



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Физическое и прикладное материаловедение»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий
по дисциплине

«Материалы приборов, электронной и медицинской техники»

Авторы

Бровер А.В.,
Бровер Г.И.,
Егоров М.С.

Ростов-на-Дону, 2016



Аннотация

Методические указания предназначены для студентов очной формы обучения направления 22.03.01 – Материаловедение и технологии материалов.

Авторы

к.т.н., доцент Бровер А.В.,
д.т.н., профессор Бровер Г.И.,
к.т.н., доцент Егоров М.С.



Оглавление

Лабораторная работа МИКРОСТРУКТУРА ПРИПОЕВ.....	4
Лабораторная работа ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОЙ ВЯЗКОСТИ И ПЛОТНОСТИ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ.....	15
Лабораторная работа ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ	23
Лабораторная работа ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗМЯГЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ КАПЛЕПАДЕНИЯ АМОРФНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ	30
Лабораторная работа ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРМАЛЛОЯ	35
Лабораторная работа ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ	44
Лабораторная работа ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ	54
ПРИЛОЖЕНИЕ	60

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА МИКРОСТРУКТУРА ПРИПОЕВ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение микроструктуры и свойств наиболее употребительных припоев.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Пайка металлов - способ соединения металлов в твердом состоянии припоями, которые при температуре пайки смачивают паяемые поверхности, заполняют зазор между ними и при кристаллизации образуют паяный шов.

Материалы, подвергаемые пайке, называются основными. Металл или сплав, вводимый для соединения основных металлов и имеющий более низкую температуру плавления, называется припоем.

При формировании паяного соединения образуется два спая, т.е. два переходных слоя на границе основной материал - припой. При соединении различных материалов, например, металла со стеклом, керамикой, полупроводниками структура спаев неодинакова. Возможность образования спая характеризуется паяемостью, т.е. способностью паяемого материала и расплавленного припоя вступать в химическое взаимодействие и образовывать паяное соединение. Паяемость определяется не только природой материалов, но и условиями пайки: температурой процесса, обработкой поверхностей, газовой средой, используемыми флюсами и т.п. Так, например, известно, что в обычных условиях железо не паяется чистым оловом, т.к. оно расплавленным оловом не смачивается. Однако при температурах 960-1000^oC в атмосфере водорода олово хорошо смачивает поверхность железа, растекается по ней, затекает в капиллярный зазор и в результате нормируется прочное соединение. Следовательно, для оценки паяемости необходимо рассматривать конкретную пару основной материал - припой в конкретных условиях пайки. Паяемость определяется экспериментально.

Ранее пайка применялась чаще всего для соединения деталей, изготовленных из железоуглеродистых сплавов, а также меди и сплавов на ее основе. В настоящее время в паяемых конструкциях успешно используют также никелевые сплавы (жаропрочные, жаростойкие), легкие сплавы на основе титана, алю-

миния, магния, бериллия. Более ограниченное применение имеет пайка сплавов на основе тугоплавких металлов: хрома, молибдена, вольфрама, тантала и ниобия.

В качестве припоев используются различные чистые металлы и металлические сплавы. Для обеспечения качественного соединения и возможности широкого использования в промышленности припои должны обладать следующими свойствами:

- 1) иметь температуру плавления ниже температуры плавления основных металлов;
- 2) при температуре пайки хорошо смачивать основной металл и заполнять соединительные зазоры;
- 3) обеспечивать получение прочных и коррозионно-стойких соединений;
- 4) иметь близкий с основным металлом коэффициент термического расширения;
- 5) по возможности не содержать дефицитных компонентов;
- 6) иметь доступную технологию производства.

То положение, что пайка осуществляется при температурах ниже точек плавления основных материалов, обеспечивает важное преимущество пайки перед сваркой, т.к. при этом имеется возможность разъединения элементов конструкций без нарушения их размеров и конфигурации.

Припои делятся на две группы:

1. Мягкие припои, которые имеют низкую температуру плавления и обеспечивают паяный шов с низкими механическими свойствами, предел прочности при растяжении составляет 53-70 МПа.

2. Твердые припои с высокой температурой плавления и более высокими механическими свойствами образуемого паяного соединения.

