь прочности $\sigma_в = y$ соединений с площадью дефектов $\Delta S = X$ /или ϑ/. Она выражена линейной регрессией вида $y = a - bX$, параметры которой вычислены с помощью ЭЦВМ на основании разработанного алгоритма.

За норму эксплуатационной допустимости дефектов принята вероятность $\varphi_п < \varphi_{пн}$ потери работоспособности ниже стандартного нормативного уровня $W_\gamma = W_н$. При так называемой критической площади $x_к$ дефекта $\varphi_{пк}$ составит:

$$\varphi_{пк} = \varphi_в \cdot \varphi_р = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 = [(1-\gamma)\cdot 0{,}5]\cdot[\lambda_{кн} \cdot D_\Sigma] \quad /I9/$$

Здесь принято: $P_1 = I - \gamma$,- что соответствует "хвосту" распределения $f(w)$ /или $f(R)$ при $Q_\gamma = I$/, ниже уровня W_γ; $P_2 = P_2(x_к) = \beta_{кн} = 0{,}5$, - что соответствует критическому размеру $x_к$ - дефекта, отвечающему максимуму энтропии $H(x)$ системы, когда состояния "влияния" и "невлияния" дефектов равновероятны, т.е. равны по I/2, что видно из условных распределений $f(y_2|x)$ и $f(x|y_2)$.

$P_з = P(x_д) = P(X > x_к)$ - см. выше; D_Σ - доля дефектности по всем возможным размерам дефектов x, причем для данной технологии $D_\Sigma = Const$.

Для одного из примеров имеем: регрессия $\sigma_в = 61 - 43\vartheta$; $\gamma = 0{,}02$ /$Z_\gamma = 2$/; $W_\gamma = 56$ кг/мм^2; $\vartheta_к = 0{,}1 = 10\%$, $\Delta S_к = 20$ мм^2. $P(x_д) = \exp/-0{,}07 \cdot 20/ = 0{,}25$; $D_\Sigma = 0{,}1 = Const$,

откуда $\varphi_{пк}$ - для критического дефекта будет

$Вер(W < W_\gamma) = \varphi_{пк} = 0{,}02 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}25 \cdot 0{,}1 = 2{,}5\ 10^{-4}$

Согласно второй, технологической модели, рассчитываем вероятность появления дефектов $\varphi_р$:

$$\varphi_р = P_з \cdot P_н = P(x_д) \cdot D_\Sigma \qquad /20/$$

или для примера $\varphi_р = 0{,}25 \cdot 0{,}1 = 2{,}5\%$, что значительно меньше обычно допустимой в данном производстве доли брака, то есть имеем $\varphi_р < \varphi_{рн}$.

При назначении норм следует в общем случае учитывать экономически оптимальный вариант, когда сумма технологических затрат /Т/ - на предотвращение дефектности и эксплуатационных /Э/- на ликвидацию ее последствий будет наименьшей. Однако, практически, к расчетам $/Т+Э/_{min}$ не всегда имеются данные, поэтому, принимая эксплуатационную модель, удобно использовать введенные в диссертации понятия запаса норм η. Запас по размеру $\eta_х$ есть отношение критического размера к нормативному, а запас по вероятности $\eta_в$ отношение критической потери работоспособности к нормативной:

$$\eta_х = x_к / x_н; \quad \eta_в = \varphi_{пк} / \varphi_{пн}$$

Например, при запасе $\eta_х = 2$; $x_н = 5\%$, $\Delta S_н = 8$ мм^2; $P(x_д) = \exp/-0{,}07 \cdot 8/ = 0{,}5$; доля брака Б = 5%.

В то же время $x_н$ при установленном из опыта $\vartheta_{ух} = Const$ отвечает примерно двухсигмовому отклонению $2\vartheta_{ух}$ от линии регрессии, поэтому $P_г = \beta_{хн} = 0{,}02$.

Получаем $\varphi_н = 2\ 10^{-5}$, а $\eta_в = \frac{2{,}5\ 10^{-4}}{2\ 10^{-5}} = 12$; $\frac{\eta_в}{\eta_х} = 6$.

Если по расчету нормы дефектов $x_н \ll x_к$, что отвечает $\eta_в > 50 \div 100$ или $\eta_х > 5 \div 10$, то эти нормы можно условно считать технологическими. Если $x_н$ и $x_к$ одного порядка, то нормы - эксплуатационные. В реферируемой работе вероятностные модели обоснования норм дефектов разработаны для статических нагрузок и пластичных материалов, однако, эти же модели могут быть с некоторыми коррективами применимы и для "особых" условий нагружения.

