

**НАДЕЖНОСТЬ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Издательство ТГТУ

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

**НАДЕЖНОСТЬ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Лабораторные работы
для студентов 4 – 5 курсов специальностей 240801, 260601
дневного и заочного отделений



Тамбов
Издательство ТГТУ
2005

УДК 658.562.5
ББК Л11-502я73-5
П286

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент
О.О. Иванов

Авторы-составители:

С.И. Пестрецов, В.Я. Борщев, В.Н. Долгунин

Пестрецов, С.И.

П286 Надежность технологического оборудования : лабораторные работы / авт.-сост. : С.И. Пестрецов, В.Я. Борщев, В.Н. Долгунин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 36 с.

Лабораторные работы направлены на закрепление и лучшее усвоение теоретического материала по основным разделам курса «Надежность технологического оборудования».

Предназначены для студентов 4 – 5-го курсов специальностей 240801, 260601 дневной и заочной формы обучения.

УДК 658.562.5
ББК Л11-502я73-5

© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ), 2005
© Пестрецов С.И., Борщев В.Я.,
Долгунин В.Н., 2005

Учебное издание

**НАДЕЖНОСТЬ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

Лабораторные работы

Авторы-составители: ПЕСТРЕЦОВ Сергей Иванович,
ДОЛГУНИН Виктор Николаевич,
БОРЩЕВ Вячеслав Яковлевич

Редактор Т.М. Глинкина
Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано в печать 3.05.2005.

Формат 60 × 84 / 16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура Times New Roman. Объем: 2,09 усл. печ. л.; 2,0 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. 309^М

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ КОРРОЗИОННОМ ИЗНАШИВАНИИ

- Цели работы:*
- 1 Освоить способ испытания конструкционных материалов в условиях их коррозионного изнашивания методом «до отказа».
 - 2 Научиться экспериментально устанавливать закон распределения отказов и недетерминированные показатели надежности конструкционных материалов на основе теоретических положений теории надежности.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Коррозионно-механическое изнашивание – разрушение трущейся поверхности детали, обусловленное одновременно внешним механическим воздействием и интенсивным коррозионным процессом в поверхностных слоях.

Возможны следующие разновидности коррозионно-механического изнашивания: при воздействии жидкой или газовой агрессивной среды; изнашивание, усиленное окислением атмосферы; изнашивание при наличии вибрации – фреттинг-коррозия [1].

Окислительное изнашивание является самой распространенной разновидностью коррозионно-механического изнашивания. Так, при трении (подшипники скольжения и качения) происходит окисление металла кислородом воздуха. На поверхности детали образуются хрупкие и твердые пленки окислов, которые разрушаясь, обнажают новые слои металла. Продукты изнашивания отделяются в виде порошка или частиц окислов, которые в свою очередь могут являться причиной механического (абразивного) изнашивания. Интенсивность процесса при окислительном изнашивании меньше, чем при всех других видах изнашивания, и в деталях машин она составляет не более 0,05 мкм/ч. Окислительное разрушение также имеет место в емкостях, аппаратах, мерниках, дозаторах и т.д., а также в металлоконструкциях, расположенных вне производственного помещения, площадках обслуживания, металлических балках и перекрытиях цехов.

Одной из основных задач проблемы надежности и долговечности является разработка методов контроля и определения числовых значений показателей надежности и долговечности технологического оборудования. Эта задача решается методами обработки данных эксплуатационных наблюдений и ускоренных испытаний, а также расчетным путем.

Метод эксплуатационных наблюдений наиболее распространен. При этом следует учитывать, что долговечность оборудования может исчисляться тысячами часов и за этот период накопленная информация стареет, а изделие может быть модернизировано, в том числе и с применением новых технологий.

Расчетный метод в настоящее время еще не оформился в инженерный метод из-за сложности задачи, ее новизны и недостаточного количества фактических и опытных данных. Поэтому в настоящее время наиболее экономически целесообразным является метод ускоренных испытаний, дающий возможность судить о надежности и долговечности изделий в нормальных условиях эксплуатации по значению соответствующих показателей при форсированных режимах (повышенные нагрузки, скорости, температуры, концентрации реагентов и т.д.).

Методы испытаний (в том числе и ускоренных испытаний) конструкционных материалов в условиях их коррозионного изнашивания должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1 Принудительное ускорение коррозионного процесса при проведении ускоренных испытаний не должно изменять сам механизм коррозии. Сокращение времени испытаний за счет увеличения агрессивности среды может вызвать изменение характера процесса, свойств продуктов коррозии и их распределения по поверхности, защитных свойств пленок и интенсивность коррозии. Для материалов, мало отличающихся по коррозионной стойкости, продолжительность испытания должна быть выбрана с таким расчетом, чтобы это различие можно было оценить.
- 2 При выборе ускоренного метода испытания нужно учитывать состав и свойства коррозионной среды, в которой будут эксплуатироваться изделия.
- 3 Ускоренный метод испытания должен учитывать условия работы изделия.

4 Ускоренные методы испытаний необходимо разрабатывать и выбирать для каждой группы конструкционных материалов в отдельности.

5 Следует правильно выбирать показатель коррозии. Для количественного выражения скорости коррозии металлов приняты показатели коррозии: глубинный, изменения массы, объемный, механический и другие. Весовой показатель, удовлетворительно отражающий поведение стали, меди и цинка, не всегда применим к алюминиевым сплавам и нержавеющей сталям. Поведение последних металлов оценивается наиболее правильно по глубине проникновения коррозии и коэффициенту ее неравномерности.

6 Ускоренные испытания следует по возможности использовать для получения сравнительных данных. При испытаниях новых сплавов или средств защиты необходимо параллельно испытывать родственные сплавы или покрытия, по которым уже имеются надежные данные об их коррозионном изнашивании.

Методы ускоренных испытаний классифицируются по характеру создаваемых условий [2]:

- при полном погружении в электролит;
- при периодическом погружении в электролит;
- при периодическом обрызгивании электролитом;
- в атмосфере с постоянной влажностью;
- в атмосфере с постоянной влажностью в присутствии коррозионных агентов;
- воспроизводящие условия конденсации.

На практике применяют следующие методы оценки коррозионной стойкости [2]:

– весовой метод (по изменению массы образцов) – наиболее простой и надежный. Применяется в случаях, когда коррозия имеет равномерный характер, а также при изучении коррозии малоуглеродистых сталей, цинка и меди;

– объемный метод (по изменению количества выделившегося в процессе коррозии водорода или количества поглощенного кислорода) – в 10...100 раз более точен весового. Применяется, когда процесс коррозии идет преимущественно с выделением водорода или с поглощением кислорода;

– по глубине проникновения коррозии. Этот метод применяется, когда коррозия носит неравномерный характер, что наблюдается, например, на алюминиевых сплавах, низколегированных и нержавеющей сталях;

– по изменению механических свойств материала. Часто используется при изучении коррозии алюминиевых сплавов;

– по изменению отражательной способности поверхности металла. Применяют при изучении начальных стадий коррозии, а также для изучения коррозии декоративных покрытий, нержавеющей сталей;

– по изменению электрического сопротивления;

– по времени появления первого коррозионного очага или определенной площади коррозии;

– по определению количества металла, перешедшего в раствор в процессе коррозии;

Методика испытаний на надежность зависит, в первую очередь, от степени восстанавливаемости изделия. В случае восстанавливаемых

испытывается либо множество изделий до первого отказа, либо единицы с проведением ремонтов (первый вариант более обоснован статистически, второй является экономически целесообразным). В случае невосстанавливаемых объектов испытывается множество изделий до отказа.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для испытания надежности конструкционных материалов методом «до отказа» в условиях их коррозионного изнашивания состоит (рис. 1) из стойки 1, диска 2, на котором закреплены 12 пневматических датчиков 3 (рис. 2). Корпус 1 пневматического датчика отказов (рис. 2) имеет пустотелую камеру 2. Испытуемый образец 3 толщиной δ герметично фиксируется с помощью винтов 4, прокладки 5 и фланца 6. Пустотелая камера 2 соединяется гибким шлангом 6 (рис. 1) с датчиком определения момента потери герметичности.

