

УДК 533.9

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗАКОНА ПАШЕНА

В.П. Яновский, А.А. Луканин

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

E-mail: vryan@mail.ru

Описана установка для изучения закона Пашена при изменении давления, расстояния между электродами и испытательного напряжения в диапазонах $10^0 \dots 1$ Па, $0 \dots 25$ мм и $0 \dots 30$ кВ, соответственно. Приводятся результаты измерения зависимости $U=f(p-d)$ для воздуха.

Ключевые слова:

Физика газового разряда, самостоятельный газовый разряд, закон Пашена, вакуумная установка, разрядная камера, пробивное напряжение воздуха, источник напряжения, однотактный полумостовой инвертор.

Введение

Экспериментально наблюдаемая закономерность зависимости пробивного напряжения от расстояния между электродами и давления газа, известная как закон Пашена [1–3], имеет широкую область применимости [4–9]. Разработка новых газоразрядных устройств тесно связано с теоретическими и экспериментальными исследованиями газового разряда, в основе которых находится важное отношение теории и эксперимента: кривая зависимости U от $p \cdot d$ для любых комбинаций газов и материалов электродов имеет единственный минимум, называемый минимальным потенциалом пробоя [10]. Первое знакомство с электрическими явлениями в газах в образовательном процессе проводится на лабораторном оборудовании. В настоящее время на кафедрах электротехнических специальностей вузов подобное оборудование морально устарело. Для хорошей технической подготовки будущих инженеров кафедральное оборудование должно соответствовать современным техническим достижениям.

В работе описана установка для исследования закона Пашена, разработанная на современном техническом уровне.

Устройство установки

Общий вид установки показан на рис. 1. Установка состоит из каркаса, выполненного в виде стола с надстроенным возвышением. На лицевой стороне возвышения размещены манометр измерения полного давления, панель управления и регистрации, окно для наблюдения разряда в вакуумной камере. Окно имеет крепление для тубуса, позволяющего фотографирование разряда в камере. На торцевых стенках установлены слева манометр измерения дифференциального давления и справа устройство перемещения электрода разрядной камеры. Внутри установки размещены разрядная камера, вакуумная система откачки камеры, включающая насос, клапаны и трубопровод, система напуска газа, источник высоковольтного испытательного напряжения, вакуумный датчик и электронный преобразователь давления. Стол каркаса вы-

полнен из пластиковой панели. На него выведены ручки управления дросселирующим клапаном вакуумирования разрядной камеры и игольчатым клапаном напуска газа. Установка на задней части имеет дверцы с запорными замками, которые используются для блокировки включения высокого напряжения при помощи микровыключателей. На боковой панели каркаса имеется ввод силового кабеля электрического питания установки и два штуцера для ввода различных газов. Установка закрыта съемными металлическими панелями и стоит на 4-х опорах, из которых две роликовые.

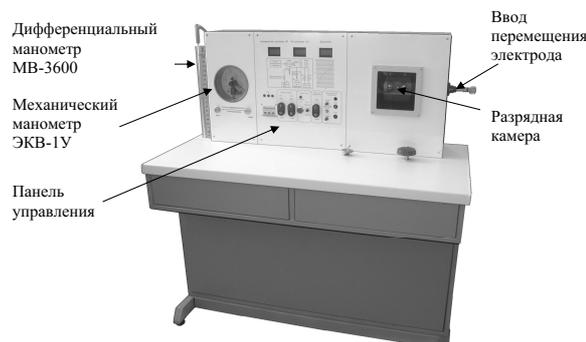


Рис. 1. Общий вид установки

Разрядная камера выполнена в виде цилиндра из кварцевого стекла (рис. 2), с торцов которого имеются фланцы, соединенные между собой шпильками. Один фланец выполнен из изоляционного материала «капролон» и служит высоковольтным изолятором, с другой – изготовлен из стали 20 и служит для присоединения вакуумной системы откачки и крепления механизма перемещения электрода. Внутри камеры размещены два электрода, из которых один является потенциальным и установлен неподвижно на фланце-изоляторе, другой – на металлическом фланце и является «земляным». Его можно перемещать возвратно-ступенчато с помощью микрометрической головки микрометра, обеспечивающей плавное изменение расстояния между электродами до 25 мм с точностью 0,01 мм. Герметичность перемещаемого электрода обеспечивается вакуумным уплотнением Вильсона [11].