Результатом применения вероятностной модели явился не только показанный выше расчет норм дефектов, но также и обоснование чувствительности ультразвукового контроля, примененного взамен разрушающих испытаний. Была также изучена выявляемость дефектов ультразвуком. Это потребовало в свою очередь разработки специальных искателей и методики ультразвукового контроля, что подробно отражено в работе аспиранта Алешина Н.П. Научное значение этой части работы заключается в том, что просчитана вся теоретическая схема формирования качества соединений. Практическое - в большом экономическом и техническом эффекте внедрения ультразвукового контроля сварных закладных деталей железобетонных конструкций.

Известно, что в протяженных швах может встречаться на участке $l \cdot \delta = s_\rho$ некоторое количество дефектов m. В этом случае /в отличие от стыков закладных деталей/ критерий $q = \frac{4s}{\pi\rho}$, как браковочный признак не пригоден. Поэтому в диссертации было исследовано совместное распределение дефектов по размерам $a = X$ и числу $m = Y$

Установление корреляционных связей между размерами a и числом m дефектов позволило рассчитать так называемые поля дефектов, на которых нормативные значения площади $q = Const$ выражаются гиперболами вида $Y = Y_x = q\frac{4\rho}{\pi x^2}$, а связь "число-размер" регрессией вида $Y_x = a_3 - \beta X$. На основе полей дефектов впервые разработаны "трехмерные" контрольные карты "$m - a - q$", которые обеспечивают исчерпывающую информацию о вероятностях появления дефектов при заданном технологическом процессе.

Карты "$m - a - q$", применительно к швам (судокорпусным), были рассчитаны по результатам гаммаграфирования и ультразвукового контроля. Примеры полученных для разных способов сварки параметров связей и значения трехсигмовых границ $3\delta_{y_x}$ - по числу дефектов и $3\delta_X$ - по их размерам указаны в таблице:

Способ сварки	Толщина мм δ	Число участков с дефектами	Параметры регрессий $Y_з = a_з + b_з X$				
			$a_з$	$b_з$	$\bar{x} + 3\delta_x$	$\bar{y} + 3\delta_{yx}$	r_{xy}
РД	5-6 10-14	186 182	3,97 3,47	-0,40 -0,48	1,27+3,36 1,67+3,42	3,45+7,38 2,67+4,14	-0,18 -0,36
АДФ	12-18	138	2,57	-0,37	1,45+3,09	2,05+3,06	-0,35
РД	8-16	110	2,32	-0,42	1,54+3,36	2,32+4,47	-0,30

Из таблицы видно, что наиболее вероятным является появление дефектов размерами до 2 мм и числом 2-4 шт на участке Δl = 300 мм. Дефекты размерами более 4-5 мм и числом более 10-15 шт являются редкими событиями.

Эти результаты послужили основой для назначения норм допустимых дефектов по их числу, размерам и площадям /ч.IУ/, для прогнозирования ожидаемой доли брака при переходе от старых норм к новым и для осуществления статистического регулирования одновременно по трем параметрам: m, a, q.

На основе исследований гл. 5 и 6 разработан проект единой унифицированной системы оценки допустимой дефектности сварных соединений. Такая система обеспечивает единые требования к однотипным соединениям, выполненным на разных предприятиях. Система применима независимо от метода контроля и его функций - приемочных или предупредительных.

Исходя из этих двух функций введены, соответственно, два критерия оценки дефектов. Первый критерий - относительный размер дефекта, задаваемый для компактных дефектов в % к толщине δ свариваемого материала, а для протяженных - в % к длине Δl контрольного участка шва. Второй критерий - дефектность $q = \frac{S}{S_р}$; его введение облегчает унификацию требований к качеству, позволяет дать расчетное обоснование норм дефектов и рациональных моделей построения норм. В проекте эти модели приняты: по толщинам - $q = Const$ или $q = k \cdot \delta$, а по ступеням дефектности, от 1А до 5Б, в виде геометрической прогрессии с показателем 1,6 = $\sqrt[5]{10}$, что соответствует ряду предпочтительных чисел по ГОСТ 8032-56 /рис.3/.