Датчик определения момента потери герметичности состоит из сосуда 4, заполненного водой и сообщающегося с атмосферой, а также стеклянной трубки 5, погруженной в воду на некоторую глубину (100...200 мм).

Установка размещается в вытяжном шкафу и работает следующим образом. Включается вытяжной вентилятор вытяжного шкафа. На исследуемый плоский образец конструкционного материала пипеткой наносится определенное количество кислоты. Момент отказа (разрыв испытуемого образца) фиксируется изменением уровня воды в стеклянной трубке 5.

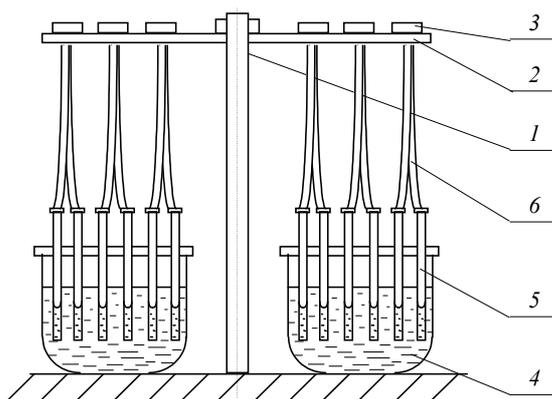
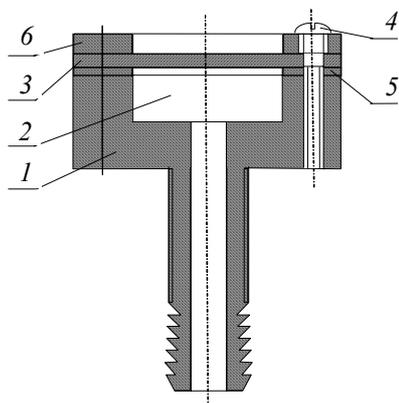


Рис. 1 Схема лабораторной установки:
1 – стойка; 2 – диск; 3 – пневматический датчик; 4 – сосуд;



5 – стеклянная трубка; 6 – шланг

Рис. 2 Пневматический датчик отказов:
1 – корпус; 2 – камера; 3 – образец; 4 – винт; 5 – прокладка; 6 – фланец

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Подготовить образцы конструкционного материала и закрепить их в датчиках. Проверить герметичность соединения образцов с корпусом датчика с использованием датчика сигнализации нарушения герметичности.

2 Включить вытяжной вентилятор.

3 Нанести на все образцы конструкционного материала определенное количество кислоты и одновременно начать отсчет времени наработки образцов на отказ.

Момент времени, в который происходит потеря герметичности пневматическим датчиком, фиксируется по результату наблюдения за уровнем воды в стеклянной трубке и соответствует времени наработки образца на отказ. В результате испытания получают вариационный ряд наработок до отказа с $N = 12$ в виде t_1, t_2, \dots, t_N .

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1 Записать полученный вариационный ряд наработок до отказа в табл. 1.

1 ВАРИАЦИОННЫЙ РЯД НАРАБОТОК НА ОТКАЗ

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Время наработки образца до отказа												

2 Определить показатели надежности испытуемого конструкционного материала по следующей схеме.

2.1 Весь интервал времени, в течение которого проводились испытания, разбить на равные участки $\Delta t_i = \text{const}$.

2.2 Для каждого из участков определить частоту отказов H_i :

$$H_i = \frac{\Delta n_i}{\Delta t_i}, \quad (1)$$

где Δn_i – количество отказов; Δt_i – величина интервала времени, в котором произошли эти отказы.

2.3 Построить гистограмму отказов – ступенчатый график, состоящий из прямоугольников, у которых основаниями служат частотные интервалы (наработки на отказ), а площади равны числу случаев попадания в этот интервал наработок.

2.4 Установить соответствие экспериментальных данных одному из известных законов распределения.

Выявление закона распределения необходимо осуществлять в следующей последовательности.

2.4.1 Подготовить сводную таблицу экспериментальных данных (табл. 2).

2 СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

№ п/п	Время наработки образца на отказ	H_i	$R_i = \sum_1^i H_i$	$\frac{R_i}{\sum_1^n H_i}$	$1 - \frac{R_i}{\sum_1^n H_i}$
1					
...					
12					

2.4.2 Построить на различных координатных сетках, характеризующих экспоненциальный, нормальный и логарифмический законы распределения, графики функции $f(t) = 1 - \left(R_i / \sum_{i=1}^n H_i \right)$ до получения на одной из них прямой линии.

Используют следующие вероятностные сетки, которые в случае получения на них прямой линии будут характеризовать определенные законы распределения (прил. 1): 1) сетка № 1 (полулогарифмическая бумага) – экспоненциальный закон распределения (рис. П1.1); 2) сетка № 2 – нормальный закон распределения (рис. П1.2); 3) сетка № 3 – логарифмический закон распределения (рис. П1.3).

Проводить прямую линию через нанесенные ранее на сетке точки необходимо так, чтобы отклонения от прямой линии имели бы наименьшие значения и располагались по обе стороны от нее. При этом величина критерия согласия Колмогорова [3, 4]

$$\lambda = D\sqrt{n}, \quad (2)$$

где D – наибольшее отклонение; n – число экспериментальных точек на графике.

Если $D\sqrt{n} \leq 1$, то опытное распределение согласуется с одним из известных законов.

2.5 Вычислить статистические оценки показателей надежности исследуемого конструкционного материала по формулам [3]:

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{n}; \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{T})^2}, \quad (4)$$

где \bar{T} – средняя наработка на отказ конструкционного материала толщиной δ , с; σ – среднее квадратичное отклонение наработки до отказа, с.

3 Определить доверительные границы средней наработки до отказа конструкционного материала

$$T_1 < \bar{T} < T_2, \quad T_1 = \bar{T} - \frac{\sigma\eta}{\sqrt{n-1}}, \quad T_2 = \bar{T} + \frac{\sigma\eta}{\sqrt{n-1}}, \quad (5)$$

где $\eta = 1,72$ – нормировочный параметр, зависящий от величины n .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что такое коррозионно-механическое изнашивание? Какие разновидности коррозионно-механического изнашивания Вы знаете?
- 2 Поясните механизм окислительного изнашивания.
- 3 Какие методы применяются для контроля и определения числовых значений показателей надежности и долговечности технологического оборудования?
- 4 Перечислите требования, которым должны удовлетворять методы испытаний конструкционных материалов в условиях их коррозионного изнашивания.
- 5 Как классифицируются методы ускоренных испытаний по характеру создаваемых условий?
- 6 Какие существуют методы оценки коррозионной стойкости?
- 7 Объясните назначение пневматического датчика отказов, его устройство и принцип действия.
- 8 В чем заключается метод испытания конструкционного материала «до отказа»? Перечислите преимущества и недостатки этого метода.
- 9 Объясните устройство и принцип действия лабораторной установки.
- 10 Опишите методику проведения эксперимента.
- 11 В чем заключается методика выявления закона распределения наработки на отказ?
- 12 Каким образом строится гистограмма отказов?

Лабораторная работа 2

ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ МЕТАЛЛОВ ПУТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВЫДЕЛИВШЕГОСЯ В ПРОЦЕССЕ КОРРОЗИИ ВОДОРОДА

Цель работы: Освоить метод оценки коррозионной стойкости металлов путем определения количества выделившегося в процессе коррозии водорода.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

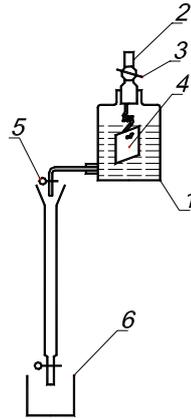
Один из часто употребляемых способов определения количества водорода, выделяющегося при коррозии металлов, заключается в том, что образец помещают в раствор и собирают выделившийся водород в заполненный тем же раствором эвдиометр (можно заменить перевернутой бюреткой) [2]. Образец соприкасается с малым объемом жидкости, вследствие чего ее состав со временем сильно меняется, и, кроме того, пузырьки водорода прилипают к стенкам трубки, что снижает точность измерения объема газа. Этот недостаток особенно заметен при малых количествах выделившегося водорода.

