

М383311

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР



МОСКОВСКОЕ
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее
техническое училище им. Н.Э.Баумана

На правах рукописи

Данилов Григорий Иванович

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ТОНКООТЕННЫХ СОСУДОВ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ
ПРИ НАЛИЧИИ ДЕФЕКТОВ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана

Научный руководитель - д.т.н., профессор Куркин С.А.

Официальные оппоненты: д.т.н. Ларионов В.В.

к.т.н., с.н.с. Прохоренко В.Д.

Ведущее предприятие ЦНИИТМаш

Защита диссертации состоится " " 1981г.

на заседании специализированного Совета К053.15.03 по технологии и машинам сварочного производства Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана по адресу:

107005, Москва, 2я Бауманская

Ваши отзывы на автореферат и
просим выслать по указанному адресу

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

Автореферат разослан " " 1981г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
д.т.н., доцент

М 383311

Подписано к печати 04.09.81.

Зак. 1174

Л-88202

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Современный уровень технологии производства сварных конструкций не позволяет избежать появления дефектов. В большинстве случаев регламентация дефектов осуществляется из технологических соображений с некоторыми коррективами с позиции прочности. В одних случаях это приводит к большой доле отбракованных изделий и удорожает производство, в других – недостаточные требования к качеству приводят к преждевременному наступлению отказа в работе. Отсюда следует необходимость определения критических (предельных) размеров дефектов, наличие которых уже может нарушить работоспособность изделия в пределах заданного ресурса.

Цель работы. Целью работы является создание методики оценки критических размеров дефектов стыковых сварных соединений тонкостенных сосудов давления с позиции предотвращения наступления предельного состояния нарушения герметичности, т.е. превращения поверхностной трещины в сквозную.

Методы исследования. Закономерности страгивания поверхностной трещины и превращения ее в сквозную при однократном нагружении, зарождения поверхностной трещины от дефекта типа пор при многократном нагружении и превращения поверхностной трещины в сквозную на последнем цикле нагружения исследовали экспериментально. При этом для изучения взаимного влияния отдельных дефектов использовали моделирование, наблюдение под микроскопом и осциллографирование раскрытия кромок трещины в процессе нагружения. Для обработки и обобщения экспериментальных результатов использовали критерии линейной и нелинейной механики разрушения.

Научная новизна. Научную новизну работы составляет решение актуальной научной задачи установления связей между свойствами металла, характером, размерами и взаимным расположением дефектов, а также ресурсом работы сварных соединений и наступлением предельного состояния разрушения, соответствующего разгерметизации сосуда давления в результате образования сквозной трещины. Показано, что продолжительность стадии зарождения и формирования усталостной трещины от объемных групповых дефектов по числу циклов является функцией максимального напряжения пульсирующего цикла, частоты дефектов в группе и величины условного



коэффициента интенсивности напряжений K_u , подсчитанного как для трещины с размерами контура, охватывающего зону расположения группы дефектов. Форма растущей поверхностной трещины зависит от исходной длины дефекта $2C_0$ и толщины материала t . Для случая однократного и многократного растяжения элемента с поверхностной трещиной введено понятие протяженных и коротких дефектов, которые разграничиваются значением длины ($2C_0 = 2C^*$). Трещины, возникшие от длинных дефектов $2C_0 > 2C^*$, растут только в глубину, а трещины от коротких дефектов ($2C_0 < 2C^*$) растут как в глубину, так и в длину, достигая предельной длины $2C^*$. Значение $2C^*$ зависит от толщины материала.

Практическая ценность. Применительно к тонкостенным сосудам внутреннего давления разработана методика построения номограмм страгивания поверхностной трещины и превращения ее в сквозную при монотонном нагружении, зарождения и формирования поверхностной трещины от группового дефекта, роста усталостной поверхностной трещины до превращения в сквозную в результате разрыва перемычки на последнем цикле. Эти номограммы составляют основу инженерного метода оперативной оценки размеров дефектов, обнаруженных при контроле, с позиций установления не являются ли они критическими при работе сосуда в пределах заданного ресурса. Разработанная инструкция позволяет расчетно-экспериментальным путем получить графические материалы, пригодные для оценки критичности размеров дефектов основного металла и сварных стыковых соединений тонкостенных сосудов внутреннего давления.

Апробация работы. Инструкция по оценке критичности дефектов основного металла и сварных стыковых соединений элементов тонкостенных сосудов принята к использованию на ряде предприятий при определении работоспособности сварных соединений из высокопрочных материалов при наличии дефектов.