Введение критерия "дефектности" не заменяет и не отменяет

имеющихся для разных методов дефектоскопии конкретных показателей, однако они должны быть регламентированы не в общем стандарте, а в отраслевых правилах контроля. Там же указывается методика перехода от результатов дефектоскопии к реальным размерам нормируемых дефектов и коэффициенты приведения различных дефектов к уровню дефектности. Проходная ступень дефектности устанавливается для определенной категории соединений в ПК. Значения дефектности для ступеней IБ, 2А, 3А, 4А проекта соответствуют /по нашим расчетам/ нормам, заложенным в баллы I-IУ стандарта ТОЛ I0646 /ТДР/, принятом в настоящее время во всех странах СЭВ.

Применение унифицированного критерия и единой системы баллов дефектности позволяет: а/ ликвидировать имеющуюся в отечественных и зарубежных ПК неравнозначность норм дефектов; б/ снизить необоснованные исправления швов из-за малозначительных дефектов /пор, шлаков и т.п./; в/ снизить объемы выборочного контроля благодаря уменьшению уровня дефектности и за счет перехода /при той же информативности/ от альтернативного /"да - нет"/ к количественному признаку оценки дефектограмм, с учетом $\bar{q}$ и σ_q; г/ облегчить введение автоматической расшифровки дефектных снимков и отбраковки сварных соединений; д/ обеспечить четкий порядок доплат сварщикам "за балльность", - т.е. за высокое качество работ и др.

Проведенный в работе анализ показал, что стандарты по назначению объемов контроля пока отсутствуют, как в отечественной, так и в зарубежной практике. В то же время, существующие ПК регламентируют процент контроля /от 3 до 50%/, связывая его только с категорией ответственности соединений. Установлено, что назначение объема контроля n в процентах к N - объему сварки теоретически совершенно не оправдано. Кроме того, отсутствие связи n с установившимся качеством сварки не позволяет использовать экономические и технические каналы обратной связи "контроль-технология".

На основе исследований разных вариантов выборочных планов контроля заводской продукции установлено, что для однородных партий сварных соединений применим наиболее простой план одноступенчатого контроля по альтернативному признаку, от которого

в дальнейшем возможен переход к последовательному контролю.

Путем сплошного контроля установлено, что распределение числа дефектных участков d в выборке n (и D в партии N) сварных швов отвечает, при $N \geq 10n$, распределению Пуассона:

$$P(n,d) = \frac{(nq)^d}{d!} \cdot e^{-nq}, \quad \text{где } q = \frac{D}{N}$$

Оперативная характеристика плана, вер $(d \geq C)$ имеет вид:

$$\text{Вер}(d \geq C) = P(q) = \sum_{d=0}^{C} \frac{(nq\varphi_N)^d}{d!} e^{-nq\varphi_N}, \text{ где } \varphi_N - \text{коэффициент, зависящий от } N$$

Значение отдельных параметров плана выражается формулами (при $C=0$):

$$\alpha = 1 - P(q_0) = 1 - e^{-nq_0}; \quad \beta = P(q_m) = e^{-nq_m}, \text{ а при малых } n \text{ и } q \begin{cases} \alpha = nq_0 \\ \beta = 1 - nq_m \end{cases}$$

Расчеты статистических планов контроля, проведенные совместно с Л.Г.Пятирублевым, показали их высокую эффективность. По результатам рентгенографии сварных швов сосудов химаппаратуры, для партии N = 400 к.уч., переход от 50%-го к одноступенчатому плану дал сокращение числа снимков с 200 до 22, т.е. примерно в 10 раз, при уменьшении общих расходов почти в 4 раза, при рисках потребителя - β = 0,1 и поставщика - α = 0,18.

В то же время установлено, что иногда 5-20%-ный контроль ведется при малых партиях, N менее 50-100. Расчеты /по гипергеометрическому распределению/ показали, что достоверность контроля, при n < 10-20, весьма мала, а риск β превышает 50-60%, что недопустимо. Для увеличения достоверности необходимо увеличение абсолютных размеров выборок, что можно обеспечить при увеличении партии /за счет устойчивости технологии/. Целесообразно также перейти на контроль по количественному признаку /например по критерию q /, где достаточны выборки <10.

Изучение причин и объема исправлений сварных швов показало, что необходимо введение двух показателей качества по результатам НРК: доля брака по исправлениям $Б_и$ и по дефектограммам - $Б_д$. Поскольку из-за одного дефектного участка, соответствующего дефектограмме Δl, может быть вырезан целый трубный стык $Б_и$ и $Б_д$ могут сильно отличаться. Показатель $Б_д$ характеризует технологию или работу оператора, а $Б_и$ отражает еще и конструктивные особенности изделия.