Удобнее и точнее метод определения скорости коррозии по количеству выделяющегося водорода, при котором водород вытесняет раствор, а объем последнего измеряется.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Стеклянная колба 1 с пробкой 2 заполнена 5 %-ной серной кислотой (рис. 1). Образец 4 подвешен на стеклянном крючке, укрепленном в пробке 2. Пробка имеет кран 3. В нижней части колбы имеется отводной

шланг с зажимом 5. Для сбора серной кислоты служит бюретка с сливается в стакан 6.



ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

- 1 Залить 5 %-ную серную
- 2 Измерить поверхность F поверхность образца, тщательно водопроводной воде и вытереть образец на весах.
- 3 Подготовленный образец
- 4 Кран 3 и пробку 2 плотно зажим 5, из которого при этом в раствора. В дальнейшем верхний открытый.
- 5 Замерить уровень является начальным.
- 6 В течение $\tau = 100$ мин с интервалом в 20 мин измерять уровень жидкости в бюретке. Результаты измерений уровня жидкости занести в табл. 1.
- 7 После окончания опыта закрыть верхний зажим 5 и извлечь образец с пробкой 2. Образец сполоснуть водой и вытереть. При невозможности удалить следы коррозии таким образом, образец зачистить наждачной бумагой.
- 8 Взвесить образец.

РИС. 1 УСТАНОВКА ДЛЯ ОЦЕНКИ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

вытесненной в процессе эксперимента зажимом. Кислота после окончания опыта

РАБОТЫ

кислоту в стеклянную колбу 1. образец 4. Зачистить наждачной бумагой обезжирить, промыть в проточной фильтровальной бумагой. Взвесить подвесить на стеклянном крючке. закрыть, после чего открыть верхний зажим 5 оставит бюретку вытечет небольшое количество жидкости в бюретке. Этот уровень

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

- 1 Рассчитать объем выделившегося водорода.
- 2 Определить потерю веса Δm образца в ходе эксперимента путем взвешивания и теоретически по формуле:

$$\Delta m = 2AV / nV_{H_2}, \quad (1)$$

где A – атомная масса металла; n – валентность иона металла; $V_{H_2} = 23804 \text{ см}^3$ – объем 1 моля водорода при 17°C и давлении 10^5 Па ; V – объем водорода, выделившегося за время испытания, см^3 .

Результаты записать в табл. 1.

- 3 Определить скорость коррозии, $\text{мг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ по формуле

$$K = (m_0 - m_1) / S\tau, \quad (2)$$

где m_0 – начальная масса образца, мг; m_1 – масса образца после удаления продуктов коррозии, мг; S – поверхность образца, м^2 .

1 К ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОБРАЗЦА

Материал,	Объем выделившегося водорода V		Δm , мг
	см^3 через мин	$\text{см}^3/\text{см}^2$ через мин	

пло- щадь поверх- ности F , см^2	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

4 По глубинному показателю коррозии (проницаемости) Π , мм/год, рассчитанному по формуле

$$\Pi = \frac{K876}{\gamma 100}, \quad (3)$$

ГДЕ γ – УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ОБРАЗЦА, ОХАРАКТЕРИЗОВАТЬ КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ИСПЫТАННОГО ОБРАЗЦА ПО ШКАЛЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ (ТАБЛ. 2).

2 Десятибалльная шкала коррозионной стойкости металлов

Группа стойкости	Скорость коррозии (проницаемость), мм/год	Балл
I Совершенно стойкие	<0,001	1
II Весьма стойкие	0,001...0,005	2
	0,005...0,01	3
III Стойкие	0,01...0,05	4
	0,05...0,1	5
IV Пониженно стойкие	0,1...0,5	6
	0,5...1	7
V Мало стойкие	1...5	8
	5...10	9
VI Нестойкие	>10	10

Контрольные вопросы

- 1 Опишите устройство экспериментальной установки и методику проведения эксперимента.
- 2 Объясните различие в скорости коррозии для различных образцов конструкционного материала в серной кислоте.

Лабораторная работа 3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ КОРРОЗИОННОМ ИЗНАШИВАНИИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР

- Цели работы:*
- 1 Освоить способ испытания конструкционных материалов при коррозионном изнашивании в условиях повышенных температур.
 - 2 Научиться экспериментально устанавливать закон распределения отказов и недетерминированные показатели надежности конструкционных материалов на основе теоретических положений теории надежности.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Коррозионные испытания при повышенных температурах проводят в статических и динамических условиях [2].

Преимуществами испытания в статических условиях являются простота и компактность оборудования. Так, например, испытания в ампулах можно проводить в обычных лабораторных условиях. Однако, при этом не создаются реальные условия, в которых работает конструкционный материал (например, движение коррозионной среды - теплоноситель в теплоиспользующих установках движется с довольно большой скоростью). Тем не менее результаты статических испытаний можно рассматривать как предварительную оценку коррозионной стойкости материала. На основании этих результатов производят отбор наиболее коррозионно-стойких сплавов, которые в дальнейшем проверяют на стендах и в действующей аппаратуре непосредственно на производстве.

При динамических испытаниях наиболее полно воспроизводятся производственные условия, где коррозионная среда движется и омывает образцы. Динамические испытания проводят чаще всего в петле. Петля представляет собой в большинстве случаев замкнутый контур, внутри которого под действием насосов циркулирует коррозионная среда. Перед камерой, в которую помещают образцы, устанавливается нагреватель для подогрева жидкости до рабочей температуры. Необходимость применения насосов, работающих при высоких температурах и давлениях, сильно усложняет конструкцию петли, делает ее громоздкой и дорогостоящей. Поэтому в некоторых случаях приходится ограничиваться испытаниями в статических условиях, а в динамических условиях проверять лишь те материалы, которые прошли предварительные испытания.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Для статических методов коррозионных испытаний обычно применяют установки, где в качестве сосуда для испытаний используется автоклав.

Образцом простейшего автоклава может служить ампула. Это толстостенный сосуд (рис. 1) с рабочим объемом до 10 см^3 , на внешней стороне которого имеется резьба для накидной гайки 1. Корпус 3 закрывается пробкой 2 с шаровой поверхностью, входящей в коническое расширение верхней части корпуса, и затягивается накидной гайкой. В данном случае применено уплотнение «шар по конусу». Разнородность сталей (легированная и углеродистая), из которых изготовлены корпус и гайка, предотвращает образование задиров на резьбе при откручивании гайки.

Испытания в ампулах имеют ряд недостатков:

а) давление и температуру внутри ампул определяют лишь расчетным путем. При нарушении герметичности изменение режима испытаний сразу может быть и не обнаружено;

б) объем коррозионной среды ограничен, что приводит к весьма малым значениям отношения количества воды к поверхности образца;

в) в одной ампуле испытывается не более одного образца;

г) ненадежность уплотнения приводит иногда к утечке коррозионной среды в виде пара.

Несмотря на эти недостатки, ампулы имеют и целый ряд преимуществ. Прежде всего – это простота конструкции и их изготовления. Небольшие размеры ампул позволяют применять для их нагрева любую лабораторную печь, в которой можно поместить 10...15 ампул одновременно. Кроме того, в ампулах можно исследовать все продукты коррозии, возникшие в результате коррозии одного и того же образца, и проводить анализ электролита после испытаний.

Для длительных массовых испытаний ампулы вряд ли пригодны, но для быстрой предварительной оценки коррозионных свойств материалов

они вполне себя оправдали.

