

**ДИАГНОСТИКА И
РЕМОНТ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

УДК 66.02/08.002.72
ББК Л11-5-08я73
К66

Рекомендовано Редакционно-издательским советом университета

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры
«Техника и технологии машиностроительных производств» ТГТУ
З.А. Михалева

Составители:

Г.С. Кормильцин,
Р.А. Шубин,
А.М. Воробьёв

К66 Диагностика и ремонт технологического оборудования : лабораторные работы / Г.С. Кормильцин, Р.А. Шубин, А.М. Воробьёв. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 100 экз. – 32 с.

Составлены для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков при диагностике и ремонте технологического оборудования в соответствии с учебными программами по специальностям 280102 «Безопасность технологических процессов и производств», 240801 «Машины и аппараты химических производств».

Предназначены для студентов 5 курса дневного обучения и 6 курса заочного обучения.

УДК 66.02/08.002.72

ББК Л11-5-08я73

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2009

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ДИАГНОСТИКА И РЕМОНТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Лабораторные работы
для студентов 5–6 курсов
дневного и заочного обучения,
по специальностям 280102 и 240801



Тамбов
◆ Издательство ТГТУ ◆
2009

Учебное издание

ДИАГНОСТИКА И РЕМОНТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Лабораторные работы

Составители:

КОРМИЛЬЦИН Геннадий Сергеевич,
ШУБИН Роман Александрович,
ВОРОБЬЁВ Александр Михайлович

Редактор З.Г. Чернова

Инженер по компьютерному макетированию М.А. Филатова

Подписано в печать 02.03.2009.

Формат 60 × 84/16. 1,86 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 69.

Издательско-полиграфический центр

Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Целью выполнения лабораторных работ является практическое закрепление студентами теоретических знаний, полученных при изучении лекционного материала по дисциплине.

Перед выполнением лабораторной работы студент получает допуск к её выполнению. При подготовке к допуску студент изучает не только материал, представленный в данном издании, но и теоретические положения по работе, изложенные в курсе лекций.

После выполнения работы студент готовит протокол испытаний, в котором сформулированы цели работы, основные теоретические положения и результаты практических испытаний. Протокол лабораторной работы должен включать:

- фамилию, имя, отчество и номер группы студента;
- описание цели лабораторной работы;
- краткое описание принципа действия прибора или схемы установки;
- необходимые графики, таблицы с результатами испытаний (по указанию преподавателя).

Лабораторная работа 1

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Цель работы: определение толщины конструкционного материала оборудования по скорости распространения ультразвука в исследуемом материале.

В процессе эксплуатации технологического оборудования конструкционный материал его деталей подвергается коррозионному, эрозионному и другим воздействиям. Это приводит к уменьшению толщины стенок оборудования и может исключить его дальнейшую безопасную эксплуатацию.

Для определения состояния конструкционного материала и, в частности, толщины элементов технологического оборудования используются разрушающие и неразрушающие методы контроля. К разрушающим методам относится, например, метод засверловки, суть которого сводится к следующему. В корпусе аппарата просверливают отверстие, через которое и определяют толщину стенки, затем отверстие заваривают.

Предпочтение отдаётся неразрушающим методам контроля при определении толщины стенок и других элементов оборудования. Одним из таких методов является акустическая (ультразвуковая) толщинометрия.

Акустические методы неразрушающего контроля нашли широкое распространение во многих отраслях промышленности благодаря их следующим качествам:

- высокая чувствительность к мелким дефектам, большая проникающая способность, возможность определения размеров и места расположения дефектов;
- оперативность индикации дефектов, возможность контроля при одностороннем доступе к объекту, высокая производительность, безопасность работы оператора и окружающего персонала.

Акустические методы контроля основаны на распространении и отражении упругих волн в упругих средах. При этом частицы среды не переносятся, а совершают колебания с определённой частотой. При ультразвуковом контроле колебания передаются от внешнего источника частицам материала объекта.

Для реализации акустических методов используют упругие колебания в ультразвуковом диапазоне с частотой 0,5...25 МГц, поэтому эти методы называют ультразвуковыми методами контроля (УЗК). Для возбуждения ультразвуковых колебаний чаще всего используют пьезоэлектрические преобразователи, которые изготавливают из монокристалла кварца или пьезокерамических материалов: титаната бария, цирконат-титаната-свинца и др. Из таких материалов делают пластину, на параллельные поверхности которой наносят тонкие слои серебра, служащие электродами. Затем пластину поляризуют в постоянном электрическом поле, после чего такое изделие приобретает пьезоэлектрические свойства (рис. 1.1).

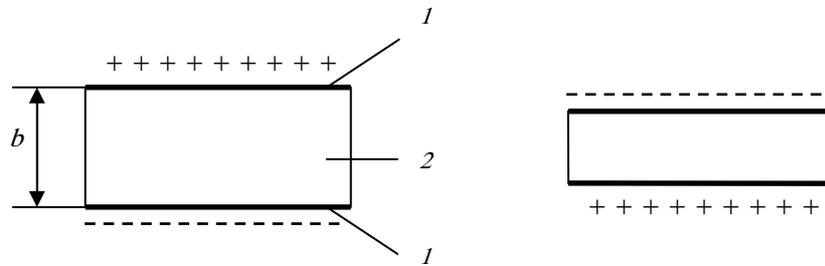


Рис. 1.1. Пьезопреобразователь:

1 – электроды; 2 – пьезопластина; b – начальная толщина пластины

Если к электродам приложить переменное электрическое напряжение, то пластина будет совершать вынужденные колебания, растягиваясь и сжимаясь, с частотой приложенного электрического напряжения (обратный пьезоэффект). Если на пластину воздействовать упругими механическими колебаниями, то на электродах её возникает переменное электрическое напряжение с частотой приложенных механических колебаний (прямой пьезоэффект). При диагностике для предохранения пьезопластины от механического износа, а также для ввода в объект контроля под определённым углом и приёма волн пластину помещают в специальные призмы из оргстекла, получая таким методом искательные головки – искатели (рис. 1.2).

Если колеблющуюся пластину приложить к поверхности контролируемого объекта, то в материале его будут возбуждаться и распространяться упругие волны.

Ультразвуковые волны распространяются по законам геометрической оптики, т.е. им присущи отражение, преломление, интерференция, дифракция, затухание. Например, если волна падает на границу раздела двух сред, которые имеют различные акустические сопротивления, то часть энергии волны отражается от этой границы в первую, а другая часть энергии переходит во вторую среду. Соотношение этих энергий зависит от соотношения акустических сопротивлений сред. Скорость распространения волн (v) зависит от акустического сопротивления материала контролируемого объекта. Акустические сопротивления различных сред отличаются друг от друга. Например, волновое сопротивление газов, жидкостей и металлов относятся друг другу в среднем как $1: 3 \times 10^3 : 10^5$. И если, например, между ультразвуковым датчиком (искательной головкой) и поверхностью контролируемого объекта будет воздушный зазор, то от него отразится в датчик практически вся энергия упругих волн, так как акустические сопротивления этих сред значительно отличаются друг от друга. Поэтому для улучшения акустического контакта между доньшком искательной головки и объектом контроля помещают тонкий слой минерального масла, устраняя таким приёмом воздушный зазор.