Информация о показателях $Б_и$, $Б_д$, а также о числе проконтролированных элементов $n_к$ по видам сварки и соединений, предназначена для внесения в общесоюзную форму учета № 1-нт /сварка/.

Часть IУ. РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА, РАЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ И МАТЕРИАЛОВ К СТАНДАРТАМ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ.

7. Разработка интегральных показателей качества и рациональной организации контроля.

Целью реферируемой научной работы является, в конечном счете, повышение эффективности сварочного производства путем введения системы управления качеством. Исходя из этого, рассмотрена связь понятий эффективность - качество - надежность, на основе чего предложены интегральные показатели эффективности процессов сварки.

Основной критерий эффективности "экономичность-качество" дан в виде: ЭК $= \frac{\text{качество}}{\text{удельные затраты}} = \frac{К}{З}$. В отдельных случаях в числитель вводится скорость процесса. Целесообразность критерия ЭК для сравнительной оценки уровня разных видов сварочной технологии показана на ряде производственных примеров.

Для вычисления критерия эффективности можно использовать разработанные в диссертации показатели качества Q_r; W_r; $З_w$; V_w /при разрушающих испытаниях/ и Б; ВГР/Б/; D_x; D_i; q; $q_э$ и др.. Введены также универсальные показатели эффективности по удельным затратам процесса - УПЭ сварки: C - в руб/мм^2 или $\mathcal{E}$ в дж/мм^2; которые также широко проанализированы в работе в теоретическом и практическом плане /но описаны очень кратко/.

Отличием показателей УПЭ от ранее существующих является отнесение затрат к расчетному сечению $S_р$ стыка. Эти показатели наиболее объективны из возможных, поскольку отвечают назначению любого сварочного процесса - созданию определенной площади соединения заданного качества, при наименьших затратах энергии $\mathcal{E}$ и средств C. Причем энергия $\mathcal{E}$ дж/мм^2 здесь рассмотрена не только в экономическом аспекте, а в большей степени, как показатель энергоемкости, обусловливающий объем нагретого и расплавленного металла, поле остаточных напряжений, деформации и т.д. и т.п.

На основе введения показателя $\mathcal{E}$ дж/мм^2 создана теоретическая термодинамическая модель процесса, проанализированы существующие и возможные процессы сварки, разработана энергети-

ческая классификация процессов, вошедшая в учебник по "Теоретическим основам сварки" и в проект соответствующего ГОСТ-а.

Введение показателя обобщенного /интегрального/ ущерба от брака $У_о$ позволяет учитывать в расчетах не только стоимость исправления брака, то есть, так называемый, линейный ущерб - $У_л$, но и стоимость ликвидации последствий брака - аварии или отказа. Расчеты $У_о$ для энергетических узлов, например, показали, что ущерб из-за выхода в трубопроводе из строя одного стыка стоимостью до 10 руб., может достигать сотен тысяч рублей на один рубль технологических затрат, т.е. $У_о \geq 10^5$-10^6. В прежних расчетах учитывалось только $У_л < 10$-100, что не достаточно стимулировало вложения в работы по обеспечению высокого качества сварки. Для оценки $У_о$ необходим постоянный учет и анализ аварий, отказов и их последствий.

Разработанные новые показатели качества и методика их оценки базируются на функциональном /зависящем от технологии сварки/ и статистическом анализе информации, поэтому в диссертации разработана новая рациональная структура службы статистического контроля качества сварки, начиная от цехов, заводов и кончая межотраслевым центром по учету и анализу качества. Основные звенья этой службы реализованы в процессе данной работы. В частности, на основе научных работ МВТУ, организована лаборатория во ВНИИНМАШ Госстандарта.

Для обоснования широкого использования предлагаемых показателей и методик конкретными заводскими технико-экономическими расчетами показана ожидаемая экономия по следующим основным статьям:

1/ Уменьшение уровня брака $\bar{Б}$ и разброса $\Delta Б$ не менее, чем на 10-20%, благодаря введению статистического регулирования технологии;

2/ Уменьшение $\bar{Б}$ и $\Delta Б$ в два-пять раз за счет сокращения "вырубки" малозначительных дефектов в соединениях, работающих при статических нагрузках, благодаря введению предлагаемой пятибалльной системы оценки и новых норм дефектности. По данным нескольких заводов средней мощности экономия по 1 и 2 статьям за 1 год составит более 15000 руб. на каждом предприятии.

