

М 321561

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

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

На правах рукописи

ПОЛЯРУС Александр Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ
ДЕФОРМАЦИЙ НА НАЧАЛО КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО
РАЗРУШЕНИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СПЛАВОВ И ИХ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

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

НА
НЕ ВЫДА

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

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

На правах рукописи

ПОЛЯРУС Александр Николаевич

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1321561
Полярус А.Н. Исследование

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ
ДЕФОРМАЦИЙ НА НАЧАЛО КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО
РАЗРУШЕНИЯ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СПЛАВОВ И ИХ
СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

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

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

Научный руководитель - д.т.н., профессор О.И.СТЕКЛОВ

Официальные оппоненты - д.т.н., профессор В.В.ФРОЛОВ
к.т.н., ст.н.с. А.И.АНТИПОВ

Ведущее предприятие - указано в решении Ученого Совета.

Защита диссертации состоится " " _____ 1978 г.
на заседании специализированного Совета К053.15.03 по техно-
логии и машинам сварочного производства Московского ордена
Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего техниче-
ского училища им. Н.Э.Баумана по адресу: Москва, 107005, 2-я
Бауманская ул., д. 5.

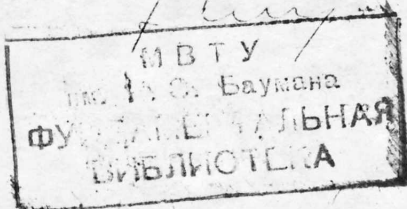
Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверен-
ные печатью, просьба высылать по указанному адресу.

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

Автореферат разослан " " _____ 1978 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА
доктор технических наук

ЯМПОЛЬСКИЙ В.М.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Сопротивляемость конструкций коррозионно-механическому разрушению определяется сопротивляемостью зарождению и распространению коррозионных трещин. Проблема возникновения трещин изучена недостаточно, особенно для новых материалов (сплавы на основе циркония, титана, ниобия, тантала, молибдена), которые находят практическое применение в различных отраслях промышленности. Поэтому важным и актуальным является всесторонний анализ свойств этих материалов и их сварных соединений и, в том числе, изучение чувствительности к упруго-пластическим деформациям, особенно в концентраторах напряжений, в сопоставлении с традиционными коррозионностойкими материалами. Концентраторы, появление которых не исключено в процессе изготовления или эксплуатации конструкции, в условиях воздействия активных сред и напряжений, могут явиться причиной зарождения коррозионных трещин и преждевременного разрушения.

Работа выполнялась в соответствии с планом научно-исследовательских работ Академии Наук СССР и Государственного Комитета Совета Министров СССР по науке и технике.

Цель работы. Целью настоящей работы явилось установление влияния концентрации упруго-пластических деформаций на начало разрушения сплавов и их сварных соединений применительно к эксплуатации в нейтральных водных средах на примере традиционного коррозионностойкого материала стали 12Х18Н10Т и нового перспективного металлического сплава циркония с 2,5% ниобия.

Методы исследования, применяемые в данной работе, включали механические методы исследования свойств основного металла и металла шва сварных соединений, металлографический анализ, методы определения деформаций на малых базах, фотосъемку в процессе непрерывного деформирования образцов, в том числе в условиях воздействия повышенных температур и т.д. Обработка результатов экспериментов проводилась с использованием методов математической статистики.

Научная новизна работы заключается в обосновании деформационного показателя сопротивляемости исследуемых материалов началу коррозионно-механического разрушения в нейтральных средах, разработке методики определения деформационного показателя, установлении закономерностей, определяющих протекание упруго-пластичес-

ких деформаций в концентраторах стали I2XI8HIOT и сплава циркония с 2,5% ниобия в зависимости от эксплуатационных (напряжение, температура, среда) и технологических (термодеформационное воздействие сварки) факторов и определении влияния концентраторов напряжений типа мелкой выточки на начало разрушения сплавов в коррозионных средах с учетом этих факторов.