Однако это деление в настоящее время несколько утратило смысл, т.к. разработано множество новых составов припоев и новых способов пайки. Разделение припоев на мягкие и твердые справедливо только для составов наиболее широко применяемые в технике.

2. МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПРИПОЕВ

2.1. Микроструктура мягких припоев

К группе мягких припоев относятся припои на основе олова - оло-вянносвинцовые, оловянноцинковые; цинка – цинкокадмиевые, цинко-алюминиевые, цинкомедные, а также свинцовые, кадмиевые, индиевые, висмутовые припои, галлиевые пасты.

Оловянносвинцовые припои применяются для пайки сталей, никеля, меди и ее сплавов. Они обладают высокой прочностью и коррозионной стойкостью, технологичностью, хорошей сопротивляемостью знакопеременным нагрузкам и достаточно высокой смачиваемостью по отношению ко многим металлам и сплавам. Их состав и область применения приведены в табл. 1.

Структура данных сплавов соответствует диаграмме олово-свинец (рис. 1). Эти металлы в твердом состоянии обладают ограниченной растворимостью, α -фаза представляет собой ограниченный твердый раствор свинца в олове, β -фаза - ограниченный твердый раствор олова в свинце. При температуре 183°C в системе протекает эвтектическая реакция с образованием эвтектической смеси ($\alpha+\beta$). При понижении температуры ниже 183°C вследствие понижения растворимости олова и свинца в твердом состоянии должны выделяться вторичные фазы α_{II} и β_{II} . Как самостоятельные структурные составляющие они не обнаруживаются, они находятся в поле эвтектики, присоединяясь к существующим первичным фазам α и β .

Таблица 1

Состав и область применения оловянносвинцовых припоев

Марка припоя	Химический состав, %		Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$		Примечание
	Sn	Pb	солидус	ликвидус	
ПОС-90	89-91	ост.	183	220	Для пайки посуды, медицинской аппаратуры
ПОС-61	60-62	ост.	183	185	Для пайки меди, латуней, бронз, сталей
ПОС-40	39-41	ост.	183	235	То же

ПОС-10	9-10	ост.	183	256	То же
--------	------	------	-----	-----	-------

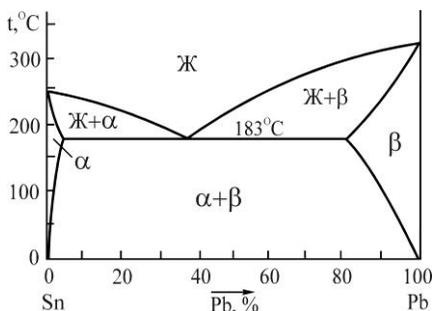


Рис.1. Диаграмма состояния системы олово-свинец

Наиболее употребительным является сплав марки ПОС-61. Сплав имеет близкую к эвтектической концентрацию и называется третником, т.к. содержит приблизительно 1/3 Pb и 2/3 Sn. Микроструктура сплава марки ПОС-61 показана на рис.2, она состоит из эвтектической смеси ($\alpha+\beta$) в виде темных включений β -фазы на светлом поле α -фазы.

Сплав марки ПОС-40 является заэвтектическим. Его микроструктура состоит из темных первичных зерен β -твердого раствора олова в свинце и эвтектики ($\alpha+\beta$) в виде темных включений β -фазы на светлом поле α -фазы, внутри первичных зерен видны светлые кристаллы вторичной α -фазы, (рис.3). Травление сплавов типа ПОС производится обычно 4%-ным раствором HNO_3 в спирте. Сплавы марок ПОС-61 и ПОС-40 обладают наибольшей прочностью и технологичностью из оловянносвинцовых припоев. Припой ПОС-61 имеет предел прочности при растяжении 47 МПа, относительное удлинение 34%, припой ПОС-40 соответственно 38 МПа и 54%.