Схема вакуумной системы установки показана на рис. 3. Для удобства работы она изображена на лицевой панели. Вакуумирование камеры производится вакуумным насосом NL1 типа 2НВР-5ДМ, соединенным с камерой через электромагнитный клапан КВМ-25 VE1 и дросселирующий вентиль с ручным управлением. Управление насосом и клапаном производится пусковыми кнопками, находящимися на панели управления. Для измерения давления в камере используются механический манометр ЭКВ-1У и терморезисторный датчик ДВТ-3/0-006 с преобразователем давления ПМТ-6-3 РТ1, показания которого выводятся на цифровую измерительную панель РМ428, и дифференциальный манометр МВ-3600, который подсоединен к вакуумной системе через вентили, установленные на лицевой панели установки. Приборы позволяют контролировать давление в следующих диапазонах:

- от 10^2 до 10^5 Па – манометр ЭКВ-1У, единицы измерения прибора – кг/см²;
- от 10^{-1} до 10^5 Па – терморезисторный датчик ДВТ-3/0-006, единицы измерения – В, которые переводятся в единицы давления – Па или мм рт.ст. по градуировочной кривой, прилагаемой к датчику заводом-изготовителем;
- от 0 до 3600 Па в любом интервале рабочего давления камеры – дифференциальный манометр МВ-3600, единицы измерения давления – Па.

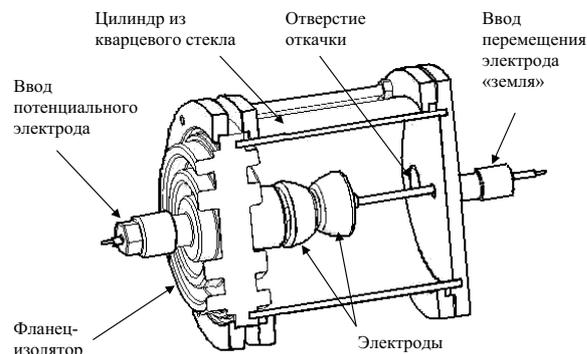


Рис. 2. Вид разрядной камеры

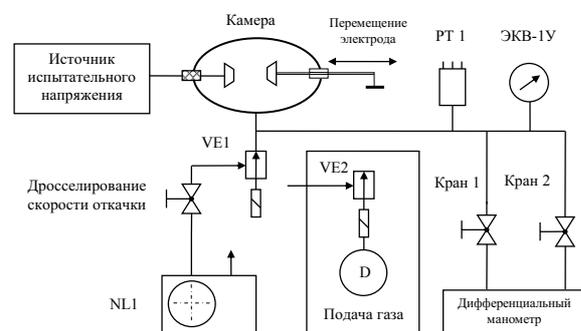


Рис. 3. Схема вакуумной системы установки

Для питания разряда в установке используется источник постоянного напряжения на два диапазона: от 0 до 0,5 кВ и от 0,5 до 30 кВ с выходным током до 100 мА. Переключение диапазонов и регулировка напряжений производится переключате-

лем и потенциометрами, ручки которых выведены на лицевую панель управления установки. Напряжение питания источника – однофазное 220 В, 50 Гц, которое преобразуется блоком выпрямителей А1 в напряжение +9 В для панелей индикации А7 и +15 В, –15 В для датчика давления ДВТ-3/0-006 и источником питания инвертора А2 в напряжение +12 В и +5 В.