Практическая ценность. Разработаны методики по определению упруго-пластических деформаций в концентраторах на малых базах (до 1,0 мм) применительно к условиям воздействия повышенных температур и коррозионных сред, усовершенствованы методики и оборудование по определению уровней критических деформаций и напряжений, вызывающих начало коррозионно-механического разрушения; установлено влияние технологических концентраторов напряжений, структурно-химической и геометрической неоднородностей на коррозионную стойкость исследуемых материалов в воде повышенных параметров.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались:

- 1) на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ им. Н.Э.Баумана (декабрь, 1974 г.; февраль 1977 г.);
- 2) на научном семинаре отдела сварки НИКИМТ (декабрь 1974 г.);
- 3) на Всесоюзной конференции по электроннолучевой сварке, г.Киев (ноябрь 1975 г.);
- 4) на семинаре "Коррозионно-механическая прочность сварных соединений и конструкций", МДНТП им.Ф.Э.Дзержинского (октябрь 1976 г.).

Основной материал диссертации опубликован в шести статьях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и общих выводов по работе, изложена на 119 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц, 72 рисунка и библиографию из 135 наименований.

Глава I. Известно, что многие материалы, являясь стойкими в коррозионной среде, подвержены разрушению при наличии концентраторов напряжений (титан в морской воде, нержавеющие стали и алюминиевые сплавы в азотной кислоте). К качеству исходного материала и сварных соединений конструкций ответственного назначения, например, технологических трубопроводов в атомной энергетике, предъявляются жесткие требования, практически исключая

щие наличие в них концентраторов напряжений. Однако проблема влияния концентраторов на работоспособность конструкций этим полностью не устраняется в связи со следующими обстоятельствами:

1) с возможностью появления эксплуатационных концентраторов типа микро- и макротрещин в процессе эксплуатации трубопроводов в результате совместного действия среды и напряжений;

2) с возможностью появления технологических дефектов формы шва при выполнении замыкающих швов (в стыковых и фланцевых соединениях) в монтажных условиях или при ремонтных работах; царапин и "надилов" (вмятин) при монтаже;

3) вследствие несовершенства методов контроля, применительно к монтажным условиям, не выявляющих в ряде случаев несправки малой ширины корня шва сварных соединений.

Проблема разрушения включает в себя два аспекта: процесс зарождения трещин и процесс их развития.

Анализ процесса зарождения трещин при наличии концентраторов базируется на исследовании упруго-пластического состояния в вершине концентратора и оценке влияния различных факторов на это состояние. Процесс развития трещин в настоящее время описывается на основе закономерностей линейной механики разрушения. По отношению к цирконию известны работы Е.Ю.Ривкина с сотрудниками, B.W. Pickles, B. Watkins и др., где с позиций линейной механики разрушения оценивается влияние уровня напряжения, облучения, наводороживания и других факторов на критический размер и развитие трещин. Однако, роль концентраторов напряжений в условиях действия коррозионной среды изучена недостаточно, отсутствуют критерии оценки возникновения коррозионно-механического разрушения.

Выполненная работа носит поисковый характер в указанном направлении. Чувствительность сплава Zr с 2,5% Nb к концентраторам напряжений оценивалась в сопоставлении со сталью 12Х18Н10Т.

В настоящей работе были поставлены следующие задачи:

1. Обоснование критерия сопротивляемости исследуемых материалов началу коррозионно-механического разрушения в нейтральных средах ($pH \approx 7$).

2. Разработка методик исследования влияния концентрации упруго-пластических деформаций (УПД), включая разработку следующих методик:

а) определения деформаций в концентраторах УПД;
б) оценки влияния параметров термдеформационного цикла сварки (ТДДС) на УПД;

в) оценки влияния эксплуатационных факторов — величины напряжений, повышенной температуры, коррозионной среды на УПД.

3. Анализ влияния эксплуатационных факторов на протекание УПД в концентраторах.

4. Анализ влияния ТДДС и технологических концентраторов напряжений на коррозионное поведение сварных соединений.