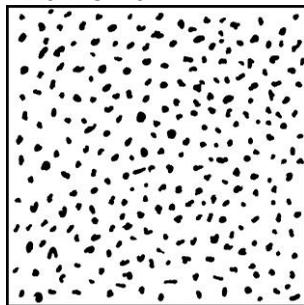


Рис.2. Схема микроструктуры сплава марки ПОС-61. Эвтектика ($\alpha+\beta$). $\times 500$

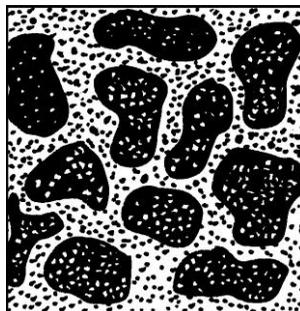


Рис.3. Схема микроструктуры сплава марки ПОС-40, β -фаза, α -фаза и эвтектика ($\alpha+\beta$). $\times 200$

Для повышения механических свойств в оловянносвинцовые припои иногда вводят до 6% сурьмы. Марки таких припоев - ПОССу18-2 и ПОССу4-6. Добавление сурьмы в большем количестве нецелесообразно, т.к. это приводит к выделению сурьмы в свободном состоянии, что в сильной степени охрупчивает сплав.

В последние годы на основе олова разработаны припои с повышенной коррозионной стойкостью в тропических условиях. Это припои марок ВПр6 и ВПр9. Состав сплавов следующий - припой марки ВПр6: $7,5 \pm 0,5\%$ сурьмы; $8,0 \pm 0,5\%$ серебра; остальное олово (интервал кристаллизации $245-270^\circ\text{C}$); припой марки ВПр9: $1,0 \pm 0,2\%$ сурьмы; $5,0 \pm 0,5\%$ серебра; $2,0 \pm 0,5\%$ меди; остальное олово (интервал кристаллизации $220-250^\circ\text{C}$).

Наряду с оловянносвинцовыми припоями для тех же целей применяются оловянноцинковые, которые содержат 90, 70, 60 и 40% олова, остальное цинк. Марки припоев: ПОЦ-90, ПОЦ-70, ПОЦ-60 и ПОЦ-40. По сравнению с оловянносвинцовыми эти припои обладают более высокой прочностью, но меньшей пластичностью.

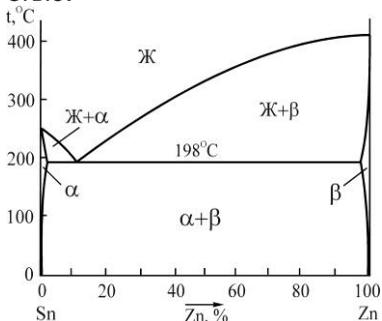


Рис.4. Диаграмма состояния системы олово-цинк

Структура этих сплавов соответствует диаграмме состояния олово-цинк (рис.4). В твердом состоянии олово и цинк имеют ограниченную растворимость друг в друге, образуя α - и β -твердые растворы соответственно цинка в олове и олова в цинке. Фактически структура сплавов состоит из смеси зерен олова и цинка.

Наиболее высокими свойствами обладает припой марки ПОЦ-90, по составу близкий к эвтектическому. Он имеет самую низкую температуру плавления, которая из-за колебаний химического состава лежит в интервале $198-202^\circ\text{C}$. Микроструктура этого сплава показана на рис.5, она состоит из эвтектической смеси, представляющей собой темные включения α -фазы (олова) на светлом поле β -фазы (цинка).

На рис.6 представлена структура припоя марки ПОЦ-40. Сплав - заэвтектический, микроструктура состоит из первичных зерен α -фазы (олова) и эвтектической смеси α -и β -фаз (цин-

ка и олова).

Травление оловянноцинковых припоев производится обычно следующим реактивом - 10-12 капель состава (94 мл HNO_3 и 6 г Cr_2O_3) на 100 мл воды.

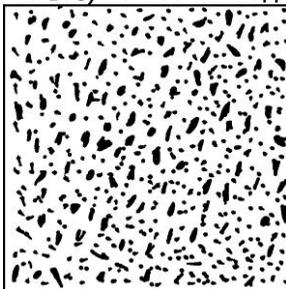


Рис.5. Схема микроструктур сплава марки ПОЦ-90. Эвтектика ($\alpha+\beta$). $\times 500$

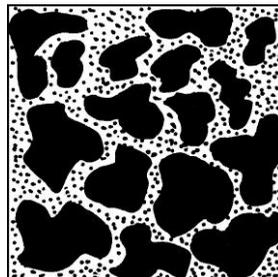


Рис.6. Схема микроструктуры сплава марки ПОЦ-30. α -фаза и эвтектика($\alpha+\beta$) $\times 200$

Припой на основе цинка применяются для пайки алюминия, магния и сплавов на их основе. В состав припоев входят кадмий, алюминий, медь. Наиболее употребительным и технологичным из них является сплав цинка с 40% кадмия. Этот припой имеет температуру плавления 266°C , предел прочности при растяжении 100 МПа и относительное удлинение 5%.