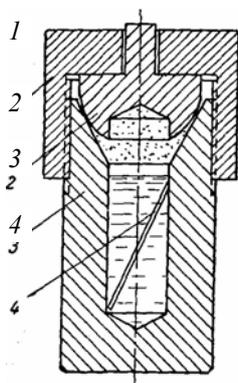


Рис. 1 Ампула для коррозионных испытаний при повышенных температурах:

1 – накидная гайка; 2 – пробка;
3 – корпус; 4 – образец

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Поместить в ампулу образец исследуемого конструкционного материала и залить необходимое количество воды. Объем заливаемой воды рассчитать по графику состояния воды (рис. 2). Вода должна полностью закрывать образец при нагреве до температуры испытания. Большее количество воды приводит к потере герметичности ампулы в результате испарения.

2 Набор ампул (12 шт.) поместить в предварительно прогретую муфельную печь.

- 3 По истечении заданного времени извлечь ампулы из печи и охладить до комнатной температуры.
- 4 Извлечь из ампул образцы конструкционного материала, очистить от коррозии и взвесить.

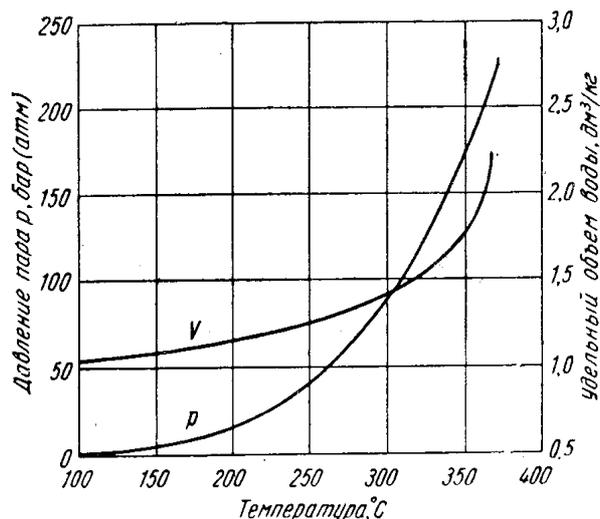


Рис. 2 Зависимость давления p и удельного объема воды V от температуры на линии насыщения:

$$t_{кр} = 374,15 \text{ } ^\circ\text{C}; p_{кр} = 225,65 \text{ бар (атм)}; V_{кр} = 3,26 \text{ см}^3/\text{г}$$

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

- 1 Результаты взвешивания образцов занести в табл. 1.

1 Вес образцов при коррозионном изнашивании в условиях повышенных температур

Вес образца, г	Порядковый номер ампулы			Средний вес образца, г
	1	...	12	
До испытаний				
После испытаний				

2 Весь интервал времени, в течение которого проводились испытания, разбить на равные участки $\Delta t_i = \text{const}$.

3 Для каждого из участков (формула (1) лабораторной работы № 1) определить частоту отказов H_i .

4 Построить гистограмму отказов.

5 Установить соответствие экспериментальных данных определенному закону распределения, для чего подготовить сводную таблицу экспериментальных данных (см. табл. 2 лабораторной работы № 1) и построить графики функции $f(t) = 1 - \left(R_i / \sum_{i=1}^n H_i \right)$ на различных координатных сетках (см. прил. 1) до получения на одной из них прямой линии.

6 Вычислить среднюю наработку на отказ \bar{T} конструкционного материала и среднее квадратичное отклонение наработки до отказа σ (формулы (3 – 4) лабораторной работы № 1).

7 Определить доверительные границы средней наработки до отказа конструкционного материала (формула (5) лабораторной работы № 1).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 В каких условиях проводят коррозионные испытания при повышенных температурах? В чем преимущества и недостатки испытаний при этих условиях?

2 Опишите конструкцию ампулы для коррозионных испытаний при повышенных температурах в статических условиях.

3 В чем заключается методика обработки экспериментальных данных при проведении коррозионных испытаний при повышенных температурах?

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА ПРИ АБРАЗИВНОЙ ЭРОЗИИ

Цели работы: 1 Освоить способ испытания конструкционных материалов в условиях их абразивной эрозии методом наработки «до отказа».

2 Научиться экспериментально устанавливать недетерминированные показатели надежности конструкционных материалов на основе теоретических положений теории надежности.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Механическое изнашивание – процесс разрушения поверхностей деталей машин упругими и пластическими деформациями металла поверхностных слоев, вызванный внешним механическим воздействием, без существенных физико-механических изменений. Разновидностями механического изнашивания являются: абразивное, изнашивание при пластическом и хрупком разрушении поверхности и абразивная эрозия [1, 2].

Абразивное изнашивание – разрушение при трении скольжения, обусловленное воздействием твердых частиц, вызывающих пластическую деформацию поверхности детали. Взаимодействие твердых частиц с поверхностью металла возможно различным путем: при трении детали по абразивной поверхности, при наличии твердых частиц между скользящими поверхностями и т.п. Обязательным признаком абразивного изнашивания считается разрушение при пластической деформации независимо от того, образуется ли при этом стружка или на поверхности материала появляются риски. Если в материал с незначительным сдвигом или без него внедрены твердые частицы, то этот вид разрушения также относится к абразивному.

В соответствии с источником и характером абразивных воздействий, испытываемых при работе деталей машин, абразивное изнашивание может быть разделено на следующие подвиды [1]:

– изнашивание царапанием твердыми выступающими частями сопряженной поверхности, которые могут оказаться твердыми структурными составляющими или абразивными частицами, внедрившимися в более мягкую поверхность (в смазке присутствуют твердые частицы);

– изнашивание двух сопряженных поверхностей твердыми частицами, которые передвигаются между ними, периодически закрепляются в одной и царапают другую, или, перекатываясь, выдавливают риску в более мягком материале;

– изнашивание поверхности детали при трении в абразивной среде (процесс измельчения в дробилках).

Изнашивание при пластическом разрушении имеет место, например, в подшипниках, залитых мягким сплавом, где в процессе работы сначала изменяются размеры подшипников, а затем отрываются части металла с поверхности.

Изнашивание при хрупком разрушении наблюдается в тех случаях, когда поверхностный слой одного из трущихся металлов в результате многократной деформации отдельных выступов становится хрупким (зубчатые передачи). Такое изнашивание еще называют контактной усталостью.

Абразивная эрозия – изнашивание под действием быстро движущихся частиц в потоке газа или жидкости. Изнашивание такого рода связано с движением сыпучих абразивных материалов (например, твердых катализаторов, адсорбентов, инертных носителей) по трубопроводам, в регенераторах, сушилках и других видах технологического оборудования, а также жидкости в насосах, задвижках и других элементах гидравлических машин.

Известен ряд методов для оценки интенсивности изнашивания при абразивной эрозии: взвешивание, профилометрирование, метод радиоактивных изотопов и др. [5].

Метод определения скорости изнашивания путем взвешивания образцов до и после процесса абразивной эрозии наиболее распространен и применяется при условии, что этот процесс носит равномерный характер по изнашиваемой поверхности.

Профилометрирование изношенных поверхностей позволяет выявить локальность, но требует применения дорогих измерительных приборов и инструментов (профилометров, профилографов, микрометров и др.), что не всегда удобно и доступно в инженерной практике.

Метод радиоактивных изотопов не получил практического применения в химической промышленности ввиду его низкой производительности и необходимости применения дорогостоящей измерительной аппаратуры.

В связи с изложенным для установления количественных характеристик надежности при абразивной эрозии в инженерной практике широко применяется метод исследования «до отказа».

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для испытаний конструкционных материалов методом наработки «до отказа» в условиях их газоабразивного изнашивания состоит (рис. 1) из компрессора 1 для подачи сжатого воздуха, устройства 2 для регулирования расхода воздуха, измерителя расхода 3 и испытательной камеры 4.