Глава 2. При одновременном действии на металл механических напряжений и коррозионной среды в зоне концентрации напряжений при определенных уровне нагрузки и величине упруго-пластических деформаций происходит более активное растворение металла, что приводит к возникновению коррозионно-механического разрушения. Поэтому важным является определение деформаций в непосредственной близости от вершины концентратора, т.к. коррозионное разрушение под напряжением начинается с поверхности металла, контактирующего с коррозионно-активной средой, а при удалении от вершины на 0,5–1,0 мм (по данным Г.Нейбера, Г.А.Николаева и И.И.Макарова) коэффициенты концентрации напряжений уменьшаются в 2–4 раза.

Поскольку вероятные концентраторы в трубопроводах (царапины, непровары) — по аналогии с дефектами подобных конструкций — можно представить как мелкую выточку с радиусом кривизны 0,1 — 0,2 мм, то методика исследования должна обеспечивать стабильность и воспроизводимость результатов при измерениях упруго-пластических деформаций на базах до 1,0 мм. На основе анализа известных методов определения деформаций и напряжений, в настоящей работе применен вариант метода делительных сеток — метод микроотпечатков, заключающийся в определении изменения под воздействием приложенной нагрузки базы между отпечатками, наносимыми алмазной пирамидой с помощью приборов для определения твердости.

Сравнение величин деформаций, измеренных при помощи отпечатков, нанесенных на приборах ПМТ-3 и ТП-2 с различными усилием и базой, позволило установить, что большая точность при измерении упруго-пластических деформаций достигается при нанесении отпечатков на приборе ПМТ-3 с базой 0,5 мм и усилием 100–200 гс.

Изучение протекания УПД в концентраторах в зависимости от их

размеров и выбор оптимальных размеров концентратора, имитирующего незначительный непровар корня сварного соединения, проводили на простых в изготовлении и удобных в дальнейших исследованиях плоских малогабаритных образцах из стали I2XI8H10T и сплава Zr с 2,5% Nb длиной 100 мм и толщиной 3–5 мм. Выбранные в результате исследований концентраторы представляли надрезы шириной от 0,1 до 0,3 мм и глубиной от 4 до 20% толщины образцов, наносимые в средней части образцов электроискровым способом.

Анализ деформационной картины, наблюдаемой при растяжении образцов с концентраторами типа надрезов, показал, что из условий максимального приближения к вершине концентратора и измерения максимальных деформаций, с учетом геометрических размеров исследуемых концентраторов, базу нанесения отпечатков целесообразно принять равной 0,5 мм при удалении от вершины концентратора на 0,1 мм (рис. 1).

Методика коррозионных испытаний предусматривала:

а) проведение испытаний при непрерывном деформировании с одновременной записью диаграмм растяжения и изменения электродного потенциала φ в зависимости от величины деформации при нагружении образцов;

б) испытания в условиях многоциклового нагружения;

в) автоклавные испытания при повышенных температуре и давлении в условиях напряженного состояния при заданной деформации.

Испытания проводили в нейтральных средах 2 типов ($pH \approx 7$):

– в среде для ускоренных лабораторных испытаний (3%-ный раствор $NaCl$) с целью получения сравнительных характеристик исследуемых материалов;

– в воде повышенных параметров ($T = 300^\circ C$, $p = 85$ атм), воспроизводящей производственные условия технологических трубопроводов.

В 3%-ном растворе $NaCl$ были проведены испытания по определению критических деформаций $\epsilon_{кр}$ и соответствующих им критических напряжений $\sigma_{кр}$, при достижении которых в исследуемых материалах начинается процесс коррозионно-механического разрушения, и коррозионно-усталостные испытания при симметричном изменении нагрузки с частотой 500 циклов в минуту. При этих испытаниях была оценена роль концентраторов напряжений типа мелкой выточки на коррозию под напряжением.