3/ Уменьшение объемов выборочного контроля просвечиванием R и γ-лучами с 50-20%, в среднем, до 5-10% и менее, то есть

в 2-10 раз, благодаря введению статистически обоснованных планов контроля, смягчению норм допустимости малозначительных дефектов и благодаря переходу от альтернативного контроля к контролю по количественным признакам.

Кроме того, экономия имеет место при уточнении коэффициентов запаса за счет оценки сварных соединений гамма-процентными показателями качества, вместо принятых оценок, а также за счет увеличения работоспособности и долговечности конструкций, благодаря внедрению всей в целом системы управления качеством сварных соединений. Наряду с сокращениями затрат введение разработанных мероприятий позволит сократить штат контролеров на ряде заводов.

8. Разработка нормативных документов.

На основе теоретических и производственных работ подготовлены документы, обеспечивающие внедрение системы управления качеством в сварочном производстве:

I. "Методика статистического управления качеством сварки" - разработана в I-й редакции в 1967-68 гг. Во II-й редакции, совместно с ВНИИНМАШ, выпущена в 1970 г. Прошла опробование на заводах четырех отраслей. Готовится к выпуску совместно с ИЭС им.Е.О.Патона и Госстандартом в виде межотраслевого "Временного положения"- в 1973 г., а в виде стандарта - в 1975-77 гг.

2. "Классификация процессов сварки" - проект стандарта. Разработан в 1967-69 гг и передан в Госстандарт в окончательной редакции.

3. "Система оценки качества сварных соединений по результатам разрушающих испытаний статистическими показателями Q_γ" - подготовлена пока в предварительной редакции.

4. "Система оценки дефектности сварных соединений"- предварительная редакция предложений к стандарту подготовлена и разослана для обсуждения в 1970 г. На этой основе подготовлен проект "рекомендаций" по использованию предлагаемой системы до выхода ГОСТ-а. "Рекомендации" проходят производственную проверку в двух отраслях, а проект ГОСТ-а включен в план на 1972 г. по Госстандарту.

5. "Система оценки объемов выборочного контроля сварных соединений"- подготовлена предварительная редакция /1970 г./ и I-я редакция соответствующего раздела к проекту Государственного Стандарта /взамен ГОСТ 10922-64/. Проект обсужден в головном институте /НИИЖБ/ и проходит опробование в отрасли.

Разработана матрица прогнозирования стандартов по сварочной технике, учитывающая ранее введенную классификацию процессов сварки и систему факторов качества.

Исходным материалом к указанным выше нормативным документам послужили результаты исследований по теоретическим основам, технологии и контролю качества сварки, проводимые автором в МВТУ им. Баумана, а также статистические данные более чем тридцати предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.

I. Разработанные в диссертации теоретические положения и практические методы составляют систему количественной оценки качества сварных соединений. Они служат основой для перехода в сварочном производстве к более эффективной форме контроля – управлению качеством по результатам разрушающих и неразрушающих испытаний.

2. Во введении и I-й части работы, на базе изучения отечественных и зарубежных материалов, производственного опыта и собственных исследований проведена систематизация случайных и закономерных "факторов качества", признаков дефектности и методов контроля.

Построенные в I главе физические модели, а также соответствующие им вероятностные математические модели оценки качества сварных соединений, позволили наметить главные задачи работы и методы их решения.

Первой из намеченных задач явилась разработка унифицированных, то есть пригодных для разных вариантов технологии сварки и контроля, показателей качества. С использованием этих показателей во II, III и IУ частях работы, теоретически и практически дано решение задач: статистического регулирования технологического процесса по результатам контроля; обоснования системы норм допустимого ослабления сварных соединений, допустимости дефектов, выбора объемов контроля; оценки эффективности технологии сварки с учетом качества соединений и других.

3. Разработанные во II-й части диссертации показатели Q_γ позволяют, с заданной вероятностью-гамма, оценить качество соединений в сравнении с основным материалом по результатам разрушающих испытаний. Исследование предложенных зависимостей для Q_γ, при нормальном распределении качества материала и соединения, позволило обеспечить применимость формул при оценке как больших, так и малых выборок.