Для ультразвуковой диагностики оборудования используют часто эхо-импульсный метод. Этот метод реализуется путем ввода в объект контроля импульса ультразвука и приёма отражённого импульса, который и свидетельствует о наличии границы раздела фаз. Фиксирование отражённого ультразвука от границ объекта контроля (от дефекта) осуществляется с помощью электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) или приёмно-усилительного устройства по времени задержки принимаемого ультразвукового импульса относительно излучаемого с последующим изображением результата на экране дисплея. По времени между вводом импульса и приёмом отражённого эхо-сигнала от границы объекта и известной скорости распространения ультразвука судят о толщине конструкционного материала. (Значения скоростей распространения ультразвука для некоторых материалов приведены в табл. 1.1).

Применяют прямые и наклонные искательные головки (искатели), для которых характерно то, что функции излучения и приёма ультразвука выполняет один и тот же пьезоэлектрический преобразователь (раздельно-совмещённая искательная головка). В раздельно-совмещённой искательной головке имеются два преобразователя: один является излучателем, а другой – приёмником. С помощью прямых искателей колебания вводятся в объект контроля перпендикулярно, а в наклонных – под углом к поверхности объекта в точке ввода (рис. 1.2).

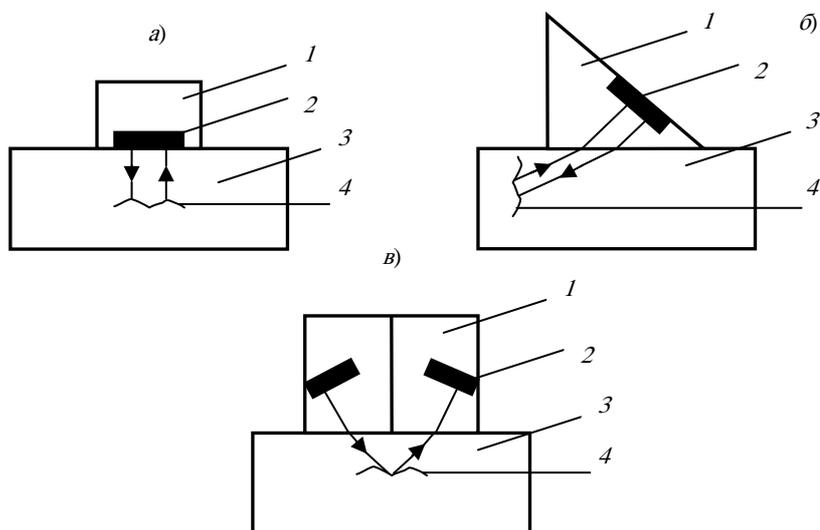


Рис. 1.2. Основные типы искателей:

а – прямой; *б* – наклонный (призматический); *в* – раздельно-совмещённый;
 1 – оргстекло; 2 – пьезопластина; 3 – объект контроля; 4 – дефект

В данной работе для определения размеров объекта контроля будет использоваться толщиномер ТТ 100, имеющий приемно-усилительное устройство.

Принцип действия и устройство толщиномера

Принцип действия толщиномера основан на ультразвуковом контактном эхоимпульсном методе неразрушающего контроля. Излучаемый пьезоэлектрическим преобразователем [ПЭП] ультразвуковой импульс направляется в контролируемый объект, отражается от его задней стенки и возвращается на приемную часть ПЭП. Измерение времени задержки, принимаемого толщиномером ультразвукового импульса относительно излученного, обеспечивает определение толщины объекта (при известной скорости распространения звука в нём) или скорости звука (при известной толщине образца). Электронный блок толщиномера включает в себя:

- генератор зондирующих импульсов (искатель);
- приёмно-усилительное устройство;
- измеритель временных интервалов;
- процессор управления;
- четырёхрядный жидкокристаллический дисплей;
- клавиатуру для включения прибора (клавиша **ON**), включения режима измерения скорости (клавиша **VEL**), включения калибратора (клавиша **ZERO**) регулировки значений скорости, толщины и выбора ячеек памяти;
- контрольный образец ($v = 5900$ м/с и $h = 4$ мм) для калибровки прибора.

В корпусе электронного блока находится контейнер для размещения двух элементов электропитания, закрытый съёмной крышкой, и встроены два гнезда для подключения сигнального кабеля от ультразвукового преобразователя.

Ультразвуковой преобразователь выполнен в цилиндрическом корпусе, в переднем торце которого установлены излучающая и приёмная пьезокерамические пластины, разделённые акустическим экраном и залитые полимерным компаундом. Преобразователь соединён с сигнальным кабелем.

Толщиномер ТТ100 позволяет измерять толщину многих материалов: металлов, пластмасс, фарфора, стекла и других, которые достаточно хорошо проводят ультразвуковые волны. Важно при этом, чтобы контролируемые образцы имели достаточно плоскопараллельные поверхности. Однако настоящий прибор не применим для измерения таких материалов, имеющих крупнозернистую структуру как, например, чугун.

Несмотря на то, что толщина материала и скорость звука в нём зависят от температуры, эта зависимость не сказывается на показаниях прибора, и поэтому температура измеряемого объекта не ограничивается. Однако она не должна превышать 60 °С, по другим соображениям: чтобы не повредить

ультразвуковой преобразователь, контактная поверхность которого выполнена из мягкого полимерного материала.

Порядок выполнения работы

Вставьте в контейнер электронного блока элементы питания, соблюдая полярность (пружины контейнера должны контактировать с выходом «←» элементов питания).

Подключите к электронному блоку кабель ультразвукового преобразователя. Нажав клавишу ON, включите прибор. Спустя несколько секунд, на дисплее высветится значение скорости звука, полученное в предыдущем измерении. Воспользовавшись предусмотренной в толщиномере функцией калибровки, проверьте работоспособность прибора, для чего:

- нанесите тонкий слой связующего геля на контактную поверхность преобразователя и контрольный образец (круглый стальной диск), расположенный на передней панели корпуса электронного блока;
- нажатием клавиш установите на дисплее скорость, равную 5900 м/с;
- установите преобразователь на контрольный образец и нажмите клавишу ZERO. На дисплее высветятся расположенные в ряд четыре черточки «←» которые характеризуют готовность аппаратуры и начнут последовательно исчезать, после чего должно появиться значение 4,0 мм. Это свидетельствует о готовности прибора к работе.