Источник напряжения (рис. 4) представляет собой однотактный полумостовой инвертор смешанного типа (сочетающий свойства прямо- и обратного преобразователя) с частотой преобразования напряжения 30 кГц, нагруженный на высоковольтные трансформаторы выходного выпрямительного блока А8, подключаемые к инвертору переключателем диапазонов выходного напряжения, выведенного на панель управления. Инвертор выполнен на двух платах драйверов нижнего А5 и верхнего уровней А6 с гальванической развязкой от питающей сети оптронной развязкой микросхем драйверов ТLP250, которые через повторитель на комплементарных транзисторах управляют выходными ключами инвертора. В свою очередь эти драйверы управляются драйвером инвертора А4 на основе микросхемы TDA4605/-3. Для синхронизации драйвера А4 используется трансформатор ТрС.

Сигнал разбаланса с делителя напряжения, смонтированного в масляном баке, поступает сначала на вспомогательный усилитель, размещенный на кросс-плате А3, суммируется с напряжением регулировки выходного напряжения и через оптронную развязку поступает на управляющий вход микросхемы TDA4605/-3, изменяя длительность выходного импульса управления инвертором, что приводит к изменению выходного напряжения и/или тока. Переключение диапазонов выходного напряжения производится переключателем SA1, который выполняет следующие задачи: подключает инвертор к одному из выходных трансформаторов блока А8, одновременно меняет состояние реле К1, блокирующее работу инвертора при переключении диапазонов, изменяет коэффициент деления делителя напряжения и положение десятичной точки на цифровой панели измерения напряжения платы А7, которая подключена к выходу источника выпрямленного высокого напряжения через прецизионный резистивный делитель. Подача испытательного напряжения на электрод разрядной камеры производится кнопкой SB1 «Пуск», снятие напряжения с электрода разрядной камеры – кнопкой SB2 «Стоп», регулировка напряжения – потенциометром R1, индикация напряжения – светодиодом VD1 «Работа».

В целях безопасной работы на установке предусмотрены блокировка подачи высокого напряжения на электрод разрядной камеры при открытых дверях и защита от перегрузки по току. При достижении максимально допустимого тока в нагрузке источник автоматически снимает высокое напряжение с электрода разрядной камеры. Электри-

мосферного давления до давления горения самостоятельного разряда при изменении разрядного промежутка от 0 до 25 мм и величины испытательного напряжения от 0 до 30 кВ.

Необходимое давление в разрядной камере устанавливается в процессе непрерывной откачки с помощью дросселирующего вентиля и дозированной подачи испытуемого газа. Испытательное напряжение подается на электрод разрядной камеры до возникновения разряда, свечение которого можно наблюдать визуально через стеклянную стенку корпуса разрядной камеры. При выключении напряжения нажатием кнопки СТОП, в случае смены параметров давления или расстояния между электродами, в источнике напряжения сохраняется установленная величина напряжения при условии, если не вращались ручки регуляторов напряжения. В то же время, данное напряжение отключается с электрода разрядной камеры. Это происходит в результате запираания инвертора, который подает первичное напряжение на высоковольтный трансформатор. После изменения условий разряда и подачи напряжения нажатием кнопки ПУСК формируется разрешающий уровень работы инвертора. На электроде разрядной камеры появляется значение напряжения, которое было установлено ранее. Такой принцип работы источника напряжения позволяет не снижать напряжение на электроде вращением ручки регулятора при переходе к следующему значению напряжения разряда и обеспечивает максимальную безопасность работы на установке.

В таблице приведены основные технические параметры установки.

Таблица. Технические параметры установки для изучения закона Пашена

| Наименование параметра | Величина параметра |
|---|--|
| Объем разрядной камеры, л | 2,6 |
| Рабочий диапазон давления в разрядной камере, Па (мм рт.ст.) | $10^5 \dots 0,67$ (760...5·10 ⁻³) |
| Диапазоны регулируемого постоянного выходного напряжения источника питания разряда: | |
| I-й диапазон, кВ | 0...0,5 |
| II-й диапазон, кВ | 0,5...30 |
| Максимальный выходной ток источника питания разряда, мА | 100 |
| Величина допустимого тока разряда, мА | 10 |
| Питание установки | 3-х фазное, 50 Гц, 380 В |
| Потребляемая мощность, кВт | ≤1,2 |
| Габариты: длина×ширина×высота, м | 1,2×0,6×1,3 |
| Масса установки, кг | ≤100 |

Экспериментальная проверка

В целях проверки соответствия установки для изучения закона Пашена были проведены измерения пробивного напряжения воздуха. На рис. 7 приведены результаты измерения зависимости $U_{пр} = f(p \cdot d)$ при давлении $p = 10$ Па и межэлектродном расстоянии $d = 0,5 \dots 2,5$ см.