Коррозионное разрушение под напряжением возникает при определенном критическом (для данного материала, состояния его, среды) уровне упруго-пластических деформаций (УПД) $\epsilon_{кр}$, при достижении которого металл переходит в активное состояние, что экспериментально определяется резким изменением электродного потенциала металла, который является косвенной интегральной характеристикой тонких физических процессов, вызванных УПД при наличии напряжений и среды. Этот критический уровень УПД $\epsilon_{кр}$, возникающий при определенном уровне напряжений в конструкции, мы принимаем в качестве деформационного критерия или показателя начала коррозионно-механического разрушения - начала субкритического периода развития трещины.

Методика определения критических деформаций и напряжений заключается в следующем. Подготовленные образцы помещали в ячейку со средой и подвергали растяжению с постоянной скоростью деформирования ($V = 3$ мм/мин) в 3%-ном растворе $NaCl$ с одновременной записью диаграммы растяжения и изменения электродного потенциала в зависимости от нагрузки. Потенциал образцов измеряли относительно хлор-серебряного электрода сравнения. При достижении в образце определенной величины УПД происходило резкое падение электродного потенциала металла образца, которое фиксировалось на обеих диаграммах (рис. 2). Отношение растягивающего усилия $R_{кр}$, при котором происходит падение потенциала, к начальной площади поперечного сечения образца F_0 дает величину условных растягивающих напряжений $\sigma_{кр}$; величины критических деформаций $\epsilon_{кр}$ исследуемых материалов установили, определяя в момент падения потенциала максимальную деформацию без микроотпечатков на поверхности образцов. Критические деформации составили: для стали I2X18N10T $\epsilon_{кр} = 1,2 \pm 0,08\%$, для сплава $Zr + 2,5\% Nb$ $\epsilon_{кр} = 1,8 \pm 0,10\%$.

Циклические испытания проводили по методике В.В.Романова, создавая в образцах циклические напряжения симметричным изгибом в специальной установке.

Влияние производственной среды оценивали по результатам автоклавных испытаний при температуре $300^\circ C$, давлении 85 атм, в течение 1200 час., в статических условиях. Образцы из основного металла с надрезами и сварные с неповарами, закрепляли в разработанном приспособлении, позволяющем путем изгиба создавать определенный уровень УПД одновременно в серии образцов. Уровень

возникающих напряжений $\sigma = 0,8-1,2 \sigma_{0,2}$.

Глава 3. Механическая нагрузка оказывает определяющее влияние на УПД. Экспериментально для исследуемых случаев установлено, что деформации в надрезах возрастают с увеличением приложенной нагрузки и глубины надрезов по закону, близкому к параболическому; максимальные деформации происходят в слое, расположенном у вершины надреза, и с удалением от нее уменьшаются по экспоненциальному закону.

Как известно, температура, вызывая активизацию коррозионной среды и изменение упруго-пластического состояния металла, интенсифицирует процессы коррозионного растрескивания. Испытания по влиянию температуры на протекание упруго-пластических деформаций в надрезах проводили в установке ИМАШ-5с-65, нагревая образцы (пропуская электрический ток) от 150° до 800°C в вакууме. Внешнее усилие прикладывали после нагрева до соответствующей температуры. В процессе непрерывного деформирования фиксировали с помощью фотографирования характер протекания деформаций в концентраторах.

Определение деформаций в образцах и в концентраторах (надрезах) позволило установить, что деформации возрастают с повышением температуры испытаний. При этом скорость деформации в надрезе $\dot{\epsilon}_k$ превосходит скорость деформации в гладком образце $\dot{\epsilon}_0$. Чувствительность к надрезу, характеризуемая отношением деформаций в концентраторе ϵ_k к деформациям в гладком образце ϵ_0 на одинаковой базе, наиболее проявляется при температуре 150°C . При дальнейшем повышении температуры происходит снижение прочностных характеристик исследуемых материалов, увеличение общей деформации образцов, и это отношение уменьшается.