Основные положения работы докладывались на Всесоюзной межвузовской конференции "Прочность сварных конструкций и требования контроля" в г.Москве, на III Всесоюзном симпозиуме "Малоцикловая усталость элементов конструкций" в г.Паланга и на научном семинаре кафедры АМ-7 МВТУ им.Н.Э.Баумана.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, общих выводов и одного приложения. Содержит 117 страниц машинописного текста, 73 рисунка, 14 таблиц и 106 наи-

Основное содержание работы

Глава I. Одной из основных причин образования и развития преждевременного разрушения сварных конструкций является наличие технологических дефектов. В области изучения влияния технологических дефектов на работоспособность сварных конструкций известны крупные работы как советских ученых (Николаева Г.А., Труфьякова В.И., Куркина С.А., Макарова И.И., Карзова Г.П., Васильченко Г.С. и др.), так и зарубежных (Харрисона, Идды, Бурдекина, Хана, Екобори и др.).

Единого конкретного подхода к оценке критичности размеров дефектов в сварных тонкостенных сосудах внутреннего давления еще нет. Однако намечены некоторые общие принципиальные положения: предельным состоянием считается появление течи перед разрушением — нарушение герметичности; для оценки критичности дефектов используются как критерии линейной механики разрушения, так и критерии нелинейной механики разрушения в условиях общей или частичной текучести материала.

В настоящее время проводится разработка научных принципов нормирования технологических дефектов. Можно отметить направление по созданию оптимальной системы классификации качества сварных соединений (Волченко В.Н.). Полученные при этом результаты пригодны в массовом производстве простых однотипных конструкций, т.к. они больше связаны с вероятностью появления дефектов, чем с изучением их влияния на работоспособность.

Всестороннему изучению влияния дефектов на прочность и долговечность сварных конструкций уделяется сейчас большое внимание. При этом исследования ведутся в следующих направлениях:

- влияние дефектов на статическую прочность;
- оценка стадии зарождения усталостной трещины от объемных дефектов;
- оценка стадии развития усталостной трещины до наступления предельного состояния разрушения;
- определение взаимодействующих и невзаимодействующих дефектов;
- классификация дефектов по их воздействию на работоспособность изделия.

В случае однократного нагружения для критериальной оценки

опасности трещиноподобных дефектов предложено использовать предел трещиностойкости I_c и условное критическое раскрытие кромок поверхностной трещины Δ_c . Однако для оперативной оценки критичности дефектов желательно использовать эти критерии с целью представления процесса разрушения от поверхностных трещин в виде расчетно-экспериментальных номограмм разрушения.

Для случая объемных дефектов оценка стадии зарождения трещины на основе деформационных критериев вызывает значительные трудности ввиду сложности определения α_c и K_c . Попытки использовать для этого критерии силового подхода, в частности, условный коэффициент интенсивности напряжений K_{Iy} , еще не получили достаточного обоснования.

Учет развития поверхностных трещин при повторных нагружениях с использованием уравнения Париса $d\ell/dN = CK^m$ затрудняется отсутствием сведений об изменении формы поверхностной трещины и условиях ее превращения в сквозную в процессе роста.

В настоящей работе были поставлены следующие задачи.

1. Исследовать закономерности разрушения стенки сосуда от поверхностных трещиноподобных дефектов при однократном нагружении и разработать методику построения номограммы статического разрушения.

2. Разработать методику исследования стадии зарождения трещин от дефектов типа пор при многократном нагружении.

3. Отработать приемы построения номограмм для оперативной оценки длительности стадий зарождения и развития поверхностных трещин с учетом наступления предельного состояния разрушения - нарушения герметичности стенки сосуда.

4. Составить инструкцию по оценке критичности дефектов, обнаруженных при контроле качества в основном металле и сварных соединениях элементов тонкостенных сосудов.

Глава 2. Отказ в работе сосуда давления наступает при нарушении герметичности. Работоспособность сосудов при расчетах на прочность обеспечивается из условия, что средние напряжения не превышают допускаемых $[\sigma]$. Поэтому характерный размер дефекта $\ell_{кр}$, превышение которого способно нарушить условие $\sigma_k > [\sigma]$ следует считать критическим и определять его, исходя из минимального уровня конструкционной прочности $\sigma_k = [\sigma]$. Критичность дефектов, обнаруженных при контроле ℓ , оценивается согласно неравенству:

$$l_0 < l_{кр} \quad (1)$$

Естественно, что допустимый размер дефекта должен быть меньше критического в соответствии с коэффициентом запаса т.е.

$$l_{доп} \leq \frac{l_{кр}}{n} \quad (2)$$

Вопрос выбора коэффициента запаса имеет самостоятельное значение и в работе не рассматривается, тем более, что учет того или иного принятого значения n по выражению (2) затруднений не вызывает.