При выполнении лабораторной работы перед замером толщины образцов (№ 1 – 6) необходимо определить скорость распространения ультразвука в материале образцов. При этом измеряют штангенциркулем толщину контрольной пластины, (изготовленной из того же материала, что и образцы) и затем с помощью прибора ТТ100 определяют скорость распространения ультразвука в ней. Для этого выберите место установки на пластине ультразвукового преобразователя. На этом месте не должно быть ржавчины, грязи, каких-либо покрытий, затрудняющих проникновение ультразвукового сигнала. Оно не должно быть слишком шероховатым. Нанесите гель на выбранное место и слегка прижмите к нему ультразвуковой преобразователь.

Внимание! Во избежание повреждения контактной поверхности преобразователя не допускается его «притирание» к поверхности контролируемого объекта.

На дисплее должен высветиться знак «=», свидетельствующий о наличии акустического контакта, и какое-то значение толщины. Уберите преобразователь с пластины, при этом значок «=» исчезнет, значение толщины останется. Нажатием клавиш \vee и \wedge откорректируйте значение толщины до истинного, замеренное штангенциркулем. Нажмите клавишу VEL – на дисплее высвечивается величина скорости, которая будет занесена в текущую память прибора. По указанию преподавателя необходимо измерить прибором ТТ100 толщины образцов и затем результаты измерений занести в табл. 1.2.

Для этого выберите место на каждом контролируемом образце для установки на нём ультразвукового преобразователя. На этом месте также (см. выше) не должно быть ржавчины, грязи, каких-либо покрытий, затрудняющих проникновение ультразвукового сигнала. Нанесите гель на выбранное на контролируемом объекте место и слегка прижмите к нему ультразвуковой преобразователь. На дисплее должен высветиться знак «=», свидетельствующий о наличии акустического контакта, и появиться значение измеренной толщины материала. Результаты занести в табл. 1.2.

Таблица 1.1

Материал	Скорость распространения звука, м/с
Алюминий	6260
Цинк	4170
Серебро	3600
Золото	3240
Олово	3230
Железо и сталь	5900
Медь	4640
Латунь	4700
Вода [20 °С)	1480
Глицерин	1920
Кремнистый натрий	2350

Ацетат	2670
Фосфористая бронза	3530
Сосновая смола	4430
Стекло	5440
Магний	6310
Сплав молибдена и никеля	6020
Никель	5630
Сталь низкоуглеродистая	5850
Титан	6070
Цирконий	4650
Нейлон	2620
Железо «АРМКО»	5930
Сталь 3	5930
Сталь 10	5920
Сталь 40	5925
Сталь У8	5900
Сталь 50	5920
Сталь 45Л-1	5925
Сталь 3ОХГСА	5915
Сталь 3ОХМА	5950
Сталь 3ОХРА	5900
Сталь ЭП814	5900
Сталь ЭИ437БУ	5990
Сталь ЭИ617	5930
Сталь 826	5930
Сталь ХН70ВМТЮ	5960
Кварц плавленный	5930

Таблица 1.2

Номер образца	1	2	3	4	5	6
Толщина образца						

Выключение прибора осуществляется автоматически, спустя 2 мин после последней проведённой над ним манипуляции (нажатия клавиш или прикладывания ультразвукового преобразователя к объекту). Для повторного включения прибора следует вновь нажать на клавишу ON. По окончании работы и выключения прибора тщательно снимите (используя чистую влажную, а затем сухую хлопчатобумажную салфетку) с преобразователя и с поверхности контрольного образца остатки связующего геля. Удалите грязь и смазку с оболочки кабеля, тщательно протрите его.

Внимание! Извлекать элементы питания из контейнера допускается только после автоматического выключения прибора. Это требование следует соблюдать неукоснительно, чтобы не истощался встроенный в электронный блок литиевый элемент, обеспечивающий непрерывное питание ПЗУ процессора.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте цель данной работы.
2. Какие методы контроля используют для определения толщины материала?
3. Почему акустические методы контроля нашли широкое применение в промышленности?
4. Что используют для возбуждения ультразвуковых колебаний?
5. Какие искательные головки используют для контроля конструкционных материалов?
6. Каков принцип действия толщиномера?
7. Какие узлы включает в себя электронный блок толщиномера?
8. В чем заключается подготовка толщиномера к работе?

БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ УЗЛОВ ОБОРУДОВАНИЯ

Цель работы. изучение принципа действия лазерного пирометра и диагностирование материала и узлов оборудования путём замера температуры их бесконтактным способом по известным характеристикам электромагнитного излучения.

В процессе эксплуатации технологического оборудования конструкционный материал, отдельные детали, изоляция оборудования подвергаются температурным, коррозионным и механическим нагрузкам, которые приводят к нежелательным последствиям (прогары стенок, уменьшение толщины изоляции). Развитие таких дефектов можно диагностировать опосредственно, замеряя температуру стенок, изоляции и т.д.

Для определения температуры отдельных узлов оборудования используют контактные и бесконтактные методы контроля. При контактных методах контроля используют расширение тел при повышении температуры. Этот эффект используется в жидкостных термометрах, датчиках с биметаллическими пластинами и термоакустических преобразователях. При бесконтактных методах контроля температуры используют электромагнитное излучение.

Приборы бесконтактного измерения температуры применяются главным образом там, где другие приборы (например, контактные термометры) не могут быть использованы. Бесконтактные приборы применяются при измерениях на деталях под электрическим напряжением, компонентах вращающихся устройств или при измерении температуры продуктов в упаковке, которую можно повредить зондом при контактном измерении. При этом на результаты измерения влияют следующие параметры:

- а) характеристика объекта контроля:
 - температура объекта;
 - коэффициент излучения объекта;
- б) характеристика измерительного прибора.

Любое тело, находящееся при температуре выше абсолютного нуля, является источником электромагнитного излучения. Это излучение называется тепловым, так как возникает в результате теплового возбуждения частиц вещества нагретого тела (атомов, молекул, ионов).

В процессе теплового излучения энергия перемещается, что позволяет измерять температуру тела на расстоянии. Тепловая энергия и характеристики длины волны её излучения напрямую зависят от температуры тела, излучающего данную энергию.

Это излучение зависит от самого материала и его поверхности, поэтому, например, температура многих органических продуктов измеряется без применения специальных действий, а металлы, особенно с отражающими поверхностями, требуют специальной подготовки измерения. Металлы белого цвета имеют очень маленький коэффициент излучения (ϵ) в диапазоне длины волны (λ) 8...14 $\mu\text{м}$ и поэтому их температуру трудно измерять. Для корректного измерения температуры вышеприведённых объектов требуется применение покрытий, увеличивающих излучательную способность объекта (краска, масляная плёнка или самоклеющаяся плёнка).