Следует отметить, что полученная кривая отличается от опубликованных в справочных материалах [3, 14] абсолютными значениями $U_{пр}$ в силу различия экспериментальных условий. Известно, что экспериментальные параметры, а именно, размеры разрядной камеры, форма и материал электродов, существенно влияют на вид кривой для одного и того же газа [13]. Чтобы иметь возможность сравнивать экспериментальные результаты, полученные на установке, с данными других авторов, необходимо либо использовать известные теоретические формулы [13], устраняющие различия экспериментальных условий, либо рассчитывать подобные формулы на основании полученных кривых закона Пашена для различных газов. Тем не менее, вид кривой на рис. 7 свидетельствует об удовлетворительном соответствии зависимости закону Пашена [1–3, 10].

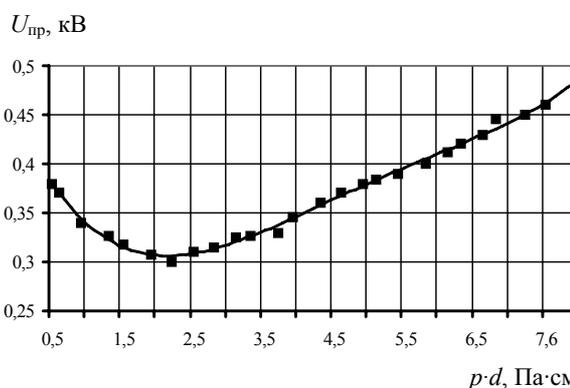


Рис. 7. Экспериментальная зависимость пробивного напряжения для воздуха

Заключение

Разработанная установка обладает рядом достоинств по сравнению с имеющимся аналогом на кафедре ТВН ТПУ [15], а именно:

1. Использована современная элементная база при изготовлении электронных схем питания и управления.
2. Электрические схемы питания высоким напряжением и регистрации параметров разряда позволяют применить программируемый контроллер для автоматического измерения и построения ВАХ разряда.
3. Конструкция разрядной камеры позволяет использовать электроды различной формы.
4. Внешний вид установки выполнен на уровне современных дизайнерских норм, учитывающих эргономические параметры эксплуатации.

Авторы благодарят В.А. Бутенко, к.т.н., доцента кафедры ТЭВН ЭЛТИ ТПУ, В.П. Черненко, к.т.н., с.н.с. ИФПМ СО РАН, за консультацию и плодотворное обсуждение работы, а также Л.Г. Косицына, с.н.с. ИФПМ СО РАН, и О.С. Кузьмина, н.с. ИФПМ СО РАН, за оказанную помощь в изготовлении установки.