Оценивая влияние 3%-ного раствора NaCl на протекание деформаций в условиях квазистатического растяжения установили, что величины деформаций в концентраторах при осевых напряжениях в образцах больше 30 кгс/мм^2 , по сравнению с испытаниями без среды, возросли. Связано это, по-видимому, с проявлением эффекта Ребиндера. Адсорбировавшиеся на поверхности металла активные хлор-ионы вызывают снижение поверхностной энергии, вследствие чего облегчается разрыв межатомных связей металла, находящегося под растягивающим напряжением, зарождаются пластические сдвиги, облегчается выход групп дислокаций на поверхность. При достижении критического уровня пластической деформации $\epsilon_{кр}$ в вершине

концентратора разрушается защитная окисная пленка, появившаяся коррозионная трещина становится еще более острым концентратором напряжений и увеличивает локальную пластическую деформацию. Изменяется характер пластического течения в зоне концентратора. Если при испытаниях без среды зона пластической деформации наибольшей длины расположена под углом $40-70^\circ$ к оси надреза, то в 3% NaCl максимальные деформации имеют место в основном по центру надреза. Квасистатические испытания в 3% NaCl позволили установить, что критический уровень УПД у обоих материалов достигается при напряжениях $\sigma_{кр}$, близких к условному пределу текучести $\sigma_{0,2} = 30-32 \text{ кгс/мм}^2$. Но степень падения потенциала ($\Delta\varphi$) в сплаве Zr+2,5% Nb в 3-4 раза выше, чем в стали I2X18NiOT. Концентраторы напряжений типа надрезов не влияют на величины $\sigma_{кр}$, но увеличивают скорость достижения ϵ этих величин, вследствие чего надрезы глубиной $h_k = 0,4 \text{ мм}$ (10% толщины образцов δ) снижают уровень напряжений $\sigma_{кр}$ достижения $\epsilon_{кр}$ на 16% в стали I2X18NiOT и на 33,3% - в сплаве Zr по сравнению с металлом без надрезов, а $h_k = 0,8 \text{ мм}$ (20% δ) - на 32% в стали и на 53,3% - в сплаве Zr. Это свидетельствует о большей склонности сплава Zr+2,5%Nb к коррозионно-механическому разрушению в среде 3% NaCl при наличии эксплуатационных концентраторов по сравнению со сталью I2X18NiOT.

Глава 4. В работах многих исследователей указывалось, что пониженной коррозионной стойкостью у исследуемых материалов обладают отдельные зоны сварного соединения в связи с неоднородностью свойств, вызванной теплофизическим и химико-металлургическим воздействием сварки. С помощью методики, позволяющей расчлениить и изучить влияние отдельных показателей неоднородности свойств сварных соединений на чувствительность к концентраторам, образцы-имитаторы из основного металла были подвергнуты предварительному нагреву электрическим током по характерным термическим циклам и деформированию в специальной имитационной установке и в установке ИМАШ-5с-65.

Предварительная пластическая деформация удлинения на величину $\epsilon_{пр} = 2-10\%$ вследствие упрочнения материалов при наклепе и повышения их прочности способствует снижению скорости деформации в концентраторе типа надрезов ($h_k = 10\% \delta$) в 2-4 раза по сравнению с образцами, не подвергнутыми предварительному деформированию. При растяжении в 3% NaCl критическое состояние у предва-

рительно продеформированных на $\epsilon_{кр}$ стальных образцов наступает при уровне напряжений в 1,5 раза больше $\sigma_{0,2}$ (45,8 кгс/мм²), тогда как у сплава $Zr + 2,5\%Nb$ критический показатель $\epsilon_{кр}$ достигается уже при напряжениях 11,5 кгс/мм², очевидно, вследствие увеличения несогласованности защитной окисной пленки с матрицей после предварительного деформирования.