Такие материалы, как белая бумага, керамика, гипс, древесина, резина, темная древесина, камень, тёмные краски, обладают коэффициентом излучения приблизительно 0,95 при длине волны выше 8 $\mu\text{м}$. Большинство органических материалов (пищевые продукты) обладают коэффициентом излучения приблизительно 0,95. Светлые и тёмные неметаллические материалы не очень отличаются друг от друга по их излучательным способностям. Следовательно, для корректного измерения температуры необходимо выставить на электронном табло пирометра коэффициент излучения в соответствии с коэффициентом излучения объекта ϵ . Коэффициенты излучения наиболее часто используемых материалов в промышленности приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Материал	Качество	Температура, °С	ε
<i>Металлы</i>			
Алюминий	Неокисленный	25	0,02
	Неокисленный	100	0,03
	Неокисленный	500	0,06
	Окисленный	200	0,11
	Окисленный	600	0,19
	Сильно окисленный	93	0,20
	Сильно окисленный	500	0,31
	Сильно полированный	100	0,09
	Слабо полированный	100	0,18
Свинец	Полированный	38...260	0,06...0,08
	Неровный	40	0,43
	Окисленный	40	0,43
	Серый окисленный	40	0,28
Хром	Хром	40	0,08
	Хром	540	0,26
	Хром, полированный	150	0,06
	Окисленное	100	0,74
	Окисленное	500	0,84
	Неокисленное	100	0,05
	Ржавая пленка	25	0,70
	Ржавое	25	0,65
Золото	Лакированное	100	0,37
	Полированное	38...260	0,02

Продолжение табл. 2.1

Материал	Качество	Температура, °С	ε
<i>Металлы</i>			
Чугун	Окисленный	200	0,64
	Окисленный	600	0,78
	Неокисленный	100	0,21
	Сильно окисленный	40...250	0,95
<i>Неметаллы</i>			
Керамика	Фарфор	20	0,92
	Фаянс, глазированный	20	0,90
	Фаянс, матовый	20	0,93
Гравий	Гравий	40	0,28
Уголь	Сажа в пламени	25	0,95
	Неокисленный	25	0,81
	Неокисленный	100	0,81
	Неокисленный	500	0,79
	Сажа от свечи	120	0,95
	Древесные волокна	260	0,95
	Графитизированный	100	0,76
	Графитизированный	300	0,75
Графитизированный	500	0,71	
Краска	Голубая на алюминиевой пленке	40	0,78
	Жёлтый, 2 покрытия на алюминиевой плён-	40	0,79

	ке		
	Чистая, 2 покрытия на алюминиевой плёнке	90	0,09
	Чистая, на яркой меди	90	0,65
	Чистая, на тусклой меди	90	0,64
	Красная, 2 покрытия на алюминиевой плёнке	40	0,74
	Чёрная, CuO	90	0,96
	Белая	90	0,95
	Белая, 2 покрытия на алюминиевой плёнке	40	0,88
Глина	Глина	20	0,39
	Обжиг	70	0,91
	Сланец	20	0,69

Продолжение табл. 2.1

Материал	Качество	Температура, °С	ε
<i>Неметаллы</i>			
Мрамор	Белый	40	0,95
	Гладкий, белый	40	0,56
	Полированный, серый	40	0,75
Каменная кладка	Каменная кладка	40	0,93
Масло, на никеле	Толщина покрытия 0,02 мм	22	0,27
	Толщина покрытия 0,05 мм	22	0,46
	Толщина покрытия 0,10 мм	22	0,72
	Все краски	90	0,92...0,96
Масляные краски	Красная	90	0,95
	Чёрная, CuO	90	0,92
	Чёрная, с отливом	20	0,90
	Камуфляж, зелёный	50	0,85
	Белый	90	0,94
Кварцевое стекло	1,98 мм	280	0,90
	6,88 мм	280	0,93
	Непрозрачное стекло	300	0,92
Сажа	Азетилен	25	0,97
	Камфора	25	0,94
	Сажа от свечи	120	0,95
	Уголь	20	0,95
Песок	Песок	20	0,76
Песчаник	Песчаник	40	0,67
Опилки	Опилки	20	0,75
Сланец	Сланец	20	0,69

Наряду с излучательной способностью объекта немаловажную роль играет при бесконтактном измерении и расстояние от прибора до измеряемого объекта. При выборе расстояния между измерительным прибором и объектом диагностирования следует помнить, что при увеличении расстояния до объекта, увеличивается площадь области (пятна) измерения температуры, т.е. мы измеряем температуру не в конкретной точке, а усреднённую температуру на соответствующей площади. Соотношение расстояния от прибора до объекта диагностирования и диаметр пятна измерения равно 12:1 (рис. 2.1).

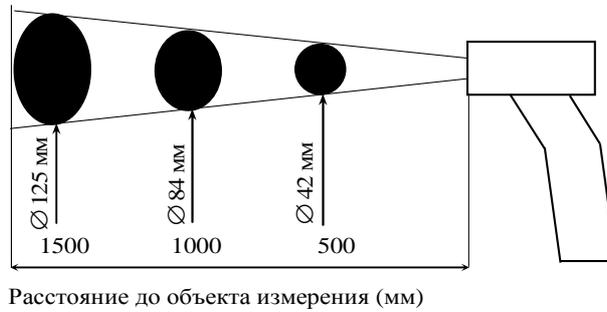


Рис. 2.1. Зависимость диаметра пятна замера от расстояния

Устройство и принцип действия инфракрасного пирометра

Принцип действия бесконтактного пирометра основан на восприятии инфракрасным сенсором электромагнитного излучения различными телами (твердыми, жидкими или газообразными).

Схематичное устройство пирометра показано на (рис. 2.2).

Пирометр состоит из линзы, которая фокусирует инфракрасное излучение объекта на сенсоре, усилителя сигнала, математического процессора, многофункциональной клавиатуры управления (рис. 2.3), в состав которой входят следующие клавиши: *1* – меню данных (кнопка **log**), где хранятся значения последних измерений; *2* – установка сигнализации о выходе за

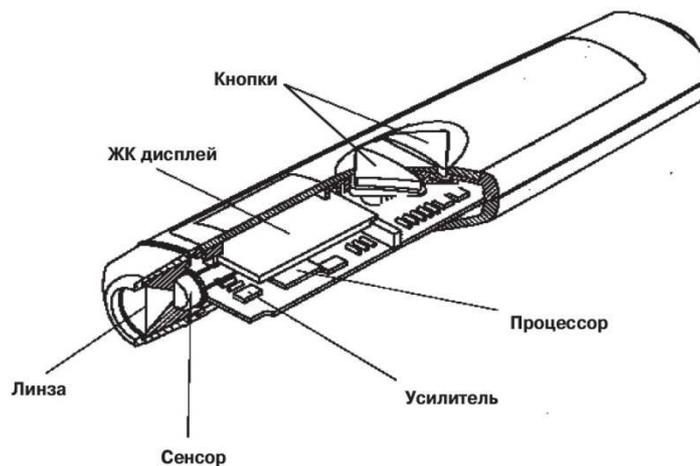


Рис. 2.2. Схема пирометра

пределы интервала заданных температур и переключатель между °C и F° (кнопка **set**); *3, 4, 5* – задания интервала допустимых значений температур, кнопки установки ϵ , включение лазера и подсветки.