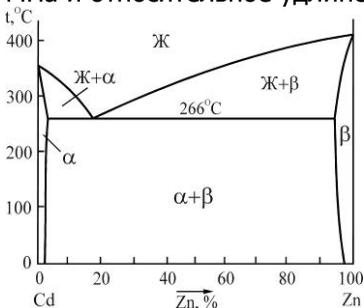


Рис.7. Диаграмма состояния системы кадмий – цинк

Структура цинкокадмиевого припоя соответствует диаграмме состояния кадмий-цинк, представленной на рис.7. В твердом состоянии цинк и кадмий имеют ограниченную растворимость, α -фаза представляет собой твердый раствор на основе кадмия, β -фаза твердый раствор на основе цинка. При температуре 266°C в системе протекает эвтектическое превращение.

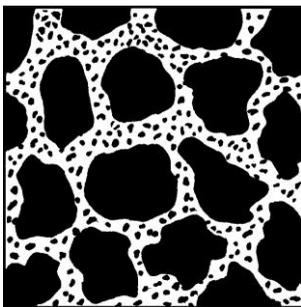


Рис.8. Схема микроструктуры сплава состава 40% кадмия и 60% цинка. β -фаза и эвтектика ($\alpha+\beta$)

Рассматриваемый припой является заэвтектическим сплавом, его микроструктура состоит из темных первичных зерен β -твердого раствора кадмия в цинке и эвтектики в виде темных включений β -фазы на светлом поле α -твердого раствора цинка в кадмии (рис.8). Поскольку с понижением температуры взаимная растворимость кадмия и цинка уменьшается, то ниже 266°C должны выделяться вторичные твердые растворы.

Однако как самостоятельная структурная составляющая они в структуре не обнаруживаются. Травление сплава обычно производится реактивом, используемым для травления оловянноцинковых припоев.

Кроме рассматриваемых выше к группе мягких припоев относятся также свинцовые припои, кадмиевые, индиевые, висмутовые, галлиевые пасты.

Свинцовые припои легируются серебром, оловом, медью и никелем. Они теплостойки, имеют высокий порог хладноломкости, но относительно низкую технологичность. Используются для пайки медных и латунных деталей.

Кадмиевые припои легируются оловом и серебром. Они обладают высокой прочностью, пластичностью. Паяные с их помощью детали могут работать до температуры $200\text{-}250^{\circ}\text{C}$. Недостатком является сравнительно низкая технологичность. Кадмиевые припои применяются для пайки меди и сплавов на ее основе, а также омедненной стали и алюминия.

Индиевые припои находят в последние годы широкое применение, несмотря на дефицитность индия. Легирующими элементами являются олово, серебро, цинк. Все эти сплавы низкотемпературны, поскольку индий имеет температуру плавления $156,4^{\circ}\text{C}$. Применяются для пайки металлов, полупроводников, а также металлов со стеклом, керамикой.

Висмутовые припои находят ограниченное применение, т.к. очень хрупки и плохо смачивают поверхность большинства употребляемых металлов. Их используют только для пайки плавких

предохранителей.

Галлиевые пасты представляют собой композиции галлия с порошками-наполнителями, в роли которых выступают порошки соединяемых металлов. Галлий имеет низкую температуру плавления $29,8^{\circ}\text{C}$, поэтому в виде паст припоя на его основе существуют при температуре $20-30^{\circ}\text{C}$ и с течением времени затвердевают. Температура плавления затвердевшего припоя значительно выше, чем галлия. При затвердевании происходит увеличение объема сплава, поэтому соединяемые пайкой детали рекомендуется подвергать сжатию. Паяные с помощью галлиевых паст соединения работают только при комнатной температуре, предел прочности при растяжении составляет $20-50$ МПа.