Показана применимость предложенных методик для оценки статической, усталостной, хрупкой прочности и других характеристик работоспособности сварных соединений. Причем исследовано в лабораторных и заводских условиях более десяти тысяч стыковых, нахлесточных и тавровых соединений, выполненных на сталях и алюминиевых сплавах, разными способами сварки.

Это послужило основой к разработке проектов стандартов на унифицированную систему оценки качества и на обоснование объемов разрушающих испытаний сварных соединений, а также основой к расчету эксплуатационных норм допустимости дефектов.

4. Разработанные в Ш-й части диссертации унифицированные показатели дефектности и брака, в том числе критерий дефектности контролируемого элемента q, позволили рекомендовать: методику использования при дефектоскопии сварных соединений статистических карт и диаграмм с альтернативными и количественными признаками оценки, единую методику построения системы норм допустимых дефектов, унифицированную, пятибалльную систему оценки дефектности, пригодную для разных методов дефектоскопии - радиационной, ультразвуковой и других.

На основе лабораторных и производственных исследований с использованием вероятностных бумаг и ЭЦВМ, более ста тысяч дефектограмм разных сварных соединений, показана возможность и результаты расчетов ожидаемой доли дефектных и бракованых соединений. Даны рациональные области применения дискретных распределений: Пуассона, биномиального, гипергеометрического, а для непрерывных количественных характеристик дефектов, нормального, экспоненциального, Вейбулла и других законов. Исходя из анализа корреляционных связей в совместных распределениях "число-размер-площадь" дефектов, рассчитаны нормы дефектов.

Использование предложенных в диссертации вероятностных моделей "работоспособность-дефектность", на производственных примерах позволило приближенно рассчитать ожидаемую потерю работоспособности соединений. Введена оценка критического значения дефектности, приводящего к потере работоспособности соединения с вероятностью I/2. Нормативное значение дефектности по отношению к критическому измеряется "запасом" нормы - по размеру и по вероятности.

Нормы дефектов предлагается оценивать как в эксплуатационном, так и в технологическом аспекте. При этом следует исходить, соот-

ветственно, из допустимых вероятностей: потери работоспособности, с одной стороны, и появления брака, с другой стороны.

Установлено, что нормы допустимости дефектов типа включений являются для многих видов изделий излишне жесткими. Это приводит к необоснованной вырубке дефектов и ущербу в миллионы рублей. В диссертации рассчитаны оптимальные нормы для ряда отраслевых документов.

Изучение корреляционных связей "сигнал-дефект" позволило разработать расчетную методику и приближенно оценить достоверность контроля. Для примера исследованной в работе ультразвуковой дефектоскопии тавровых соединений, достоверность оказалась около 90%

Анализ существующей практики назначения объемов контроля, показал, что эти нормы являются, как правило, теоретически не обоснованными, а достоверность контроля весьма низкой и обычно заранее неизвестной. Данная в диссертации система обоснования объемов контроля позволяет оценить его достоверность, риски производителя и потребителя. Использование количественных показателей дефектности и упорядочение объема партий во многих случаях позволяет при контроле технологии сократить объемы дефектоскопии.

5. Технико-экономические заводские расчеты обоснования эффективности предлагаемых в диссертации методик показали, что благодаря уменьшению на 10-30% статистически регулируемой доли брака, уменьшению в 5-10 раз доли вырубки швов, уточнению объемов контроля и браковочных показателей качества соединений следует ожидать значительное сокращение затрат средств, материалов и рабочей силы. Например, только частичное сокращение объемов исправлений и объемов контроля по ста "средним" предприятиям дает экономию более 2500 тыс.руб. в год.

6. Подготовленные в диссертации проекты нормативных документов по оценке и регулированию качества сварных соединений позволяют реализовать теоретические разработки и производственные методики в межотраслевых масштабах,

Проведены также необходимые организационные мероприятия: по созданию соответствующей межотраслевой лаборатории в Госстандарте, рабочей группы в ГКНТ, отраслевых групп статистического контроля в ряде головных НИИ, по подготовке специализации студентов в ВУЗах и т.д. Результаты работы послужили основой к проекту государственного п р о г н о з а развития системы контроля до 1990 г., где определен переход к широкому использованию вероятностно-математических методов оценки и управления качеством сварных соединений.

Основное содержание диссертации изложено в публикациях:

ОТДЕЛЬНЫЕ ИЗДАНИЯ

I. В о л ч е н к о В.Н. Количественная оценка надежности сварных соединений. ЛДНТП.Л.1969.

2. В о л ч е н к о В.Н. "Контроль качества сварных соединений". Раздел в книге "Лабораторные работы по сварке". "Высшая школа". М.1971.