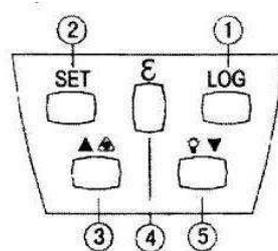


Рис. 2.3. Вид клавиатуры управления

На жидкокристаллическом дисплее (рис. 2.4) отображается следующее: *1* – индикатор лазера (показывает включен или выключен лазерный указатель); *2* – индикатор коэффициента излучения и его значение; *3* – индикатор измерения **scan** (высвечивается при измерении температуры объекта) и удержания значения температуры на дисплее **hold** (высвечивается по окончании измерения температуры); *4* – значение температуры в реальном времени; *5* – индикатор состояния батареи; *6* – максимальный, мини-

мальный заданный интервал измерений; 7 – индикатор сигнализации (показывает, что значение измеряемой температуры вышло за допустимый заданный предел, в это же время на ЖК-дисплее будет высвечиваться индикация **max alarm** или **min alarm**); 8 – индикатор подсветки; 9 – индикатор единиц измерения температуры.

Принцип работы пирометра представлен логической схемой (рис. 2.5). Тепловое излучение концентрируется благодаря линзе и передаётся на сенсор, сенсор трансформирует тепловое излучение в электрическое напряжение, которое повышается усилителем и передаётся на микропроцессор. Процессор сравнивает измеренную температуру с температурой окружающей среды и выводит показания, измеренной величины температуры.

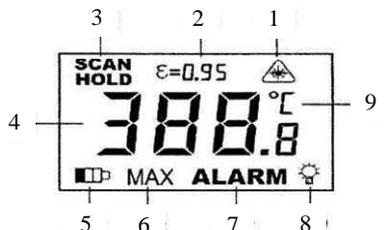


Рис. 2.4. Вид жидкокристаллического дисплея



Рис. 2.5. Логическая схема работы прибора

Порядок выполнения работы

1. Вставьте элементы питания в прибор с соблюдением полярности (пружина «←»). Определите расстояние до измеряемого объекта и размер пятна замера, используя диаграмму замера (рис. 2.1).
2. Ознакомьтесь с материалом, из которого изготовлен объект диагностирования и установите коэффициент излучения объекта ϵ путём нажатия кнопки 4 (ϵ) на клавиатуре прибора (рис. 2.3). Для этого необходимо удерживать на клавиатуре прибора кнопку 4 (ϵ) в течение двух секунд и прибор перейдёт в режим установки регулируемого значения коэффициента излучения. Нажатием на клавиатуре кнопок 3 вверх или вниз 5 установите требуемый коэффициент излучения ϵ тестируемого объекта (табл. 2.1).
3. Направьте последовательно лазерный луч пирометра на диагностируемые точки объекта и нажмите курок для измерения температуры. При этом значения температуры объекта в измеряемой точке появится на ЖК-дисплее. Для завершения измерения температуры следует отпустить курок прибора.
4. Запишите полученные значения температуры в протокол измерений.
5. Постройте график распределения температуры по длине диагностируемого объекта.

Примечание. Следует помнить, что показания ЖК-дисплея высвечиваются 7 секунд, затем прибор автоматически выключается.

Сигнализация о выходе за пределы заданного интервала выглядит следующим образом: текущее выбранное значение мигает и сопровождается звуковым сигналом.

Извлекать элементы питания из прибора допускается только после автоматического выключения прибора.

Запрещается!

Направлять лазерный луч в лицо окружающих.

Номер точки замера	1	2	3	4	5	6
Температура, °С						

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте цель данной работы?
2. Какие методы контроля используют для определения температуры материалов?
3. В каком случае применяется бесконтактный способ измерения температуры?
4. Принцип действия пирометра?
5. Какие узлы включает в себя пирометр?
7. Каков порядок выполнения лабораторной работы?

Лабораторная работа 3

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА

Цель работы: практическое изучение и проведение гидравлического испытания кожухотрубчатого теплообменника.

Теплообменные аппараты предназначены для передачи тепла от греющей среды с более высокой температурой к нагреваемой среде с более низкой температурой, имеют широкое применение на предприятиях химической промышленности,

Эксплуатация теплообменных аппаратов осуществляется согласно инструкции завода-изготовителя по монтажу, эксплуатации и регламента действующего производства, а также правил по устройству и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. Периодическая ревизия теплообменных аппаратов в процессе эксплуатации должна проводиться как с профилактическими целями, так и для выявления дефектов,

В процессе длительной эксплуатации теплообменные аппараты подвергаются, коррозии, загрязнению и механическому износу, Важнейшим профилактическим мероприятием, обеспечивающим эффективность и надёжность в работе теплообменных аппаратов, является своевременная чистка трубок. Применяются механический, гидромеханический и химический способы чистки. Выявленные дефекты устраняются в процессе ремонта теплообменника. Для проведения ремонта сначала проводятся подготовительные работы:

- снижается избыточное давление до атмосферного и аппарат освобождается от продукта;
- закрывается запорная арматура и ставятся заглушки на всех подводящих и отводящих трубопроводах;
- проводится продувка теплообменника азотом или водяным паром с последующей промывкой водой и продувкой воздухом;
- проводится анализ на наличие ядовитых и взрывоопасных продуктов;
- составляется план на проведение ремонта;
- составляется акт сдачи оборудования в ремонт.

Ремонт теплообменного аппарата включает выполнение следующих мероприятий:

- демонтаж обвязки и арматуры, снятие крышек и люков аппарата;
- визуальное выявление дефектов вальцовки, сварки, целостности трубок;
- гидравлическое или пневматическое испытание;
- частичная смена или отключение дефектных трубок, крепление трубок вальцовкой или сваркой;
- замена уплотнений разборных соединений;
- замена изношенных частей корпуса, крышек.

Наиболее ответственной операцией при выявлении работоспособности теплообменника является испытание его на прочность и плотность, Ниже приводятся схема (рис. 3.1) и методика проведения гидравлического испытания межтрубного пространства теплообменника.

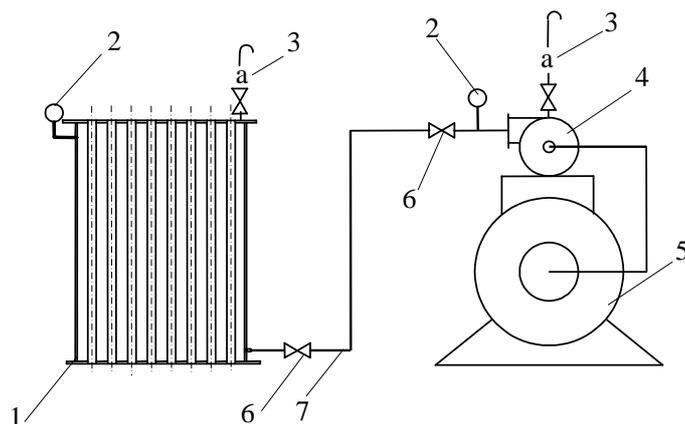


Рис. 3.1. Установка для гидравлического испытания теплообменника:
1 – теплообменник; 2 – манометр; 3 – воздушник; 4 – насос; 5 – ресивер;
6 – кран; 7 – шланг

Выполнению работы предшествуют подготовительные операции: изучение технической документации и инструкции по технике безопасности.