Для тонкостенных сосудов давления при монотонном нагружении наиболее характерным является случай, когда поверхностная трещина после страгивания растет стабильно. Затем оставшаяся перемычка между вершиной трещины и противоположной поверхностью разрушается в результате наступления пластической неустойчивости. В такой ситуации при исследовании процесса разрушения от поверхностных трещин целесообразно использовать значения предела трещиностойкости при страгивании трещины I_c и в момент превращения поверхностной трещины в сквозную I_p , подсчитанные по формулам:

$$I_c = \sigma_c \sqrt{\pi l_0 / Q} M \quad (3)$$

$$I_p = \sigma_p \sqrt{\pi l_0 / Q} M \quad (4)$$

где l_0 - начальный размер поверхностного трещиноподобного дефекта; σ_c - напряжение страгивания трещины; σ_p - напряжение разрушения перемычки; Q, M - поправочные коэффициенты, учитывающие форму трещины и влияние свободных поверхностей. Взаимосвязь между размерами поверхностной трещины, уровнем напряжения, свойствами материала и условным раскрытием кромок в момент наступления пластической неустойчивости перемычки установлена Даффрезом в виде

$$\Delta_c = \frac{4C\sigma_{0.2}^*}{E} \left[\frac{\sigma_p}{\sigma_{0.2}^*} - \frac{1}{6} \left(5 \frac{\sigma_b^*}{\sigma_{0.2}^*} + 1 \right) \left(1 - \frac{l_p}{t} \right) \right] \quad (5)$$

где: $\sigma_{0.2}^*, \sigma_b^*$ - предел текучести и прочности материала при двухосном растяжении с соотношением компонент $\sigma_2/\sigma_1 = 0,5$;
 $2C, l_p$ - длина и глубина поверхностной трещины в момент

разрушения перемычки; t - толщина материала; E - модуль Юнга.

Использование уравнений (3), (4), (5) дает возможность построить номограмму разрушения, устанавливающую взаимосвязь между начальными размерами поверхностной трещины и напряжениями σ_c и σ_p , если экспериментально определены закономерности изменения и значения параметров I_c , I_p и Δc .

Из методических соображений в качестве материала для испытаний был выбран сплав МА2-1, так как он легко поддается механической обработке и обладает ограниченным ресурсом при повторных нагружениях. Испытаниям подвергали плоские образцы и стыковые сварные соединения толщиной 3,3 и 4,75 мм, шириной 100 мм. Плоские дефекты имитировали поверхностными надрезами дисковой фрезой толщиной 0,2 мм. Надрезы длиной 5+100 мм и глубиной 5+80% от толщины металла наносили в центральной части образцов. Монотонное нагружение осуществляли на машине со скоростью перемещения захватов 0,1 мм/с. На ленту осциллографа записывали показания датчиков усилия, раскрытия кромок трещины и деформации поверхности перемычки. Через микроскоп фиксировали моменты страгивания поверхностной трещины и превращения ее в сквозную, делая при этом отметки на осциллограмме.

Стабильное продвижение трещины после страгивания происходило перпендикулярно поверхности до глубины ℓ_p . Разрушение оставшейся перемычки в результате наступления пластической неустойчивости происходило при достижении максимума нагрузки с большой скоростью и звуковым эффектом типа "выстрел". Расчет параметров I_c , I_p и Δc проводили по формулам (3), (4), (5). Результаты исследований показали, что изменение пределов трещиностойкости I_c и I_p определяется только начальной глубиной поверхностной трещины, тогда как исходная длина влияния практически не оказывает. Благодаря этому, зависимости $I_c = f_1(\ell/t)$ и $I_p = f_2(\ell/t)$, полученные экспериментально на небольшом числе образцов можно использовать при расчете серии кривых $\sigma_c = \varphi_1(\ell/t)$ и $\sigma_p = \varphi_2(\ell/t)$, для чего используются формулы (2) и (3). При расчете σ_c и σ_p влияние длины 2С поверхностной трещины учитывается через коэффициенты Q и M . Поскольку коэффициент Q зависит от искомых напряжений, то расчет ведется методом последовательного приближения. Пример диаграмм напряжений σ_c и σ_p для сплава МА2-1 толщиной 3,3 мм приведен на рис.1.