Работа выполнена по Государственному контракту на поставку № 246/07.09.07. от 07.09.2007 г. оборудования для ЭЛТИ ТПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капцов Н.А. Электрические явления в газах и вакууме. – М.-Л.: Гостехиздат, 1950. – 836 с.
2. Райзнер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1992. – 535 с.
3. Физический энциклопедический словарь // Гл. ред. А.Н. Прохоров. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – 928 с.
4. Высоковольтные электротехнологии // Под ред. И.П. Верещагина. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 204 с.
5. Чердниченко В.С., Анышанов В.С., Кузьмин М.Г. Высоковольтные электротехнологии. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 508 с.
6. Булгаков Ю.Ф., Кавера А.Л., Мазаненко В.П. Исследование влияния электрического поля на пламя // Горноспасательное дело. – 2005. – № 42. – С. 90–96.
7. Кавера А.Л. Исследование механизма воздействия электрического поля на пламя // Геотехнологии и управление производством XXI века: Сб. научных трудов II Междунар. научно-практической конференции в г. Донецке, 2–3 октября 2007 г. – Донецк: ДонНТУ, 2007. – С. 98–108.
8. Кожаринов В.В., Зацепин Н.Н., Доморов Н.Е. Электроразрядный метод визуализации. – Минск: Наука и техника, 1986. – 134 с.
9. Трутнев Р.Н., Газиев Р.Р., Захаров Н.М. Диагностика конструкционных материалов методом газоразрядного фотографирования // Нефтегазовое дело. – 2006: <http://www.ogbus.ru>.
10. Ховатсон А.М. Введение в теорию газового разряда / Пер. И.И. Ивангина. – М.: Атомиздат. 1980. – 182 с.
11. Рот А. Вакуумные уплотнения. Пер. с англ. – М.: Энергия, 1971. – 464 с.
12. Воробьев А.А. Техника высоких напряжений. – М.: Госэнергоиздат, 1945. – 517 с.
13. Лисовский В.А., Яковин С.Д. Модифицированный закон Пашена для зажигания тлеющего разряда в инертных газах // Журнал технической физики. – 2000. – Т. 70. – № 6. – С. 58–62.
14. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. акад. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат. 1976. – 1006 с.
15. 60 лет кафедре ТЭВН (ТВН). Под ред. проф. В.В. Лопатина. – Томск: ТПУ: <http://www.tpu.ru/files/event/part2.pdf>.

Поступила 07.04.2008 г.

УДК 539.16.04:669.295:539.382

ВЛИЯНИЕ НАСЫЩЕНИЯ ВОДОРОДОМ И ОБЛУЧЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V

Н.Н. Никитенков, Е.Н. Кудрявцева, И.П. Чернов, Ю.И. Тюрин, Г.П. Грабовецкая*, Е.Н. Мельникова*

Томский политехнический университет

E-mail: nikitenkov@fnsm.tpu.edu.ru

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

E-mail: grabg@ispms.tsc.ru

На примере титанового сплава Ti-6Al-4V (BT-6) проведены исследования влияния насыщения водородом на деформационное поведение и механические свойства двухфазных титановых сплавов в субмикроструктурном состоянии в интервале температур 773...1023 К. Исследовано влияние режимов электронного облучения на выход водорода из субмикроструктурного сплава Ti-6Al-4V и стабильность его субмикроструктурной структуры. Показано, что насыщение субмикроструктурного сплава Ti-6Al-4V водородом до 0,24 мас. % при температурах выше 773 К приводит к росту его пределов прочности и текучести в 2...3 раза и снижению величины деформации до разрушения в 1,5...2 раза. Установлено, что при облучении потоком электронов с увеличением плотности тока от 3 до 30 мкА·см⁻² интенсивность выхода водорода сверхлинейно увеличивается до 20 раз, а при плотностях тока 25...30 мкА·см⁻² разогрев образца пучком достигает температур (более 673 К), приводящих к значительной рекристаллизации субмикроструктурного состояния.

Ключевые слова:

Титановые сплавы, субмикроструктурное состояние, выход водорода, ионизирующее излучение.

Введение

Формирование субмикроструктурных (СМК) структур металлов и сплавов в значительной мере улучшает их эксплуатационные характеристики. Однородную СМК структуру, согласно некоторым данным [1], можно получить методом, сочетающим предварительное насыщение водородом и горячую пластическую деформацию прессованием. Поскольку водород может влиять на хрупкость полученных СМК материалов, его необходимо удалить из сплава, причем желательно это сде-

лать при температурах ниже температуры рекристаллизации. В связи с этим представляет интерес разработка технологий холодного удаления водорода. Одной из таких технологий может быть радиационное воздействие, например, облучение материалов электронами с оптимальными энергией и плотностью тока. В связи со сказанным целью настоящей статьи являлось исследование выхода водорода и изменения структуры СМК сплава Ti-6Al-4V в зависимости от режимов облучения данного сплава.