Затем осматривается корпус теплообменника, места сварки трубок к трубной решётке. На корпусе теплообменника не должно быть выпучин, вмятин, трещин, прогаров. Места сварки трубок к трубным решёткам должны быть без каких-либо деформаций и повреждений сварных швов.

После наружного осмотра теплообменники подвергаются гидравлическому испытанию в два этапа. Сначала проверяется плотность сварного (вальцовочного) соединения труб с решётками и исправность самих трубок. Для этого снимают крышки аппарата, отключают сообщение с атмосферой (закрывают воздушник), заглушают штуцер отвода жидкости из корпуса теплообменника, а в подводящий штуцер подают с помощью насоса жидкость для испытания до тех пор, пока давление её не достигнет требуемой величины. При этом если рабочее давление менее 0,5 МПа, то давление испытания равно 1,5 от рабочего. Если рабочее давление более 5 МПа, то давление испытания равно 1,25 от рабочего. После пятиминутной выдержки давление снижают до рабочего, сварные швы и решетки подвергают тщательному осмотру. Появление жидкости при испытании в какой-либо из трубок означает, что именно эта трубка имеет трещину и в неё из корпуса поступает жидкость. Если количество таких дефектных трубок не превышает 10 % от общего числа, то их заглушают, коническими металлическими пробками и заваривают с обеих концов.

В последствии при первой возможности эти трубки заменяются. В тех случаях, когда число дефектных трубок превышает 10 % от их общего числа, эти трубки обязательно заменяют.

По окончании испытания давление сбрасывают до атмосферного, жидкость сливают (воздушник при этом открыт).

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте цели выполнения данной работы.
2. С какой целью изучается техническая документация на испытуемое оборудование?
3. Что включает в себя профилактика и ремонт теплообменного аппарата?
4. Какие устройства, инструменты и приборы используются при ремонте и гидравлическом испытании кожухотрубчатого теплообменника?
5. С какой целью производится гидравлическое испытание аппаратов?
6. Что включает в себя гидравлическое испытание кожухотрубчатого теплообменника?

Порядок выполнения работы

1. Изучить методические указания по выполнению лабораторной работы, условия эксплуатации теплообменника, инструкцию по технике безопасности.
2. Произвести внешний осмотр установки.
3. Заглушить штуцер отвода жидкости.
4. Проверить исправность манометра (пломбу манометра).
5. Заполнить теплообменник жидкостью для испытания.
6. Насосом создать соответствующее давление испытания и выдержать пять минут.
7. Сбросить давление до рабочего и определить наличие или отсутствие дефектных труб.
8. Сбросить давление до атмосферного.
9. Записать в протокол результаты испытания и необходимые рекомендации по ремонту теплообменника.

Характеристика теплообменника

1. Поверхность теплообмена составляет $1,5 \text{ м}^2$.
2. Число труб – 26.
3. Трубы в трубной доске крепятся сваркой.
4. Рабочее давление 0,2 МПа.

Инструкция по технике безопасности

1. При испытании теплообменника давление в системе **не поднимать** выше расчётного.
2. При наличии воздуха в теплообменнике проводить испытание **запрещается**.
3. О наличии воздуха в системе свидетельствуют резкие колебания стрелки манометра при работе насоса, создающего давление в системе,

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте цель данной работы.
2. Каким способом крепятся трубы в трубной доске?
3. Как рассчитать давление при гидравлическом испытании?
4. Что свидетельствует о наличии воздуха в системе при гидравлическом испытании?
5. Можно ли проводить гидравлические испытания, если присутствует воздух в системе?

Лабораторная работа 4

ДЕФЕКТАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ И ВЫБОР СПОСОБА ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Цель работы: приобретение навыков проведения дефектации и разработка методов восстановления деталей.

Дефектация – это операция, которая обеспечивает более качественное проведение ремонтов. Проводится трёхступенчатая дефектация с составлением в итоге ведомости дефектов схем и эскизов дефектной детали. Предварительная дефектация (1 ступень) осуществляется до остановки оборудования на ремонт. Поузловая (2 ступень) и поддетальная (3 ступень) дефектации осуществляется после разборки оборудования на ремонт.

При дефектации деталей проводится измерение размеров детали и определение отклонений от первоначальной геометрической формы. При подетальной дефектации определяется возможность повторного использования деталей и характер требуемого ремонта. Проводится сортировка деталей на группы:

- 1) детали, имеющие износ в пределах допуска;
- 2) детали, имеющие износ выше допуска, но пригодные для ремонта;
- 3) детали, имеющие износ выше допуска и непригодные к ремонту.

Подетальная дефектация осуществляется следующими методами: внешний осмотр, магнитная и ультразвуковая дефектоскопия, рентгеноскопия и др.

Внешний осмотр позволяет выявить видимые пороки деталей и завершается обмером с помощью измерительного инструмента.

Мелкие трещины выявляются методом цветной или люминесцентной дефектоскопии. Методы цветной и люминесцентной дефектоскопии позволяют выявить поверхностные дефекты шириной 0,01 мм и глубиной 0,02...0,03 мм.

Магнитная, ультразвуковая дефектоскопия и рентгеновские способы контроля используются, когда возникают подозрения о наличии дефектов, не обнаруживаемых визуальными методами, или если они предусмотрены правилами ремонта.

После проведения подетальной дефектации составляется ведомость дефектов (рис. 4.1), в которой отмечается характер повреждения, или износа деталей, объём необходимого ремонта с указанием вновь изготавливаемых деталей.

Предприятие _____
Цех _____

Утверждаю
Главный инженер

« ____ » _____ 20__

ВЕДОМОСТЬ ДЕФЕКТОВ
на капитальный (текущий ремонт) _____

(наименование машины, аппарата), Инв. № _____

№ п.п	Наименование узлов деталей	Номер чертежа	Количество, шт	Характеристика дефекта	Размеры, мм				Рекомендуемый способ восстановления	Необходимые материалы		Исполнитель, разряд работы	Примечания
					Номинальные	Допустимые	Предельно допустимый размер	Ремонтный		Наименование	Количество		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Начальник цеха _____
Механик цеха _____

Начальник (ст. инж.)
бюро ППР _____

Рис. 4.1. Ведомость дефектов

Рекомендуемый способ восстановления детали должен быть наиболее простым, экономичным, опробованным на практике и отвечать возможностям ремонтных служб. Восстановление деталей применяется при отсутствии запасных частей. Экономичность восстановления заключается в том, что оно может быть дешевле, чем изготовление новой детали. Стоимость восстановления обычно составляет 5...25 % стоимости изготовления новой детали.