Результаты подсчета Δc по экспериментальным данным показали, что значение Δc мало зависит от начальных размеров поверхностных трещиноподобных дефектов и имеет практически постоянное значение для определенного материала конкретной толщины. Поэтому взаимосвязь между напряжением наступления пластической неустойчивости перемычки σ_p и глубиной трещины l_p согласно уравнения (5) является линейной. Пример диаграммы

$\sigma_p = \varphi_3(l_p/t)$, построенной по уравнению (5) для сплава МА2-1 толщиной 3,3 мм ($\Delta c = 0,117$ мм), приведен в правой части рис.1.

Совокупность трех диаграмм на рис.1 представляет собой номограмму разрушения сплава МА2-1 толщиной 3,3 мм от поверхностных трещиноподобных дефектов, которая позволяет для исходных размеров поверхностного трещиноподобного дефекта l_0 и $2C_0$ определять напряжение срабатывания трещины σ_c , напряжение превращения поверхностной трещины в сквозную σ_p и глубину поверхностной трещины в момент наступления пластической неустойчивости перемычки l_p . Поскольку предельным состоянием разрушения является образование сквозной трещины, то значение конструктивной прочности $\sigma_k = \sigma_p$, если в зоне расположения дефекта нет конструктивной концентрации напряжений и отсутствуют остаточные напряжения. Номограмма дает возможность решать обратную задачу — определять критические размеры дефектов $l_{кр}$, исходя из уровня средних напряжений $\sigma_{расч}$ в зоне расположения дефекта. Для этого достаточно провести горизонталь $\sigma = \sigma_{расч}$ и определить абсциссы ее пересечения с кривыми $\sigma_p = \varphi_2(l/t)$ для конкретных значений длин поверхностных трещин. Экспериментально установлено, что для сплава МА2-1 толщиной 3,3 мм значение длины поверхностной трещины $2C = 12$ мм является границей между длинными и короткими поверхностными трещинами, обозначим ее $2C^*$. Все трещины длиной $2C_0 > 2C^*$ растут только в глубину. Все короткие трещины длиной $2C_0 < 2C^*$ растут и в глубину и в длину, достигая к моменту наступления пластической неустойчивости перемычки предельной длины $2C^*$. Поэтому уровень конструктивной прочности при наличии коротких поверхностных трещин следует определять как для случая наличия трещины длиной $2C = 2C^*$. Возможная ошибка идет в запас прочности.

Использование представленной номограммы разрушения для иной толщины сплава МА2-1 требует корректировки, т.к. значения пределов трещиностойкости l_c и l_p , а также значение Δc

изменяются.

Кроме сплава МА2-1 закономерности разрушения от поверхностных трещин при монотонном нагружении исследовали в сплавах АМГ-6Б в нагартованном и ненагартованном состоянии, I20I, ВМД-10 и ИМВ-6 в горячекатаном и отожженном состояниях, на стали СП-33, а также в металле сварных швов МА2-1 и I20I в состоянии после сварки, после горячей (при 400°C) прокатки (ТМО-1) и после горячей и холодной (при 70°C) прокатки (ТМО-2).

Следует отметить особенности разрушения сплавов ВМД-10, ИМВ-6 и металла шва сплава I20I после ТМО-2. В этих материалах поверхностные трещины после страгивания сразу становились нестабильными и с большой скоростью проникали на всю толщину металла, т.е. $I_c = I_p$. Напряжение σ_c было значительно ниже $\sigma_{0,2}$. Причем, изменение размеров надрезов в широком интервале не влияло на значение предела трещиностойкости. Низкий уровень σ_c и условие $I_c = I_p = \text{const}$ свидетельствуют о том, что страгивание трещин происходило в условиях, близких к плоской деформации. Номограммы разрушения этих сплавов состоят только из диаграммы $\sigma_c = \varphi(l/t)$. Наступление пластической неустойчивости перемычки в случаях, когда поверхностная трещина после страгивания становится нестабильной, не представляет практического интереса. Важно отметить, что конструкционная прочность таких материалов оказывается весьма низкой. Это было показано при испытании сварных цилиндрических панелей из сплава I20I при двухосном растяжении с соотношением главных напряжений $\sigma_2/\sigma_1 = 0,5$, соответствующем нагружению стенки цилиндрического сосуда давления.