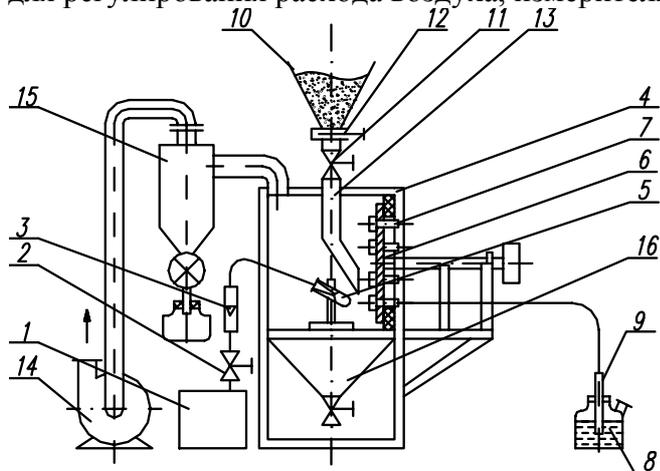


Рис. 1 Схема лабораторной установки:

- 1 – компрессор; 2 – регулятор расхода воздуха; 3 – измеритель расхода воздуха; 4 – рабочая камера; 5 – сопло; 6 – устройство поворотное; 7 – датчики пневматические; 8 – сосуд с водой; 9 – трубка стеклянная; 10 – бункер; 11 – регулятор расхода абразива; 12 – устройство запорное; 13 – трубопровод; 14 – вентилятор вытяжной; 15 – циклон; 16 – бункер

В камере 4 установлено с возможностью перемещения в пространстве сопло 5 для создания направленного потока воздуха, напротив которого на поворотном устройстве 6 закреплены 12 пневматических датчиков отказов 7. (Конструкция датчиков представлена на рис. 2 лабораторной работы № 1).

Пневматический датчик 7 соединяется шлангом с датчиком определения момента потери герметичности, который состоит из сосуда 8 с водой, сообщающегося с атмосферой, и стеклянной трубки 9, погруженной в воду на некоторую глубину (100...200 мм).

Над камерой 4 закреплен бункер 10 подачи абразивного материала (кварцевого песка). На трубопроводе 13 установлены регулятор расхода 11 и запорное устройство 12.

Для очистки и удаления обработанного воздуха предназначены вентилятор 14 и циклон 15, соединенные системой воздухопроводов с камерой 4. Крупная фракция абразивного материала собирается в накопительном бункере 16, установленном под камерой 4, откуда периодически удаляется.

Установка работает следующим образом.

Сжатый воздух подается компрессором 1 в сопло 5. Струя воздуха с кварцевым песком ударяет под некоторым углом в поверхность испытуемого образца, закрепленного в датчике отказов 7 (датчики от-

казов, закрепленные в поворотном устройстве 6, вводятся под воздействие струи последовательно друг за другом по мере обработки образцов до отказа). С течением времени испытуемый образец изнашивается и наступает ситуация отказа, которая выражается в потере герметичности пневматическим датчиком при его «пробое». Этот момент фиксируется изменением уровня жидкости в стеклянной трубке 9.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Подготовить образцы испытуемого конструкционного материала и закрепить их в датчиках. Проверить герметичность соединения образцов с корпусом датчика с использованием датчика сигнализации нарушения герметичности.

2 Подготовить один из датчиков к непосредственному испытанию.

3 Установить требуемый расход кварцевого песка путем пробного измерения доз при различных положениях регулятора 11.

4 Включить вытяжной вентилятор и компрессор. Установить регулятором 2 определенный расход воздуха.

5 Включить подачу песка в воздушный поток и одновременно начать отсчет времени наработки образца до отказа.

6 После отказа образца подачу песка прекратить и установить следующий образец для испытаний.

Момент времени, в который происходит потеря герметичности пневматическим датчиком и который фиксируется по результату наблюдения за уровнем воды в стеклянной трубке, соответствует времени наработки образца на отказ. В результате испытания получают вариационный ряд наработок до отказа с $N = 12$ в виде t_1, t_2, \dots, t_N .

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1 Записать полученный вариационный ряд наработок до отказа в таблицу (см. табл. 1 лабораторной работы № 1).

2 По результатам разрушения образца определить показатели надежности испытуемого конструкционного материала в конкретных опытных условиях по следующей схеме.

2.1 Построить гистограмму частот наработки образцов до отказа с шагом Δ (рис. 2):

$$\Delta = (t_{\max} - t_{\min}) / (1 + 3,32 \lg N). \quad (1)$$

2.2 Определить (по формулам (3) и (4) лабораторной работы № 1) статистические оценки показателей надежности исследуемого конструкционного материала.

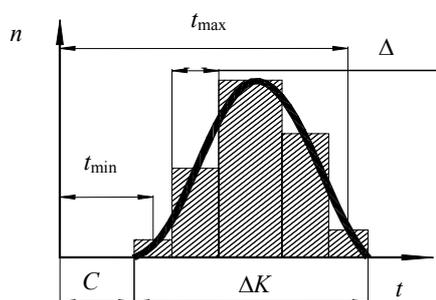


Рис. 2 Гистограмма частот

2.3 Определить коэффициент вариации

$$V = \sigma / T \quad (2)$$

и оценить справедливость применения для описания процесса газообразивного изнашивания конструкционных материалов нормального закона распределения случайной величины.

В соответствии с этим законом плотность вероятности распределения наработки до отказа будет иметь вид:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (3)$$

для которой значение коэффициента вариации $V \leq 0,33$.

2.4 Записать уравнение функции вероятности безотказной работы конструкционного материала при газоабразивном износе в виде

$$0 \leq t \leq c; \quad c \leq t \leq t_{\max};$$
$$P(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_c^t \exp\left[-\frac{(t-T)^2}{2\sigma^2}\right] dt, \quad (4)$$

где c – сдвиг по времени, с.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что такое механическое изнашивание? Какие разновидности механического изнашивания Вы знаете?
- 2 Что такое абразивное изнашивание? Что является обязательным признаком абразивного изнашивания?
- 3 На какие подвиды делится абразивное изнашивание?
- 4 Что такое абразивная эрозия?
- 5 Какие методы применяются для оценки интенсивности изнашивания при абразивной эрозии? В чем их преимущества и недостатки?
- 6 В чем заключается метод испытания конструкционного материала «до отказа»? Перечислите преимущества и недостатки этого метода.
- 7 Объясните назначение пневматического датчика отказов, его устройство и принцип действия.
- 8 Объясните устройство и принцип действия лабораторной установки.
- 9 Опишите методику проведения эксперимента и обработки опытных данных.
- 10 В чем заключается методика выявления закона распределения наработки на отказ?

Лабораторная работа 5

ИСПЫТАНИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКЛОННОСТИ К МЕЖКРИСТАЛЛИТНОЙ КОРРОЗИИ

Цель работы: Освоить способ испытания конструкционных материалов для выявления склонности к межкристаллитной коррозии.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Межкристаллитная коррозия – наиболее опасный вид электрохимического разрушения сплавов по причине того, что материал теряет свои прочностные свойства без заметного изменения внешнего вида.

Межкристаллитная коррозия может быть вызвана неправильной термообработкой, а также определенным термическим воздействием в процессе сварки или другими видами технологической обработки. Этому виду коррозии подвержены: аустенитные хромоникелевые стали; высокохромистые стали, содержащие более 13 % хрома; аустенитные стали, легированные молибденом; нержавеющие стали, легированные молибденом и медью.

Для различных марок сталей и сплавов предусмотрены следующие методы испытаний по выявлению склонности к межкристаллитной коррозии [2].

Стандартный метод испытания *A* нержавеющей сталей по ГОСТ 6032–58 – кипячение в растворе, содержащем $110 \text{ г/дм}^3 \text{ CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + 55 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ (плотностью 1,84), в колбах с обратными холодильниками в течение 24 ч. Этот метод применяют для сталей X13H4Г9, X14Г14НЗТ, X22Н6Т, 2Х18Н9, X20Н14С2, ЭИ694, ЭИ695 и их сварных соединений. На один образец размером $20 \times 80 \text{ мм}$ требуется приблизительно 100 см^3 раствора.