3. В о л ч е н к о В.Н. Теория преобразования энергии при сварке. Раздел I в книге "Теоретические основы сварки" под ред. В.В.Фролова. "Высшая школа". М.1970.

4. В о л ч е н к о В.Н. Источники энергии сварочных процессов. Брошюра. НТО Машпром. "Машиностроение", М.1971.

СТАТЬИ И ДРУГИЕ ПУБЛИКАЦИИ

5. В о л ч е н к о В.Н. Методика испытания крестообразных соединений арматуры. Сб.ВНИИТОСварщиков. Машгиз.1955.

6. В о л ч е н к о В.Н. Разработка методов испытания сварных соединений пересекающихся стержней. Ж."Сварочное производство". 1955, №6.

7. В о л ч е н к о В.Н. Возможности и задачи статистического управления качеством сварных соединений, ж."Сварочное производство", 1971, №4.

8. В о л ч е н к о В.Н. Точечная сварка стальных стержней. Сб. межвузовской конференции по сварке. Машгиз. М.1957.

9. В о л ч е н к о В.Н. Сопоставление различных источников нагрева с помощью универсальных критериев эффективности. Сб.ЛДНТП. "Плазменная резка и сварка". 1966.

10. М у л и н Н.М., В о л ч е н к о В.Н. и др. Технические условия на сварную арматуру для железобетонных конструкций /ТУ-73-53/. п/ред.А.А.Гвоздева. Стройиздат. М.1954.

11. В о л ч е н к о В.Н. Показатели эффективности сварочных процессов. Сб. МВТУ. "Машиностроение". 1966.

12. В о л ч е н к о В.Н. Эффективность сварочных процессов с учетом энергетической классификации. Сб.МВТУ "Надежность сварных соединений"."Машиностроение", М.1967.

13. В о л ч е н к о В.Н. Об оценке надежности сварных соединений. Там же.

14. В о л ч е н к о В.Н. Статистический контроль качества, надежности и эффективности сварки. ж."Заваряване",Болгария, София.1968, №3-4.

I5. В о л ч е н к о В.Н., Борисов Б.К. Автоматическое управление аргоно-дуговой сваркой на типовых бесконтактных модулях. ж."Сварочное производство", I965, №I0.

I6. В о л ч е н к о В.Н., Дедков Л. Автоматическое слежение по сварному стыку и зазору. Сб.МВТУ "Автоматизация и технология процессов сварки"."Машиностроение". М.I966.

I7.В о л ч е н к о В.Н. Статистическое обоснование и предложения по оценке дефектности сварных соединений, ж."Сварочное производство", I97I, №II.

I8.В о л ч е н к о В.Н. Особенности статистических методов управления качеством сварных соединений. Сб.докладов совещания по автоматизации в машиностроении. ИМАШ СССР, I972.

I9. В о л ч е н к о В.Н. Количественная оценка качества и надежности сварных соединений по результатам их контроля. Сб."Дефектоскопия сварных соединений", МДНТП. М.I969.

20. В о л ч е н к о В.Н., Гурвич А.К., Химченко Н.В. К вопросу о выборе методов контроля качества сварных соединений. Там же.

2I. В о л ч е н к о В.Н., Ремизов А.Л. Ультразвуковой контроль качества пайки со статистической обработкой сигналов. Сб. МВТУ по сварке. "Машиностроение". М.I969.

22. В о л ч е н к о В.Н., Маслов Б.Г. Возможности статистического контроля качества сварки. Там же.

23. В о л ч е н к о В.Н., Маслов Б.Г. "Контроль качества сварных соединений". Брошюра. НТО Машпром."Машиностроение"М.I967.

24. В о л ч е н к о В.Н. Количественные показатели качества сварных соединений. Сб. МВТУ "Остаточные напряжения и прочность сварных соединений". "Машиностроение". М.I969.

25. В о л ч е н к о В.Н. Методика оценки надежности сварных соединений. Там же.

26. В о л ч е н к о В.Н., Борисенко В.С. Статистическое исследование пределов прочности некоторых видов сварных соединений со стыковыми швами. ж."Стандарты и качество". Приложение "Надежность и контроль качества", I97I, №3.