2.2. Микроструктура твердых припоев

К группе твердых припоев относятся серебряные припои и припои на его основе.

Серебряные припои широко используются для пайки меди и ее сплавов, их можно применять также для пайки никеля и сталей. Серебряные припои обладают высокой температурой плавления, достаточной прочностью и пластичностью, хорошей жидкотекучестью. Предел прочности при растяжении составляет $300-350$ МПа, относительное удлинение $15-35\%$. Применение этих сплавов ограничивается высокой стоимостью и дефицитностью серебра.

Находят применение как двойные сплавы серебра с медью, так и многокомпонентные сплавы с медью, цинком и кадмием. Для понижения температуры плавления и улучшения технологических свойств в них иногда вводят в небольших количествах фосфор и олово. Для улучшения смачивающей способности припоев системы серебро-медь в их состав вводят до 5% палладия, что повышает качество паяных соединений. Добавки лития также увеличивают смачивающую способность серебряных припоев по отношению к сталям и медным сплавам.

Состав медносеребряных припоев представлен в табл.2. Структура этих сплавов соответствует диаграмме состояния серебро-медь (рис.9).

Таблица 2
Состав медносеребряных припоев*

Марки припоя	Химический состав, %		Температура плавления, °С	
	Ag	Cu	солидус	ликвидус
ПСр 72	72±0,5	ост.	779	779
ПСр 50	50±0,5	ост.	779	850

* Примеси не более 0,25%.

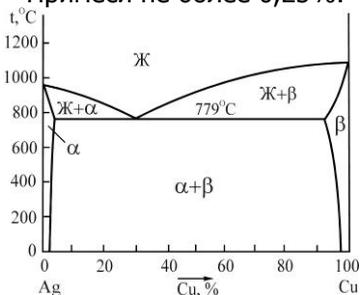


Рис.9. Диаграмма состояния системы серебро-медь

В твердом состоянии эти металлы имеют ограниченную растворимость, α -фаза представляет собой ограниченный твердый раствор на основе серебра, β -фаза - ограниченный твердый раствор на основе меди. При температуре 779°C в системе протекает эвтектическая реакция.

На рис.10 показана микроструктура припоя марки ПСр50, состоящая из темных первичных зерен β -фазы и эвтектики в виде темных включений β -фазы на светлом поле α -фазы. С понижением температуры растворимость серебра и меди в твердом состоянии уменьшается, поэтому при равновесной кристаллизации должны выделяться вторичные фазы α_{II} и β_{II} . Они находятся в поле эвтектики и внутри первичных зерен. Травление сплава производится обычно реактивом HCl+FeCl₂+вода в соотношении 1:1:4.

Однако при пайке из-за подавления диффузионных процессов в результате ускоренного охлаждения вторичные фазы α_{II} и β_{II} не выделяются.

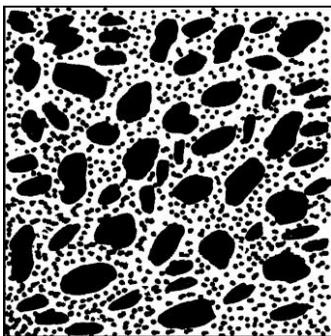


Рис.10. Схема микроструктуры сплава марки ПСр50, β -фаза и эвтектика($\alpha+\beta$). $\times 340$

Припои тройной системы серебро-медь-цинк также обеспечивают соединения высокой прочности и пластичности. Они применяются для пайки ответственных деталей из сталей, а также меди и ее сплавов. В эти припои иногда вводят марганец для повышения теплостойкости. Такие припои используются для пайки медных и стальных деталей, работающих при температурах до 600°C .

Достаточно широкое применение находят также припои системы серебро-медь-цинк-кадмий. Наиболее употребительным из них является заэвтектический сплав марки ПСр40, который имеет состав: 39-41% серебра; 16,4-17,4% меди; 16,6-17,8% цинка; 25-25,5% кадмия. Температура плавления составляет $595-605^{\circ}\text{C}$, сплав применяется для пайки стальных и медных изделий, когда необходимо сохранить характеристики прочности закаленной стали или избежать коробления в процессе пайки. Прочность получаемых пайкой изделий очень велика.

3. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Уясните цель работы.
- 3.2. Изучите принципы пайки, классификацию и характеристику припоев.
- 3.3. Изучите микроструктуры припоев (альбом, с.30).
- 3.4. Изобразите схемы микроструктур припоев.
- 3.5. Выполните микроструктурный анализ припоев.
- 3.6. Проследите за формированием структуры одного из припоев в процессе охлаждения из жидкого состояния.
- 3.7. Составьте отчет о работе.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- Цель работы.
- Принципы пайки, классификация и характеристика припоев.
- Схемы микроструктур припоев.

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

- Микроструктурный анализ припоев.
- Схемы вероятных микроструктур в процессе охлаждения из жидкого состояния одного из припоев.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Какой способ соединения элементов конструкций называется пайкой?
- Что называется припоем, основным металлом, спаем?
- Какими свойствами должны обладать припои?
- В чем заключается преимущество пайки перед сваркой?
- Какие сплавы относятся к группе мягких припоев и где они используются?
- Какие сплавы относятся к группе твердых припоев и где они используются?
- Какую структуру имеют припои оловянно-свинцовые, оловянно-цинковые?
- Какую структуру имеют цинкокадмиевые припои?
- Какие свойства паяных соединений обеспечивают твердые припои?
- Какую структуру имеют серебряные припои?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гуляев А.П. Металловедение.- М.: Металлургия, 1986. 544 с, С.529-532.
2. Материаловедение/ Арзамасов В.Н., Сидорин И.Н., Косолапов Г.Ф. и др.- М.: Машиностроение, 1986. 384 с., С.338-339.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВНОЙ ВЯЗКОСТИ И ПЛОТНОСТИ ЖИДКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Цель работы

Ознакомление с особенностями жидкостей, используемых в приборостроении, устройством приборов для определения их условной вязкости и плотности, а также методиками измерений.

ВВЕДЕНИЕ

В приборостроении и средствах автоматики широко распространены жидкие диэлектрики - электроизоляционные масла, лаки, заливочные и пропиточные компаунды (композиции на основе различных полимеров, применяемые для изоляции токопроводящих систем и деталей) и подобные им материалы. Наиболее важными характеристиками жидких диэлектриков являются вязкость и плотность.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Вязкость - свойство жидкостей и газов оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. Вязкость характеризуется коэффициентом внутреннего трения. Если вязкость жидкости большая, то жидкость густая, ее частицы имеют малую подвижность; если вязкость малая, то частицы жидкости очень подвижны. Пропитывающая способность жидких диэлектриков определяется их вязкостью. Чем меньше вязкость жидкого диэлектрика, тем глубже проникают его частицы в пористые диэлектрики и между витками обмотки.

Вязкость измеряют специальным прибором - вискозиметром. Работа вискозиметра основана на измерении времени истечения определенного объема жидкости из сосуда через цилиндрические отверстия (сопла) в его дне. Большее время истечения жидкости свидетельствует о большей вязкости. Вязкость масла, заливаемого в трансформатор, должна быть как можно меньшей, чтобы масло лучше отводило теплоту от обмоток. В масляных выключателях масло малой вязкости оказывает меньшее сопротивление движению механизмов выключателя и способствует лучшему охлаждению дуги и ее гашению.

Одной из характеристик вязкости является условная вяз-

кость. Условная вязкость, измеряемая в градусах Энглера ($^{\circ}\text{Э}$), представляет собой отношение времени истечения 100 мл электроизоляционной жидкости при заданной температуре ко времени истечения 100 мл дистиллированной воды при 20°C . Время истечения 100 мл воды при 20°C называется постоянной прибора, она равна 10-11 с.

Применяется и другая характеристика вязкости - кинематическая вязкость, измеряемая стоксами ($1 \text{ Ст} = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$). Одна сотая стока - сантистокс (сСт). Кинематическая вязкость при 20°C приблизительно равна 1 сСт.

Единица условной вязкости ВУ связана с единицей кинематической вязкости γ эмпирическим соотношением ВУ (град) = 1,135 γ (сСт).