Для проверки готовых изделий и полуфабрикатов из хромоникелевых сталей марок 0Х18Н9, 0Х18Н9Т, 1Х18Н9, 2Х18Н9 и 1Х18Н9Т применяют ускоренный метод испытания (метод *B* ГОСТ 6032–58). Метод заключается в анодном травлении контролируемых участков поверхности детали, включенной в цепь постоянного тока при напряжении $5 \dots 9 \text{ В}$ и плотности тока $0,65 \text{ А/см}^2$. Анодное травление производят в растворах 10 %-ной щавелевой кислоты или 65 %-ной фосфорной кислоты. Для щавелевой кислоты плотность тока должна быть равной 1 А/см^2 ; при этом необходимо следить, чтобы образец не перегревался.

Оценку степени склонности к межкристаллитной коррозии осуществляют по изменению электросопротивления образца.

Начальное электрическое сопротивление образца рассчитывается по формуле

$$R_0 = \frac{4\rho_0 \ell_0}{\pi D_0^2}, \quad (1)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление образца (см. прил. 2); ℓ_0 – длина; D_0 – исходный диаметр.

Вследствие коррозии изменится диаметр образца и сопротивление возрастет до

$$R_1 = \frac{4\rho_0 \ell_0}{\pi D_1^2}, \quad (2)$$

где D_1 – конечный диаметр после коррозии.

Относительное изменение сопротивлений определяется выражением

$$\frac{R_1 - R_0}{R_1} = \frac{2\Delta D}{D_0}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) следует, что при одинаковой глубине проникновения коррозии относительное изменение сопротивления будет тем выше, чем меньше начальный диаметр образца.

Наибольшую чувствительность метод дает при изучении коррозии тонких листовых материалов и проволоки. Для выбора размеров образцов из различных металлов при оценке коррозии по изменению электро-сопротивления можно пользоваться кривыми, представленными на рис. 1.

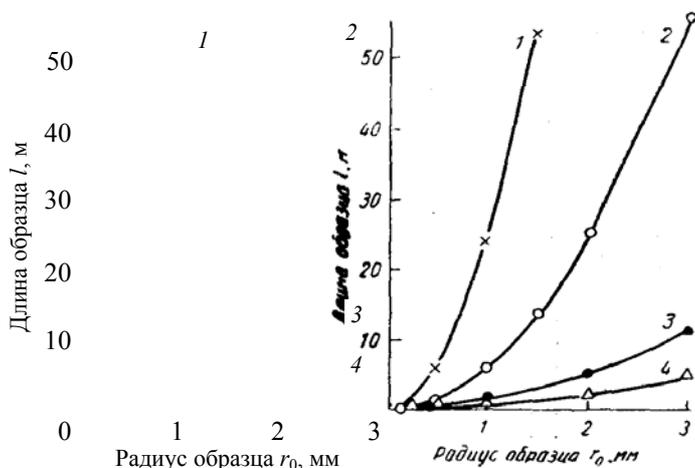


Рис. 1 Размеры проволочных образцов:
1 – АЛЮМИНИЙ; 2 – СТАЛЬ, ПЛАТИНА, ФОСФОРИСТАЯ БРОНЗА;
3 – КОНСТАНТАН; 4 – НИХРОМ

Описание лабораторной установки

Катодом служит свинцовый сосуд 1 (рис. 2), укрепленный на поверхности испытываемого изделия 3 с помощью резиновой манжеты 2. Температура испытания 20 ± 10 °С. Продолжительность испытания после включения тока 5 мин; при повышенной травимости продолжительность испытания сокращают до 1...2 мин. В свинцовый сосуд наливают 3...5 см³ 60 %-ного раствора серной кислоты и 0,5 % уротропина или другого ингибитора для серной кислоты.

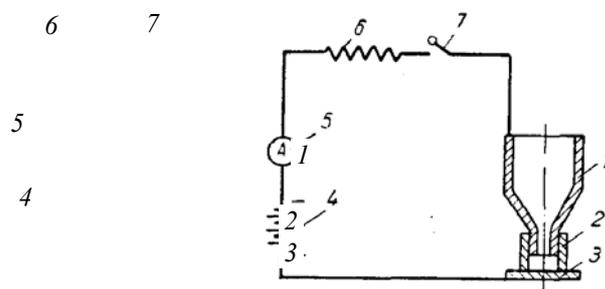


Рис. 2 Схема установки для определения межкристаллитной коррозии сталей методом анодного травления:

1 – сосуд свинцовый; 2 – манжета резиновая; 3 – образец;
4 – источник постоянного тока; 5 – амперметр; 6 – реостат; 7 – ключ

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Подготовить образцы испытываемого конструкционного материала, предварительно измерив электрическое сопротивление образца и его геометрические параметры. Результаты занести в таблицу.

2 Залить в сосуд травильный раствор. Включить испытуемый образец и свинцовый сосуд в электрическую цепь.

3 Установить заданные преподавателем режимные параметры испытания и одновременно начать отсчет времени испытания.

4 По окончании эксперимента свинцовый сосуд промыть проточной водопроводной водой, а на образце сошлифовать лыску длиной 10...25 мм и глубиной 0,5...1,0 мм.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1 Измерить время проведения эксперимента.

2 По формулам (1 – 3) рассчитать соответственно сопротивление образца до и после эксперимента, а также относительное изменение сопротивлений.

3 Изменение электросопротивления пересчитать на показатель степени поражения поперечного сечения образца m по уравнению

$$m = \frac{R_1 - R_0}{R_1} \quad (4)$$

4 Определить глубину проникновения коррозии (мм) по формулам:
для проволочного образца

$$\delta = \frac{D}{2} (1 - \sqrt{1 - m}) \frac{R_1 - R_0}{R_1}, \quad (5)$$

где D – диаметр проволоки;

для образца прямоугольного сечения

$$\delta = \frac{(a + b) - \sqrt{(a + b)^2 - 4abm}}{4}, \quad (6)$$

где a и b – размеры поперечного сечения образца.

5 Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Вид образца	Геометрические размеры, мм	Сопротивление образца, Ом		δ , мм	
		Расчетное	Экспериментальное		
Проволока					
Пластина					

6 Сошлифованный участок образца просмотреть в лупу при увеличении в 75 – 150 раз. При наличии межкристаллитной коррозии, помимо продольных борозд от шлифовки, должны быть видны поперечные, пересекающие эти борозды, извилистые линии, являющиеся разрушенными границами зерен.

Контрольные вопросы

- 1 Какими причинами может быть вызвана межкристаллитная коррозия и какие конструкционные материалы наиболее подвержены этому разрушению?
- 2 Дайте характеристику методам испытаний по выявлению склонности к межкристаллитной коррозии.
- 3 В чем заключается метод оценки степени склонности к межкристаллитной коррозии?
- 4 Опишите устройство лабораторной установки.

Лабораторная работа 6

ИСПЫТАНИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКЛОННОСТИ К КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Цель работы: Освоить способ испытания конструкционных материалов для выявления склонности к коррозионному растрескиванию под напряжением.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Коррозионное растрескивание сплавов возникает при одновременном воздействии коррозионной среды и статических растягивающих напряжений. Коррозионному растрескиванию под напряжением подвержены некоторые алюминиевые, магниевые и медные сплавы, а также высокопрочные сплавы и нержавеющие стали.

Склонность сплавов к этому виду коррозионного разрушения определяется структурой металла, величиной и характером напряжений, Напряжения в образцах при путями: созданием постоянной нагрузки [2]. Наиболее прост массовых лабораторных и деформируются растяжением или приспособлениях, на которых способности относительно просты любой лаборатории. К недостаткам следует отнести изменение 30...50 % от исходной величины требуют сложной аппаратуры.