Глава 3. Закономерности зарождения поверхностных трещин от съемных дефектов изучали на сварных плоских образцах из сплава МА2-1 толщиной (2,4±0,75) мм. В металле шва (усиление и проплавы были удалены) поры имитировали поверхностными отверстиями $\phi 0,7$ мм, глубиной (0,4±0,3) мм. Расстояние между краями отверстий в цепочке составляло 0,5±0,6 диаметров. Нагружали отнулевым пульсирующим циклом частотой 10±15 циклов в минуту. Стадию образования поверхностной трещины $N_1 + N_2$ считали завершенной, когда усталостная трещина пересекала контур одиночного или зону расположения группы отверстий, что фиксировали визуально через микроскоп. Величину условного коэффициента интенсивности напряжений K_y подсчитывали как для трещины по формуле

$$K_y = \epsilon \sqrt{\pi l_0 / Q M} \quad (6)$$

где ϵ - максимальное напряжение в цикле; l_0 - глубина контура, охватывающего группу поверхностных сверлений; Q и M - то же, что в уравнениях (3), (4).

Анализ экспериментальных данных показал, что при конкретном значении ϵ длительность периода образования усталостной трещины $N_1 + N_2$, пересекающей зону расположения группового объемного дефекта, является функцией условного значения коэффициента интенсивности напряжений K_y . В координатах $\lg K_y - N$ зависимость $N_1 + N_2 = \Psi_1(K_y)$ аппроксимируется прямой. Изменение расстояния между порами соответственно изменяет длительность процесса образования усталостной трещины. На рис. 2а приведена зависимость $N_1 + N_2 = \Psi_2(x)$ при $K_y = \text{const}$ и различных значениях параметра частоты пор в цепочке $x = b/d$, где b - расстояние между краями пор, d - диаметр пор. Увеличение амплитуды напряжения ϵ ускоряет образование усталостной трещины при прочих равных условиях. Поэтому в общем случае продолжительность периода образования усталостной трещины около цепочки пор, является функцией трех аргументов: K_y , x , ϵ . Порядок построения линий $N_1 + N_2 = \Psi_1(K_y)$ для различных значений x при $\epsilon = \text{const}$ показан пунктирными линиями на рис. 2а, б. Толщина металла не оказала влияния на образование усталостных трещин от поверхностных пор, т.к. на поверхности металла независимо от толщины создаются одинаковые условия для возникновения трещины. Число циклов $N_1 + N_2$ является случайной величиной, установлено, что ее распределение подчиняется нормальному закону.

Рассчитаны параметры этого распределения по стандартным программам на ЭЦМ МИР-2 для одиночных дефектов. Показано, что эти параметры как для отверстий, так и для естественных пор имеют близкие значения.

Взаимосвязь между числом циклов развития поверхностной усталостной трещины N_3 и приращением ее глубины $\Delta l = l_{\text{кон}} - l_0$ выражается в виде уравнение (7), которое было получено интегрированием уравнения Париса

$$N_3 = \frac{l_{\text{кон}}^{1-\frac{m}{2}} - l_0^{1-\frac{m}{2}}}{C [\epsilon M (\pi/Q)^{0.5}]^m (1-\frac{m}{2})} \quad (7)$$

C, m - коэффициенты уравнения Париса.

При получении уравнения (7) предполагали, что коэффициенты Q и M имеют постоянные значения. Однако форма поверхностной трещины зависит от начальных размеров дефекта и изменяется в процессе роста по сложному закону, установить который пока не удастся. Поэтому предусматривали выбор такой эквивалентной трещины, чтобы найденные для нее постоянные значения Q и M определяли длительность стадии роста трещины N_3 , близкую к действительной и с некоторым запасом по долговечности. Было установлено, что как и в случае однократного нагружения характерное значение длины $2C^*$ разделяет поверхностные дефекты на длинные и короткие. Если начальная длина $2C_0 < 2C^*$, то конечная длина поверхностной трещины $2C_{\text{кон}} = 2C^*$. Если $2C_0 \geq 2C^*$, то поверхностная трещина от такого дефекта растет только в направлении толщины и ее конечная длина равна начальной, $2C_{\text{кон}} = 2C_0$. Значение $2C^*$ зависит от толщины металла. Для сплава МА2-1 толщиной 4,75 мм $2C^* = 15$ мм, при толщине 3,3 мм - $2C^* = 12$ мм. Анализ закономерностей изменения формы и размеров поверхностных трещин, растущих от дефектов различной протяженности привел к заключению, что коэффициенты Q и M в уравнении (7) следует определять для эквивалентной трещины с размерами

$$\ell_{\text{экв}} = 0,5(\ell_0 + \ell_{\text{кон}}) \quad 2C_{\text{экв}} = 2C_{\text{кон}} \quad (8)$$

Экспериментальная проверка показала малое отличие значений чисел циклов развития поверхностной трещины N_3 от экспериментальных с отклонением в сторону запаса по долговечности, рис.3а.