Предварительный нагрев в интервале 500–1000°C по характерным термическим циклам сварки вызывает в стали 12Х18Н10Т рост зерен и некоторое снижение прочности, происходит уменьшение критической деформации $\epsilon_{кр}$ и увеличение скорости ее достижения $\dot{\epsilon}$. В сплаве $Zr + 2,5\%Nb$ при температурах 600–900°C происходят структурные превращения, возникают на поверхности металла остаточные напряжения 2 и 3 рода, происходит упрочнение образцов и снижение скорости деформации в концентраторе ϵ_k в 2–4 раза по сравнению с термически необработанными образцами. Образующаяся окисная пленка обладает высокими прочностными и защитными свойствами. В 3% NaCl происходит уменьшение $\epsilon_{кр}$ и скорости его достижения $\dot{\epsilon}$, критические напряжения $\sigma_{кр}$ возрастают в 1,5 раза.

При испытаниях сварных образцов в 3% NaCl установлено, что величины деформационных показателей несколько уменьшились ($\epsilon'_{кр} = 1,7$) для сплава $Zr + 2,5\%Nb$ и повысились ($\epsilon'_{кр} = 1,5$) для стали 12Х18Н10Т. Уровень критических напряжений $\sigma'_{кр}$ изменился незначительно. Но технологические концентраторы типа не-проваров ($h_k = 10\%$) снижают уровень $\sigma'_{кр}$ в стали на 8,6% и в сплаве $Zr + 2,5\%Nb$ – на 16,3%, а глубиной $h_k = 20\%$ (0,8 мм) соответственно на 19,8 и 27,4%. Т.е. в среде 3% NaCl на начало коррозионно-механического разрушения большее влияние оказывают дефекты основного металла, чем сварного соединения.

При коррозионно-усталостных испытаниях (база испытаний $N = 10^6$ циклов, частота – $f = 500$ цикл/мин) наличие концентраторов напряжений проявляется в значительной потере циклической прочности образцов. Установлено, что при УПД меньше критической $\epsilon_{кр}$, напряжения в заметной степени не ускоряют процесс коррозионно-механического разрушения сплава $Zr + 2,5\%Nb$ в нейтральной среде.

Результаты автоклавных испытаний показали, что на образцах-имитаторах из основного металла (стальных и циркониевых), находящихся под напряжением 0,8–1,1 $\sigma_{0,2}$ (25–33 кгс/мм²), следы

коррозии полностью отсутствуют. По данным металлографических исследований, структурных изменений, вызванных коррозионными испытаниями, не обнаружено. При напряжениях больше $1,2 \sigma_{0,2}$ ($36 - 40 \text{ кгс/мм}^2$) в надрезах образцов из сплава $\text{Zr} + 2,5\% \text{Nb}$ отмечено появление белой осыпающейся окисной пленки.

Изучение внешнего вида сварных циркониевых образцов позволило отметить побеление отдельных зерен по границам рекристаллизации. Непровары глубиной до 20% не явились очагами для развития коррозионных процессов. Это говорит, во-первых, о том, что уровень критических напряжений $\sigma_{кр}$ в воде повышенных параметров составляет больше 36 кгс/мм^2 ; во-вторых, что структурно-химическая неоднородность отдельных зон сварного соединения для коррозионной стойкости сплава $\text{Zr} + 2,5\% \text{Nb}$ более значима по сравнению с геометрической неоднородностью.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В качестве критерия сопротивляемости металлов началу разрушения в коррозионных средах обосновывается деформационный показатель $\epsilon_{кр}$, определяющий величину критической упруго-пластической деформации, вызывающую начало коррозионно-механического разрушения. Установлено, что эксплуатационные и технологические факторы могут оказывать неоднозначное влияние как на величину деформационного показателя $\epsilon_{кр}$, так и на время, в течение которого деформация достигает критических значений при нагружении. Определены величины деформационных показателей для исследуемых материалов: для стали 12Х18Н10Т $\epsilon_{кр} = 1,2 \pm 0,08\%$, для сплава $\text{Zr} + 2,5\% \text{Nb}$ $\epsilon_{кр} = 1,8 \pm 0,10\%$.