Выбор способа восстановления определяется величиной и характером износа, необходимой термобработкой, конструктивными особенностями, размерами и характером нагрузок, действующих на деталь.

Возможны следующие способы восстановления деталей. Повреждения целостности деталей исправляется с помощью сварки и накладок. Геометрическая форма и размеры деталей восстанавливаются с помощью наплавки, металлизации, электролитического наращивания металла, а также методом пластических деформаций и правкой, обработкой детали на ремонтные размеры, восстановление пластмассами.

Для ремонтных целей применяются разнообразные способы сварки: дуговая ручная, электрошлаковая, автоматическая и полуавтоматическая в углекислом газе и под флюсом, ацетилено-кислородная и другие. Сварка стальных изделий при содержании углерода в стали более 0,23 % осуществляется с общим или местным нагревом до 250...350 °С. Для усиления мест сварки стальных деталей используются накладки, толщиной не превышающие деталь.

Наплавка – наиболее доступный и распространенный способ восстановления. Процесс восстановления детали складывается из наплавки, отжига и механической обработки детали на нормальный размер. Наплавкой наращивают слой металла на изношенные плоские, цилиндрические и фасонные поверхности. Износостойкость наплавленного материала может быть выше износостойкости металла, если электроды или присадочные прутки изготовлены из более твердых сплавов. Значительная толщина слоя достигается многослойной наплавкой.

Метод восстановления деталей наплавкой применяется для стальных, чугунных, бронзовых, свинцовых деталей, а также для баббитовых вкладышей подшипников скольжения.

Металлизацией называют процесс нанесения расплавленного металла на поверхность изделий при помощи сжатого воздуха. Металл, расплавленный в специальном устройстве – металлизаторе, распыляется на частицы размером несколько микрон и в таком виде наносится на поверхность восстанавливаемой детали. Напыление проводится послойно, в результате чего удаётся получить покрытие толщиной до 10 мм. Кроме того, если использовать для напыления высокоуглеродистую сталь, то можно существенно повысить износостойкость металлизированного слоя.

Механические свойства детали при напылении не изменяются, а сама деталь из-за небольшого количества подводимого тепла не подвергается короблению.

Недостатками металлизации являются низкая прочность сцепления покрытия с материалом детали и большая трудоемкость процесса.

Электролитический метод заключается в покрытии поверхности деталей металлом путём осаждения сплавов, хромирования, никелерования, меднения, цинкования и т.д.

Процесс хромирования применяется при восстановлении поверхностей деталей машин и механизмов благодаря ценным физико-химическим свойствам осаждённого хрома: высокой твёрдости, износостойкости, низкого коэффициента трения, хорошего сцепления с основным металлом и высокой коррозионной стойкости. Недостатки способа хромирования: низкая скорость покрытия, что позволяет использовать способ при небольшой степени износа поверхности.

Обработка деталей на ремонтные размеры применяется для сопрягаемых деталей с целью восстановления посадки в соединении. При этом одна из сопрягаемых деталей обрабатывается для устранения следов износа, т.е. восстанавливается только качество и форма поверхности, а размер детали изменяется. Вторая деталь целиком изготавливается заново, но уже на новый посадочный размер. В основном этот вид восстановления применяется для пары вал-втулка.

Разновидностью обработки на ремонтные размеры является способ дополнительных деталей. При большом износе сопрягаемых деталей между ними устанавливается дополнительная деталь: для цилиндрических поверхностей – втулка, для плоских – планка. Дополнительная деталь закрепляется путём запрессовки, приваривания или стопорными винтами.

Восстановление деталей при помощи пластических деформаций основано на способности деталей изменять свою геометрическую форму без разрушения под действием внешних сил. Возможны сле-

дующие приёмы восстановления деталей: правка, вдавливание, вытяжка, раздача, обжатие, накатка и т.д.

Правка применяется для устранения изгиба, коробления, скручивания. Этим методом восстанавливаются валы, рычаги, кронштейны, шатуны.

Величина износа, которую удаётся компенсировать пластической деформацией, например, втулок, составляет 0,2 мм. Операция пластической деформации приводит к изменению двух размеров, тогда как для восстановления необходимо изменить один размер. Поэтому второй размер при необходимости наращивают наплавкой или другим способом.

Метод обкатки применяется для восстановления деталей неподвижных соединений, работающих в легких условиях. Для восстановления детали по этому методу ее поверхность обкатывается закаленным роликом с насеченной поверхностью. В результате на поверхности детали образуются гребешки и углубления. После сглаживания поверхности за счёт оставшихся углублений размер детали увеличивается по сравнению с первоначальным.

Восстановление пластмассами проводится нанесением на поверхность детали тонкого слоя полимерного покрытия путём газопламенного или вибрационного напыления. При восстановлении используются поливинилбутираль, капроновая и эпоксидная смолы, полиэтилен, полипропилен, фторопласты.

При восстановительных операциях широко применяются методы сварки и склеивания. Склеивание осуществляется для любого сочетания следующих компонентов: металлов, пластмасс, резины, фарфора, стекла, дерева, фибры, текстиля. Наибольшее распространение получили клеи на основе эпоксидных смол, а для восстановления неподвижных посадок – клей БФ.

Склеивание производится при проведении следующих восстановительных работ: 1) вклейке подшипников качения и втулок, замене пайки, сварки; 2) ремонте водяной, воздушной и масляной арматуры, герметизации труб; 3) заливки трещин, наклейке заплат.

Выбор способа восстановления зависит от величины и характера износа, определяется конструктивными особенностями, размерами, характером нагрузок и необходимостью применения термообработки.

Порядок выполнения работы

1. Получить от лаборанта или преподавателя деталь и необходимые инструменты для проведения дефектации.
2. Сделать эскиз детали.
3. Произвести необходимые замеры с целью выяснения дефектов.
4. Подобрать методы восстановления детали и сделать выводы по результатам работы.
5. Заполнить ведомость дефектов.

Контрольные вопросы

1. Цели и сущность операции дефектации?
2. Этапы дефектации и их содержание?
3. На какие группы подразделяют детали по результатам дефектации?
4. Какие существуют способы восстановления деталей?
5. Какие сведения содержит дефектная ведомость?

БАЛАНСИРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы: закрепление теоретических знаний и приобретение практических навыков статической балансировки.

Балансировка-обеспечение нормальной работоспособности оборудования ремонтом вращающихся деталей. При этом восстанавливается статическая или динамическая уравновешенность деталей, утраченная в результате износа или после ремонтных операций предшествующих балансировке. Вращение неуравновешенной массы детали приводит к появлению центробежных сил, которые вызывают вибрацию машины и нежелательные последствия.

Появление неуравновешенных сил инерции во время работы машины вызывает добавочные давления на опоры вращающегося ротора, что, в свою очередь, может привести к выдавливанию смазки в подшипниках и явиться причиной ускоренного износа валов и самих подшипников. Кроме того, неуравновешенные силы и момент сил инерции в связи с их знакопеременностью вызывают колебания машины и фундамента, раскрашивание отдельных соединений, появление остаточных деформаций и даже поломку узлов машин.