При всех способах нагружения

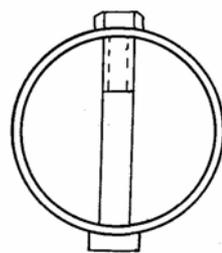


РИС. 1 ОБРАЗЕЦ В ВИДЕ КОЛЬЦА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТРУБ НА КОРРОЗИЮ

а также составом коррозионной среды. испытании можно создавать двумя деформации и приложением постоянной первый метод; он широко применяется в ускоренных испытаниях. Образцы изгибом и укрепляются в специальных затем и проводят испытание. Эти при- и легко могут быть изготовлены в испытаниях при постоянной деформации напряжений по времени, достигающее Испытания при постоянной нагрузке испытания должны проводиться как

сравнительные, т.е. одновременно должны испытываться ненапряженные образцы, а склонность к коррозионному растрескиванию должна устанавливаться по сравнению с уже известным материалом, применявшимся в данных условиях, для которых предназначаются испытываемые материалы.

Если образец за время, принятое для испытаний (обычно 3 месяца), не разрушился, то после ускоренных испытаний из него изготавливают образец для разрывных испытаний. По изменению механических свойств судят о поведении металла в напряженном состоянии.

Чаще всего испытываемые образцы конструкционного материала имеют форму полосок. Такая форма образца нужна для того, чтобы исключить влияние торцов, по которым обычно развивается местная коррозия, очаги которой могут стать концентраторами напряжения.

Для испытания на коррозию под напряжением труб диаметром d_T применяют кольца шириной 15 мм, вырезанные из трубы. Напряжения в образце создаются при помощи болта, проходящего сквозь отверстия в кольце, просверленные по диаметру (рис. 1). Изгибающий момент в наиболее напряженных сечениях M_A при незначительном сдавливании образца силой P рассчитывают по формуле

$$M_A = \frac{P}{4} d_T \left(1 - \frac{2}{\pi} \right) = 0,091 P d_T. \quad (1)$$

Напряжение растяжения при этом $\sigma = M_A / W$, где W – момент сопротивления.

Склонность сплавов к коррозионному растрескиванию определяют по времени, необходимому для появления первой трещины или полного разрушения образца, а также путем сравнения изменения механических свойств материала в напряженном и ненапряженном состоянии за время испытания.

При массовых коррозионных испытаниях показателем коррозии обычно служит время до разрушения образца или средняя продолжительность жизни образца. Результаты испытания выражают при этом обычно в виде кривых зависимости средней продолжительности жизни образцов от температуры закалки, отпуска, напряжений и т.д. Если образцы за время испытаний не растрескались, то дополнительно проверяют, не произошло ли в результате воздействия коррозионной среды изменение механических свойств материала.

О склонности сплавов к коррозионному растрескиванию судят по нескольким показателям – средней долговечности образцов, проценту треснувших образцов, наклону кривой развития процесса во времени и коэффициенту склонности сплава к коррозионному растрескиванию.

Коэффициент склонности сплава к коррозионному растрескиванию определяется из кинетических кривых зависимости количества разрушившихся образцов от времени (рис. 2). Площадь, заключенная между кривой и осью абсцисс, которую можно выразить в процентах от общей площади диаграммы, может служить дополнительным показателем, характеризующим склонность сплава к коррозионному растрескиванию; чем меньше эта площадь (на рис. 2 она заштрихована), тем сплав более стоек. На основании этой диаграммы удастся дополнительно дифференцировать сплавы, характеризующиеся одинаковыми показателями по долговечности и проценту треснувших образцов.

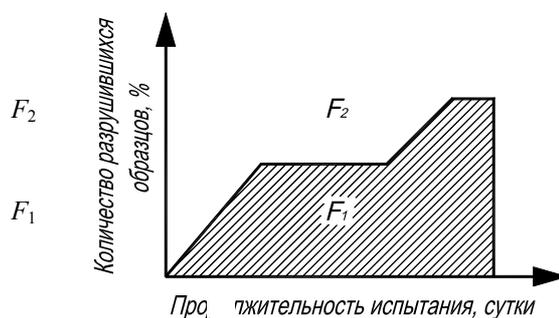


Рис. 2 Зависимость количества разрушившихся образцов от времени

Коэффициент, характеризующий склонность сплава к коррозионному растрескиванию, определяется по формуле:

$$K_p = F_1 / F_2, \quad (2)$$

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка состоит из ванны с коррозионной средой, в которую помещены 12 образцов (рис. 1) испытуемого конструкционного материала. Образец нагружен усилием затяжки болта. Усилие затяжки рассчитывается по формуле (1), исходя из предельно допускаемых напряжений на изгиб ($\sigma = 0,7[\sigma]_{\text{изг}}$) для конкретного конструкционного материала.

Такое же количество образцов (12 шт.) необходимо нагрузить усилием затяжки болта и разместить вне ванны с коррозионной средой.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 1 Подготовить образцы испытуемого конструкционного материала, нагрузив их заданным усилием.
- 2 Разместить образцы на полках и в ванне с коррозионной средой и отметить время начала эксперимента.
- 3 В течение всего заданного времени проведения эксперимента периодически следить за состоянием образцов. В случае обнаружения коррозионного растрескивания извлечь образец из ванны и отметить время жизни образца.
- 4 По окончании эксперимента слить из ванны коррозионную среду, а ванну тщательно дезактивировать.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Методика обработки опытных данных аналогична методике, используемой в лабораторной работе № 1.

Для определения величины коэффициента, характеризующего склонность исследуемого конструкционного материала к коррозионному растрескиванию, построить кинетическую кривую зависимости количества разрушившихся образцов от времени (рис. 2). Коэффициент рассчитать по формуле (2).

Контрольные вопросы

- 1 Что является причиной коррозионного растрескивания материала?
- 2 Какие материалы подвержены коррозионному растрескиванию?
- 3 Каким образом создаются напряжения в материале при проведении испытаний? В чем преимущества и недостатки известных методов?
- 4 Какую форму могут иметь исследуемые образцы материала и почему?
- 5 По каким показателям судят о склонности материала к коррозионному растрескиванию?
- 6 Опишите методику проведения эксперимента и обработки опытных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Хрущов М.М. Классификация условий и видов изнашивания деталей машин // Сб. 8 «Трение и износ в машинах». М.: Изд-во АН СССР, 1953.
- 2 Розенфельд И.Л., Жиганова К.А. Ускоренные методы коррозионных испытаний металлов. М.: Металлургия, 1966.
- 3 Рудобашта С.П., Долгунин В.Н. Надежность и долговечность машин и аппаратов химических производств: Текст лекций. М.: МИХМ, 1984. 48 с.
- 4 Зубова А.Ф. Надежность машин и аппаратов химических производств. Л.: Машиностроение, 1978. 215 с.
- 5 Базовский И. Надежность. Теория и практика. М.: Мир, 1965. 373 с.