Использование уравнения (7) с учетом условия (8) и экспериментально определенных значений коэффициентов C и m в уравнении Париса позволяет рассчитать длительность периода развития поверхностной трещины N_3 в зависимости от начальной глубины ℓ_0 . На рис.3 показаны кривые $N_3 = F(\ell_0)$ для ряда поверхностных трещин длиной $2C_0 > 2C^*$ применительно к металлу шва сплава МА2-1 толщиной 4,75 мм и к основному металлу МА2-1 толщиной 3,3 мм при пульсирующем растяжении с максимальным напряжением цикла $\sigma = 0,9 \sigma_{0,2}$. Такие номограммы позволяют оперативно определять число циклов нагружения до превращения поверхностной трещины в сквозную ($N_{\text{крит}}$) или величину $\Delta \ell$ в пределах заданного ресурса. Если длина трещины (дефекта) $2C_0 < 2C^*$, то для определения значения N_3 используется

кривая $N_3 = F(l_0)$ для трещины длиной $2C^*$, что дает повышенный запас по долговечности для коротких трещин.

Критическую глубину поверхностной трещины $l_{кр}$ определяли из условия, что на последнем цикле нагружения разрыв перемычки происходит в результате наступления пластической неустойчивости как при однократном нагружении, для чего использовали правую часть номограммы разрушения, рис.1. Это дает возможность оценивать критичность поверхностных трещин согласно неравенству (9)

$$l_0 + \Delta l < l_{кр} \quad (9)$$

Общие выводы

1. При определении критических размеров дефектов сварных соединений тонкостенных сосудов целесообразно исходить из следующих соображений:

а) оценку работоспособности осуществлять на основе предельного состояния нарушения герметичности, т.е. появления сквозной трещины или разрыва;

б) критическими считать размеры такого дефекта, наличие которого может вызвать отказ в работе (разгерметизацию) сосуда в пределах заданного ресурса работы;

в) учитывать возможность расположения дефекта в зоне с повышенным уровнем растягивающих напряжений из-за конструктивной концентрации напряжений и в случае наличия остаточных напряжений.

2. Определение зависимости предела трещиностойкости от глубины поверхностного надреза при страгивании трещины и в момент превращения поверхностной трещины в сквозную, а также определение условий наступления пластической неустойчивости перемычки позволяет построить номограмму разрушения стенки сосуда от поверхностного трещиноподобного дефекта, отражающую процесс разрушения стенки сосуда от поверхностного надреза или трещины при монотонном статическом нагружении.

3. Экспериментально установлено, что в условиях растяжения границей между короткими и длинными поверхностными дефектами при однократном и многократном нагружении является величина $2C^*$, которая зависит от толщины конкретного материала. Поверхностные трещины, зародившиеся от любых коротких дефектов длиной

$2C_0 < 2C^*$ к моменту превращения в сквозную имеют длину равную $2C^*$, а зародившиеся от длинных дефектов $2C_0 > 2C^*$, начальную длину не изменяют и растут только в глубину металла.

4. Учет изменения формы растущей трещины путем назначения эквивалентных размеров, определяемых пределами интегрирования и понятием длинных и коротких поверхностных дефектов, позволяет интегрировать уравнение Париса при неизменных значениях коэффициентов Q и M для каждого выбранного интервала интегрирования. Такой прием обеспечивает построение номограммы роста усталостных трещин.

5. При испытаниях образцов с цепочками искусственных поверхностных пор показано, что продолжительность стадии возникновения усталостной поверхностной трещины от цепочки пор является функцией трех аргументов: значения условного коэффициента интенсивности напряжений K_y , подсчитанного как для трещины с размерами контура, охватывающего зону расположения цепочки пор; частоты пор в цепочке; уровня максимального напряжения пульсирующего цикла.