2. Разработана методика определения деформационного показателя $\epsilon_{кр}$, основанная на использовании и усовершенствовании следующих методик:

а) методики определения деформаций на малых базах методом отпечатков. Исходя из физической картины деформирования образцов с концентраторами типа мелкой выточки показано, что для определения упруго-пластических деформаций в концентраторе с радиусом кривизны до $0,15 \text{ мм}$ базу наносимых отпечатков целесообразно выбирать равной $0,5 \text{ мм}$ с удалением от вершины концентратора на $0,1 \text{ мм}$;

б) методики определения критических деформаций $\epsilon_{кр}$, вызывающих начало коррозионно-механического разрушения, по изменению электродного потенциала металла при нагружении с постоянной ско-

ростью;

в) методики оценки влияния концентраторов напряжений при наличии коррозионных сред по результатам испытаний при непрерывном нагружении, длительной выдержке в среде под напряжением, при циклическом нагружении (база испытаний 10^6 циклов, частота 500 цикл/мин).

3. Исследовать влияние факторов эксплуатационного воздействия. Экспериментально установлено, что для изучаемых металлов:

а) деформации в концентраторе в зависимости от растягивающих напряжений возрастают по закону, близкому к параболическому, типа $\epsilon_k = c \sigma_0^2$ и уменьшаются при удалении от вершины концентратора по экспоненциальному закону;

б) нейтральная среда типа 3%-ного раствора NaCl интенсифицирует протекание пластической деформации в концентраторах напряжений типа мелкой выточки при напряжениях выше 30 кгс/мм² в 1,6–3,0 раза по сравнению с испытаниями без среды;

в) с повышением температуры скорость нарастания пластических деформаций в концентраторе $\dot{\epsilon}_k$ в зависимости от нагрузки возрастает по степенному закону; при этом отношение деформаций в концентраторе к деформациям в гладком образце на одинаковой базе $\xi = \epsilon_k / \epsilon_0$ изменяется неоднозначно и имеет максимум при температурах $\sim 150^\circ\text{C}$, вследствие локальной интенсификации пластического течения металла в концентраторе. При увеличении температуры выше 150°C это отношение уменьшается.

4. При коррозионно-механических испытаниях образцов из исследуемых материалов установлено, что:

а) уровень критических деформаций $\epsilon_{кр}$, при которых начинается процесс коррозионно-механического разрушения, в различных типах нейтральных сред ($\text{pH} \approx 7$) неодинаков, зависит от состава среды и температуры;

б) в растворе 3%-ного NaCl сплав Zr с 2,5% Nb более восприимчив к концентраторам напряжений по сравнению со сталью I2X18NiOT , что характеризуется более быстрым достижением критического значения деформационного показателя $\epsilon_{кр}$. Степень падения электродного потенциала ($\Delta\phi$) у сплава Zr с 2,5% Nb в 3–4 раза превосходит степень падения потенциала у стали I2X18NiOT ;

в) при деформациях в металле меньше критических ($\epsilon_{кр}$) на-

пряжения в заметной степени не ускоряют процесс коррозионного разрушения исследованных сплавов в нейтральных средах.

5. С помощью методики, позволяющей расчлениить и изучить влияние факторов термдеформационного воздействия сварки на чувствительность этой зоны к концентраторам напряжений, установлено, что:

а) факторы термдеформационного цикла сварки (нагрев и пластическое деформирование) оказывают различное влияние на коррозионно-механическое поведение исследованных материалов в 3% NaCl при наличии концентраторов напряжений типа мелкой выточки, изменяя величину деформационного показателя $\epsilon_{кр}$ и скорость его достижения $\dot{\epsilon}$;

б) в стали 12Х18Н10Т предварительное пластическое деформирование растяжением (на 2-25%) снижает скорость деформации в нанесенном после предварительного деформирования концентраторе в 2-4 раза по сравнению с недеформированным состоянием, одновременно снижая скорость достижения величины $\epsilon_{кр}$; предварительное термическое воздействие (нагрев по термическим циклам сварки до температур 500-1000°C) повышает чувствительность к концентратору и интенсифицирует начало коррозионно-механического разрушения, что характеризуется снижением величины деформационного показателя $\epsilon_{кр}$;

в) в сплаве Zr с 2,5% Nb предварительное деформирование (на 2-10%) понижает скорость деформаций в концентраторе в 2-4 раза по сравнению с недеформированным состоянием, но при этом происходит повышение скорости достижения $\dot{\epsilon}$ величины деформационного показателя $\epsilon_{кр}$, вследствие чего уменьшается сопротивляемость началу коррозионно-механического разрушения при квазистатическом растяжении в среде 3%-ного NaCl ; понижение достигается предварительным нагревом до температур 500-1000°C.