1 Вероятностные сетки

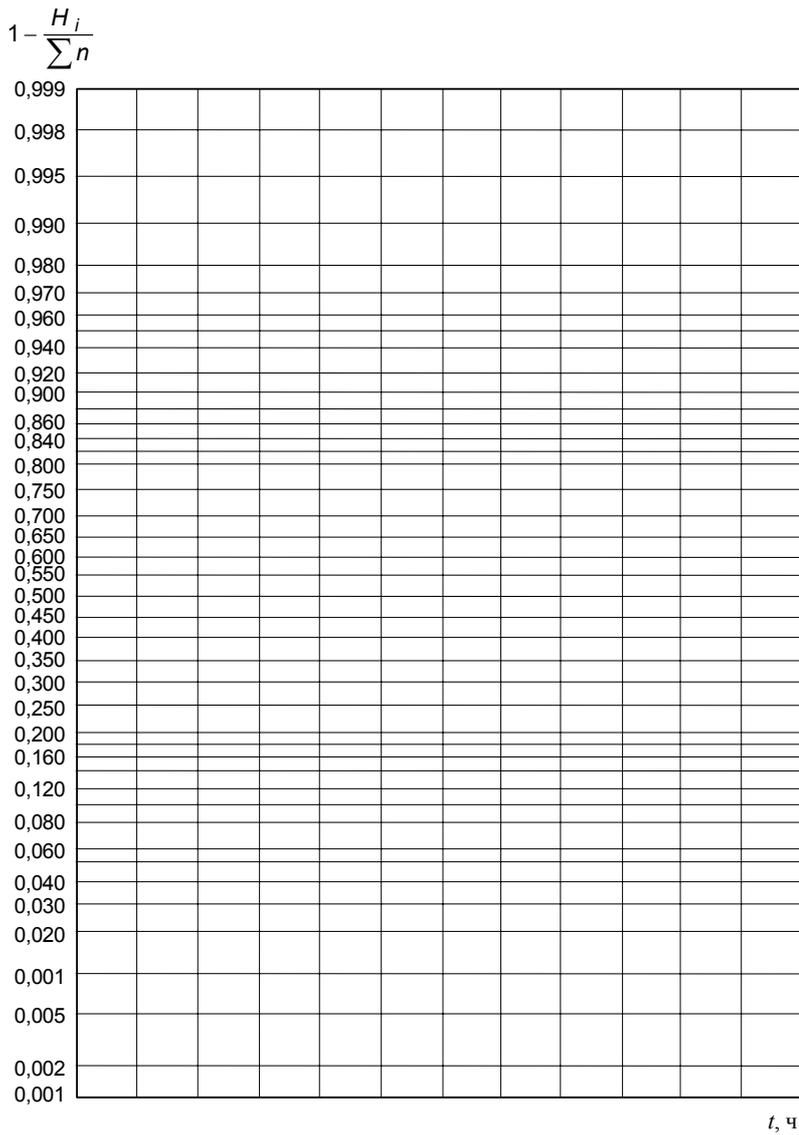
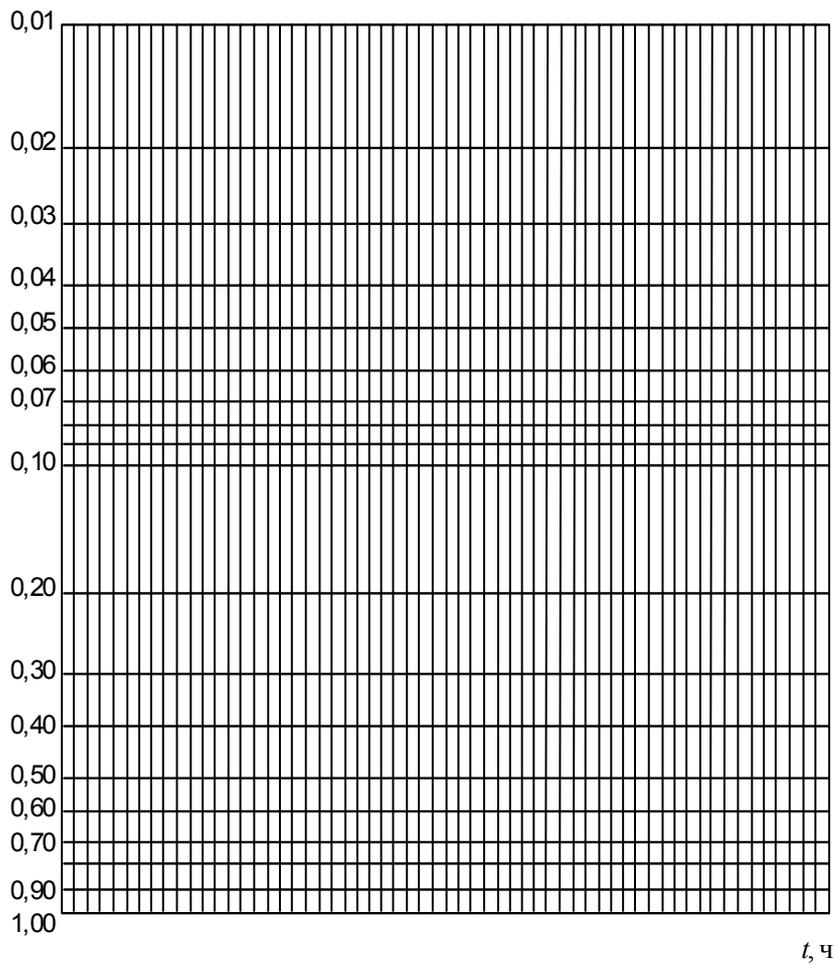
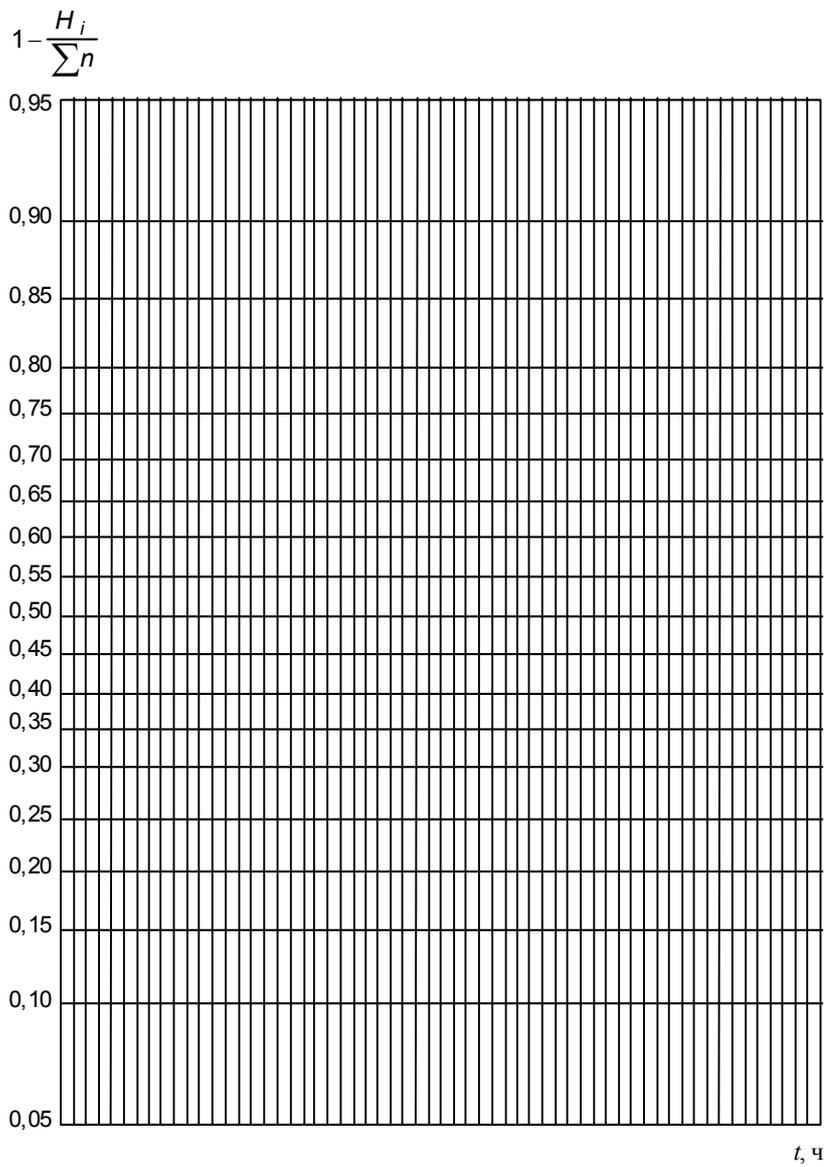


Рис. П1.1 Вероятностная координатная сетка нормального закона распределения

$$1 - \frac{H_i}{\sum n}$$



**Рис. П1.2 Вероятностная координатная сетка
логарифмически-нормального закона распределения**



**Рис. П1.3 Вероятностная координатная сетка
экспоненциального закона распределения**

**2 УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ
МАТЕРИАЛОВ, (ОМ·ММ²)/М ПРИ 20 °С**

Алюми- ний	0,028	Ртуть	0,958
Вольф- рам	0,055	Свинец	0,221
Латунь	0,025...0, 06	Серебро	0,016
Медь	0,0175	Сталь	0,098
Молиб- ден	0,057	Тантал	0,155
Никель	0,100	Хром	0,027
Олово	0,115	Цинк	0,059