Плотностью называется отношение массы вещества к занимаемому им объему:

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где ρ – плотность тела, m – его масса, а V – объем.

В системе СИ единица плотности $1 \text{ кг}/\text{м}^3$. Отношение плотностей двух веществ называется относительной плотностью (обычно плотность веществ определяют относительно плотности дистиллированной воды). Малой плотностью обладают газы, высокой - некоторые металлы.

Для быстрого определения плотности жидкости служит ареометр (поплавок, наполненный дробью или ртутью, с узким отростком, на котором нанесены деления). Его применение обеспечивает точность до 1% в диапазоне от 600 до $1840 \text{ кг}/\text{м}^3$. Применять ареометр желательно с прозрачными жидкостями.

Вязкость и плотность жидких диэлектриков, как и другие физические свойства, изменяются с изменением температуры внешней среды.

2 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

2.1 Определение условной вязкости

Для определения условной вязкости жидких диэлектриков используют универсальный вискозиметр ВУ (рис.1). Его главная часть - латунный сосуд 10, куда заливают испытываемую жидкость.

Сосуд 10 помещен внутри латунного сосуда (бани) 12, заливаемого водой, маслом или другой жидкостью. В крышке 8 сосуда 10 имеются два отверстия: отверстие для термометра 6 и отверстие 7 для деревянного или фибрового стержня 4. Стержень 4 своим острием закрывает сточное отверстие 3 - цилиндрический канал, внутренний диаметр которого 2,8 мм и высота 20 мм. Баня 12 подогревается нагревательным прибором 2. Мешалка 13 служит для перемешивания жидкости в бане.

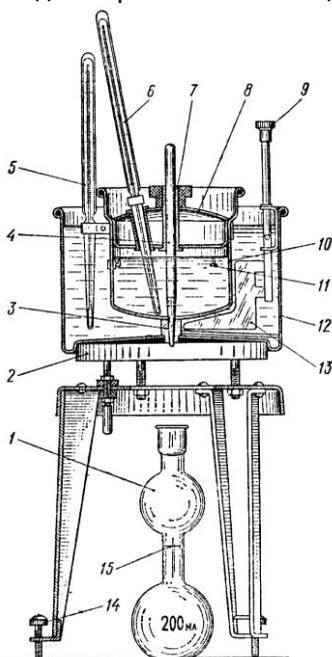


Рис.1 Универсальный вискозиметр ВУ:

1 - мерная колба, 2 - электронагревательный прибор, 3 - сточное отверстие, 4 - стержень, 5 - термометр для измерения температуры жидкости в бане, 6 - термометр для измерения температуры испытываемой жидкости, 7 - отверстие для стержня, 8 - крышка, 9 - рукоятка мешалки, 10 - латунный сосуд (резервуар для испытываемой жидкости), 11 - указатель (латунный штифт), 12 - баня, 13 - мешалка (лопатка), 14 - установочный винт, 15 - метка, соответствующая емкости 200 мл

Температура бани измеряется термометром 5, укрепляемым в зажиме. Внутри сосуда 10 имеются острия указателей 11, верхние концы которых должны одновременно касаться уровня залитого в сосуд жидкого диэлектрика; это дает возможность проверить горизонтальность установки прибора. Горизонтальность установки регулируют винтами 14. Под прибор устанавливают мерную колбу 1.

Для определения вязкости можно использовать и более простой по конструкции вискозиметр ВЗ-4, позволяющий определить вязкость жидкого диэлектрика, не подогревая его.

Сосуд 1 вискозиметра ВЗ-4 (рис.2) изготовлен из металла или пластмассы. В конусообразном его дне имеется сточное отверстие $\varnothing 4$ мм, закрываемое стержнем 2. Сосуд укреплен на штативе 5 с помощью держателя 3. Вискозиметр вмещает 100 ± 1 мл испытываемой жидкости, вязкость которой определяется временем истечения (в секундах) этого количества жидкости из сосуда 1.