27. В о л ч е н к о В.Н., Пятирублевый Л.Г. Расчет объемов статистического выборочного рентгенографического контроля сварных соединений". ж."Сварочное производство", I972.

28. В о л ч е н к о В.Н. О классификации процессов сварки. Статья. "Автоматическая сварка". Киев, I970, №I.

29. В о л ч е н к о В.Н., Маслов Б.Г., Волков А.С. Использование статистических методов при контроле качества сварки. ж,"Сварочное производство", 1970, №11.

30. В о л ч е н к о В.Н. Методика оценки неразрушимости и надежности сварных соединений, ж."Вестник машиностроения", 1970, №12.

31. В о л ч е н к о В.Н., Алешин Н.П. Статистика дефектов и ультразвуковой контроль тавровых сварных сосдинений стержней. Сб.докладов Всесоюзной конференции по неразрушающему контролю. Минск, 1970.

Кроме того имеется более 20-ти публикаций в отраслевых сборниках; четыре заявки(и изобретения) по разрушающим и неразрушающим методам испытаний сварных соединений.

Работа в целом и отдельные ее части доложены и обсуждены за последние 6 лет более чем на 30-ти совещаниях, в том числе: на основных отраслевых конференциях, трижды на Координационном Совете по сварке, на Всесоюзных совещаниях по сварке и по неразрушающим методам контроля, в ГДР /Магдебург - ВТШ/, в Болгарии - на 2-й Международной конференции по сварке и контролю, на совещании специалистов стран СЭВ в 1971 г. и т.п.

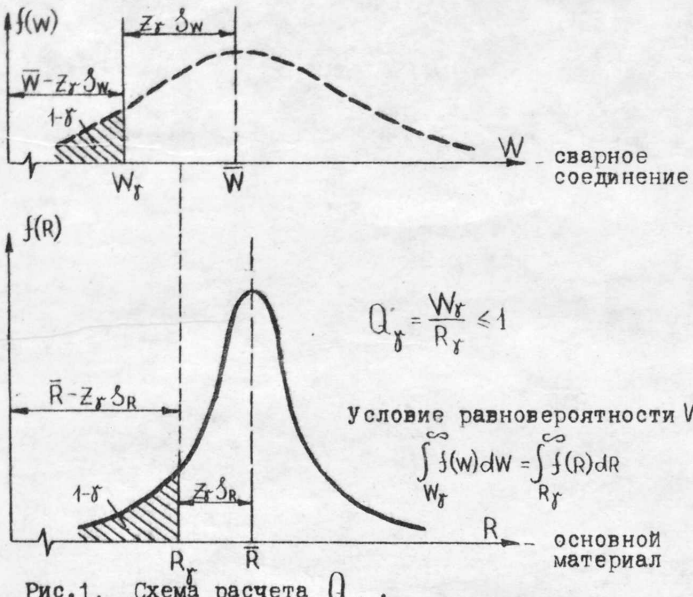


Рис.1. Схема расчета Q_γ.

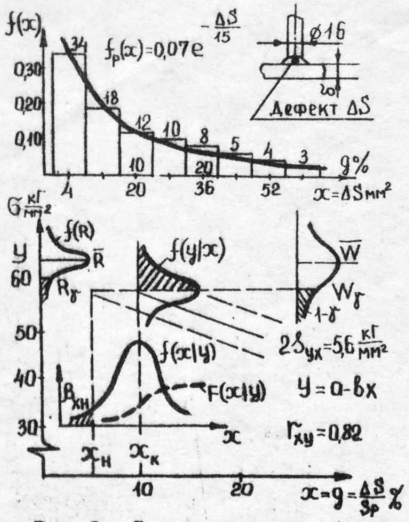


Рис.2. Схема расчета норм допустимости дефектов.

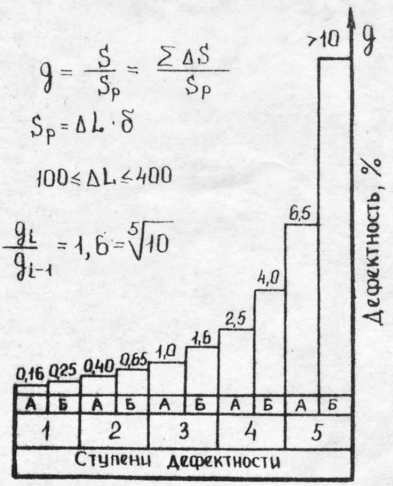


Рис.3. Шкала оценки дефектности сварных соединений.