6. При оценке критичности размеров поверхностных дефектов рекомендуется:

а) обнаруженные неразрушающими методами контроля плоскостные дефекты считать трещинами, а объемные — как поры;

б) критические размеры $l_{кр}$, $2C_{кр}$ трещиноподобных дефектов определять по предлагаемой номограмме разрушения;

в) возможный рост трещины Δl от исходного плоского трещиноподобного дефекта определять по номограмме роста усталостной трещины в зависимости от заданного ресурса работы N ;

г) продолжительность стадии возникновения трещины от объемных дефектов при многократном нагружении определять по номограмме $N_1 + N_2 = \Psi(K_y, x, \epsilon)$.

7. Результаты исследований послужили основой инструкции, содержащей рекомендации для проведения экспериментальных работ с целью получения необходимых данных и их оформления в виде документации, пригодной для оперативной оценки критичности размеров трещиноподобных дефектов сварных соединений тонкостенных сосудов в зависимости от материала, технологии сварки, условий эксплуатации и т.д. В настоящее время эта инструкция принята к использованию в ряде организаций.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Куркин С.А., Рукоусев И.В., Данилов Г.И. К вопросу о регламентации размеров дефектов в сварном изделии. - Известия вузов. Машиностроение. 1977, № 5, с.142-146.

2. Куркин С.А., Рукоусев И.В., Данилов Г.И. Предельные состояния разрушения сварных сосудов и трубопроводов и регламентация дефектов. Тезисы докладов Всесоюзной межвузовской конференции в МВТУ им.Н.Э.Баумана 20-25 января 1978 г. - М.: МВТУ им.Н.Э.Баумана, 1978, с.30-36.

3. Куркин С.А., Данилов Г.И. Конструктивная прочность тонкостенного сосуда. - Известия вузов. Машиностроение, 1979, № 1, с.5-9.

4. Куркин С.А., Данилов Г.И. Методика оценки критичности размеров дефектов при малоцикловом нагружении тонкостенных сосудов давлением. Тезисы докладов и сообщений III Всесоюзного симпозиума по малоциклово усталости элементов конструкций в г.Паланга, сент.1979 г. - Вильнюс: МВ и ССО Литовской ССР, вып.2, 1979, с.53-53.

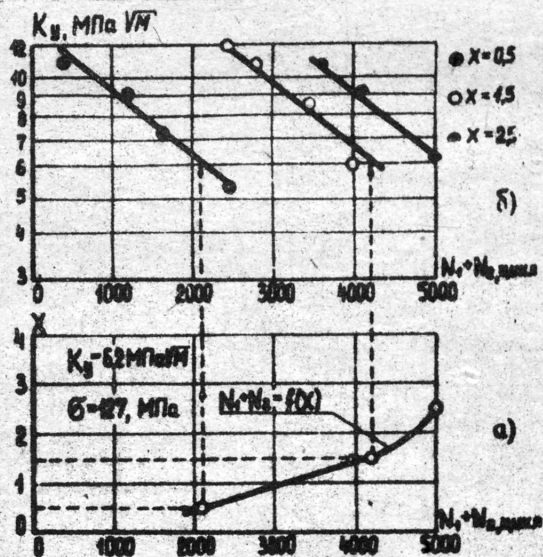


Рис. 2.

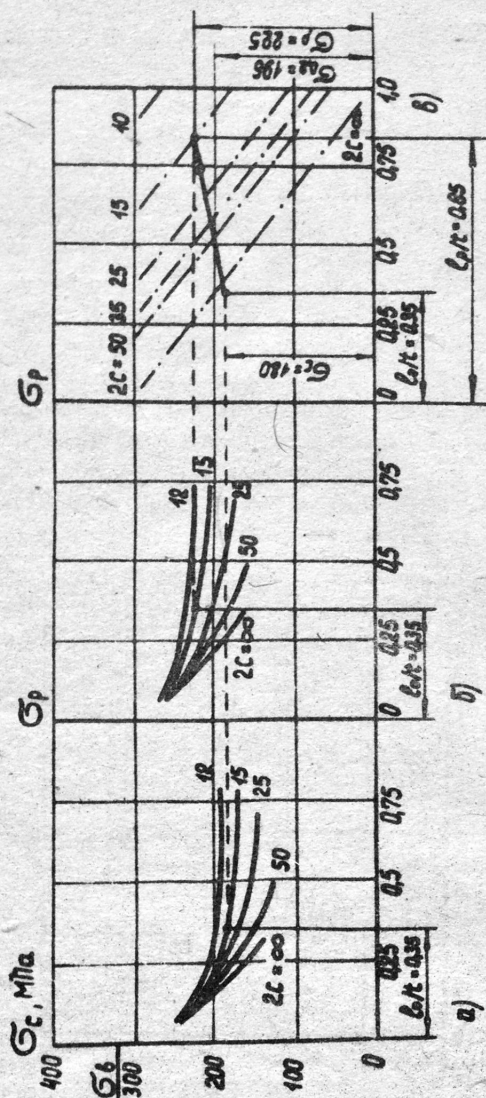


Рис. I. Номограмма разрушения сплава МА2-І толщиной 3,3 мм.