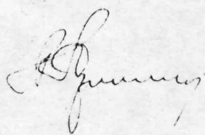
6. Установлено, что коррозионная стойкость сплава Zr с 2,5% Nb в воде высоких параметров ($T = 300^{\circ}\text{C}$, $p = 85$ атм) в большей степени определяется структурно-химической неоднородностью зон сварного соединения, нагреваемых в процессе сварки выше 600°C, по сравнению с геометрической неоднородностью.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Полярус А.Н. Сравнение способов нанесения отпечатков при определении деформаций на малых базах. "Заводская лаборатория",

1974, № 8, с. 1011-1012.

2. Стеклов О.И., Полярус А.Н., Ковалев В.А. Экспериментальное исследование напряженного состояния в вершине концентратора стали I2XI8H10T. "Известия вузов. Машиностроение", 1975, № 2, с. 13-18.
3. Полярус А.Н., Фокин Г.Д., Стеклов О.И. Влияние технологических концентраторов напряжений на коррозионную стойкость сварных соединений трубопроводов из сплава циркония с 2,5% ниобия, выполненных электронно-лучевой сваркой. В сб. тезисов докладов У Всесоюзной конференции по электроннолучевой сварке. Киев, 1975, с. 52-53.
4. Стеклов О.И., Полярус А.Н. К обоснованию выбора базы при определении пластических деформаций в вершине концентратора напряжений методом отпечатков. "Заводская лаборатория", 1976, № 6, с. 726-727.
5. Стеклов О.И., Лапшин Л.Н., Полярус А.Н. Оценка критических напряжений при непрерывном деформировании металлических материалов в коррозионной среде. "Защита металлов", 1977, № 3, с. 341-343.
6. Полярус А.Н., Стеклов О.И. Устройство для коррозионного испытания образцов под напряжением. "Заводская лаборатория", 1977, № 12, с. 1514-1515.



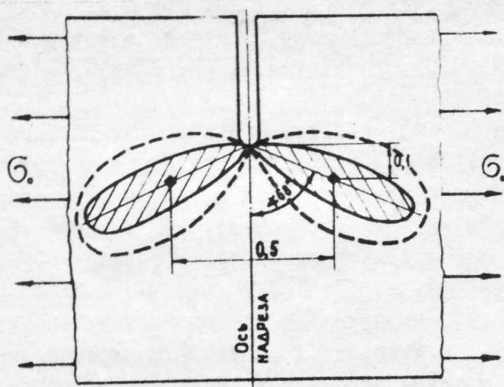


Рис. 1. Характер протекания деформаций при растяжении образцов и схема нанесения баз у вершины концентратора.

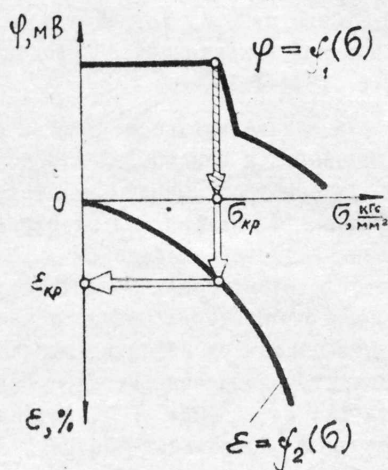


Рис. 2. Определение критических упруго-пластических деформаций (УПД) $\epsilon_{кр}$ и напряжений $\sigma_{кр}$ по изменению электродного потенциала металла ϕ при квазистатическом растяжении с постоянной скоростью деформирования в 3%-ном растворе NaCl