Для предотвращения этих явлений с целью повышения долговечности и надёжности машин необходимо производить проверочную балансировку как отдельных деталей после их обработки, так и окончательно собранных вращающихся узлов и роторов.

Необходимо учитывать, что неуравновешенность роторов вызывается следующими причинами:

- 1) дефектами изготовления отдельных деталей, из которых собран ротор;
- 2) неравномерным распределением материала в объёме детали (газовые раковины, шлаковые включения и т.п.);
- 3) неточной посадкой вращающихся частей ротора на вал или их смещение вследствие деформации и т.д.

Возможна неуравновешенность двух типов: *статическая*, проявляющаяся в смещении центра тяжести детали по её диаметру D и появлении центробежной силы, что характерно для «тонких дисков» и *динамическая*, для деталей (узлов), имеющих значительную длину L в осевом направлении, в которых неуравновешенные силы возникают в различных сечениях.

Первым фактором, отделяющим границы использования статической или динамической балансировки, является относительная длина детали L/D , вторым – частота вращения n . На рисунке 5.1 представлен график, служащий для определения границ динамической и статической балансировок.

Промежуточная область II может быть зоной как статической, так и динамической балансировки. Для неотчетливых деталей в промежуточной области применяется статическая балансировка, а для ответственных – динамическая.

Задачей балансировки является подбор необходимых по массе противовесов с целью ликвидации или уменьшения до допустимой величины динамических давлений на опоры ротора. При этом в случае статической балансировки добиваются выполнения условий, чтобы сумма сил, включая силу инерции противовеса, была равна нулю.

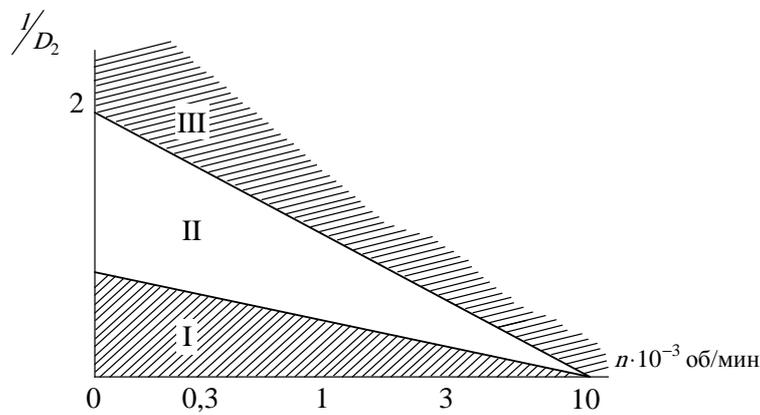


Рис. 5.1. Области статической и динамической балансировки:
 I – область статической балансировки; II – промежуточная область;
 III – область динамической балансировки

Динамическую балансировку проводят на специальных станках.

Целью данной работы является практическое изучение статической балансировки. Статистическую балансировку следует выполнять на горизонтальных параллелях (призмах) или на балансировочных установках, снабжённых дисками (роликами).

При балансировке на горизонтальных параллелях (призмах) диск требуется плотно насадить на ось, концы которой следует установить свободно на две параллельные и горизонтально расположенные призмы (рис. 5.2).

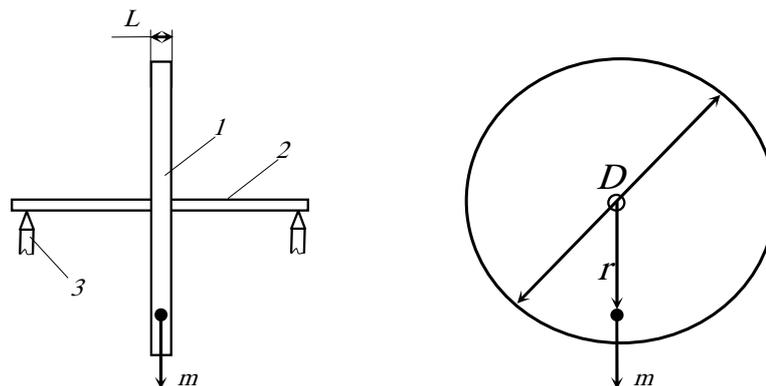


Рис. 5.2. Схема балансировки на призмах:
 1 – диск; 2 – ось; 3 – призма

Призмы 3 имеют достаточную длину, позволяющую перекатывать по ним балансируемую деталь на 2-3 полных оборота. Погрешность установки призм в продольном и горизонтальном направлениях не должна превышать 0,02 мм на длине 1000 мм. Ширина шлифовальной рабочей поверхности призм (ножей) равна 0,3 мм – для деталей массой до 3 кг; 3 мм – для деталей массой до 30 кг и 10 мм – для деталей массой до 3000 кг.

Установленному на призме ротору требуется придать небольшое вращение. Под действием момента от сил тяжести, неуравновешенный ротор стремится в такое положение, когда его центр окажется снизу геометрической оси. При балансировке с противоположной стороны, т.е. сверху оси ротора, необходимо добавить груз, который крепят клеящим материалом (воском, пластилином) на соответствующем расстоянии от оси. Изменяя расстояние вдоль радиуса детали или величину грузика, следует добиться безразличного равновесия ротора, характеризующего произвольной остановкой его на горизонтальных параллелях.

Подобрав радиус при постоянной массе грузика или грузик при постоянном радиусе, заканчивают балансировку фиксацией грузика путём пайки, сварки или какого-либо разъёмного соединения.

Часто по конструктивным соображениям не целесообразно устанавливать противовес, а выгоднее осуществлять балансировку за счёт снятия части материала (обычно путем сверления) с утяжеленной части ротора, т.е. на радиусе, проходящем через центр масс неуравновешенного ротора. Количество снимаемого материала при сквозном сверлении диска ротора, определяется диаметром сверла.

Порядок выполнения работы

1. Подготовить установку к работе, проверив по уровню горизонтальность призм.
2. Подобрать массу корректирующего грузика (m) и место расположения его на балансируемой детали (r).
3. Оформить протокол испытаний.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях возникает необходимость балансировки вращающихся деталей?
2. Когда применяется тот или иной вид балансировки?
3. Какой вид балансировки предпочтительнее делать в промежуточной области?
4. Какими способами устраняется дебаланс детали?
5. Перечислите известные Вам способы балансировки?

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

.....	3
Лабораторная работа 1. УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ДИАГНОСТИ- РОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА	3
Лабораторная работа 2. БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ УЗЛОВ ОБОРУДОВАНИЯ	10
Лабораторная работа 3. ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКА	18
Лабораторная работа 4. ДЕФЕКТАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ И ВЫБОР СПОСОБА ИХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ	22
Лабораторная работа 5. БАЛАНСИРОВКА ВРАЩАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ	27