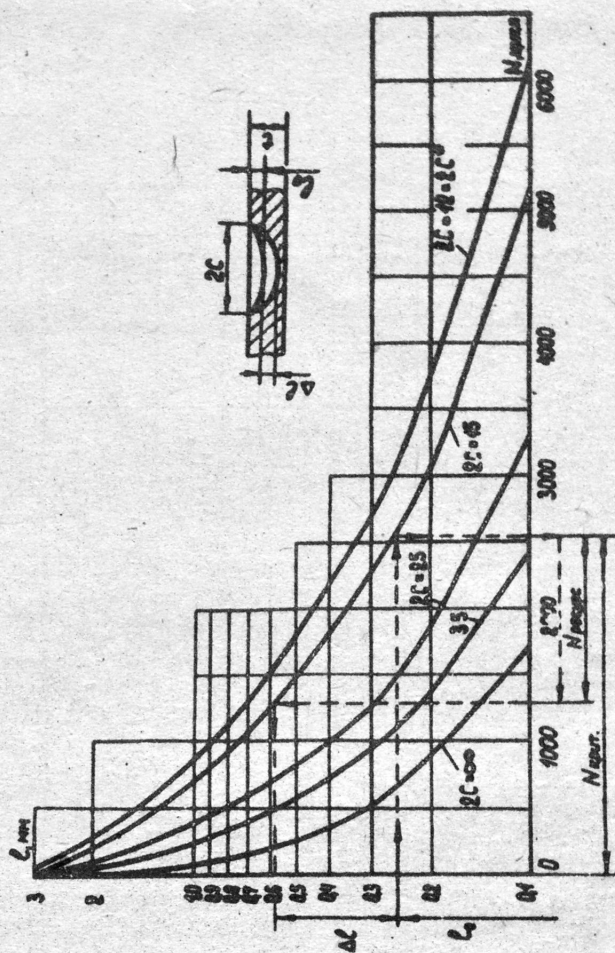


Рис. 3.а.номограмма роста усталостных поверхностных трещин в сплаве 42-I толщиной 3,3 мм.

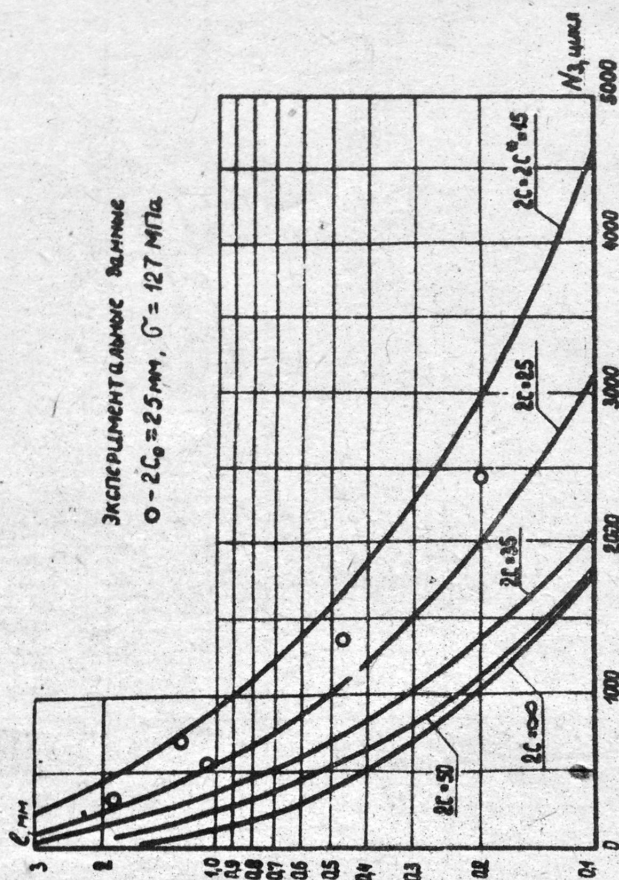


Рис. 3.Б. Ноюграмма роста усталостных поверхностных трещин в металле сварного шва сплава МА2-1 толщиной 4,75 мм.