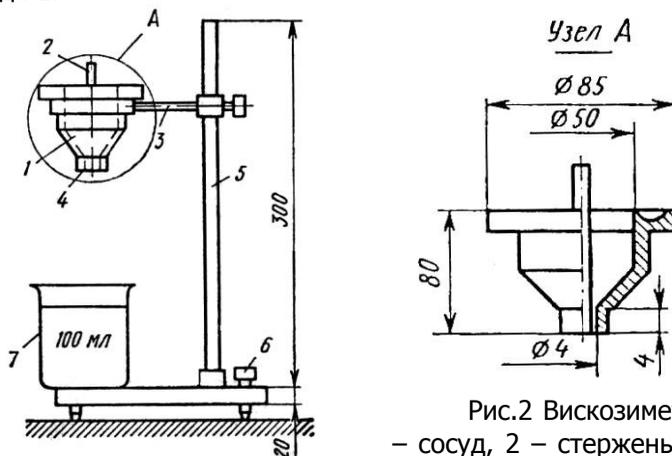


Рис.2 Вискозиметр ВЗ-4: 1 – сосуд, 2 – стержень, 3 – держатель, 4 – сточное отверстие, 5 – штатив, 6 – штифт для горизонтальной установки, 7 – сосуд для приема жидкости

2.2 Определение плотности

Для определения плотности жидких диэлектриков предназначен специальный прибор – ареометр (рис.3). Он представляет собой стеклянную трубку, расширенная нижняя часть которой заполнена балластом - чистой сухой металлической дробью, залитой слоем смолы, сургуча или другого связывающего вещества - с температурой плавления не ниже $+80^{\circ}\text{C}$.

Ареометры предназначены для измерения плотности, относительной плотности и концентрации веществ в двухкомпонентных растворах различных жидкостей в диапазоне от 600 до 1840 кг/м^3 .

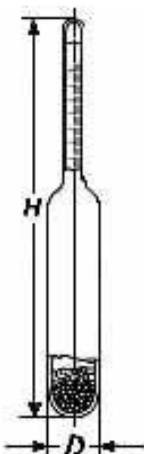


Рис.3 Ареометр АН



Рис.4 Цилиндр для ареометра

На верхней (узкой) части ареометра нанесена шкала, градуированная в единицах плотности или в процентах, в зависимости от назначения ареометра.

Чем меньше плотность жидкости, тем глубже погружается в нее ареометр, поэтому верхние деления шкалы соответствуют наименьшей, а нижние - наибольшей плотности. Показания отсчитываются по нижнему мениску.

Для определения относительной плотности при помощи ареометра исследуемую жидкость наливают в стеклянный цилиндр (рис.4). Уровень жидкости в цилиндре должен быть на несколько сантиметров ниже края цилиндра.

Изменение температуры исследуемой жидкости производят, нагревая и охлаждая цилиндр с жидкостью в водяной бане.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В работе используются три жидких диэлектрика – дистиллированная вода, минеральное трансформаторное масло, глицерин - трехатомный спирт ($C_3H_8O_3$).

3.1 Определение условной вязкости

3.1.1 Тщательно очистить резервуар и особенно сопло растворителем по ГОСТ 3134-78 и протереть мягкой тканью

3.1.2 Выдержать вискозиметр в течение 15-20 минут при температуре $(20 \pm 0,2)^\circ C$

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

3.1.3 Довести температуру испытуемого материала до температуры $(20 \pm 0,2)^\circ\text{C}$

3.1.4 Тщательно перемешать испытуемый материал, отобранный в соответствии с ГОСТ 9980-80, избегая образования в ней пузырьков воздуха

3.1.5 Установить вискозиметр на стол (верстак, установку)

3.1.6 Под сопло вискозиметра подставить мензурку вместимостью не менее 100 мл

3.1.7 Закрыть сопло вискозиметра специальной пробкой. Залить резервуар вискозиметра испытуемым материалом с избытком, чтобы образовался выпуклый мениск. Удалить избыток материала и образовавшиеся пузырьки воздуха с помощью стеклянной пластинки

3.1.8 С помощью наконечников подрегулировать положение резервуара так, чтобы верхняя поверхность резервуара находилась в горизонтальной плоскости с испытуемой жидкостью. При необходимости удалить испытуемую жидкость согласно п.7

3.1.9 Открыть отверстие сопла и включить секундомер с появлением испытуемого материала из сопла. В момент первого прерывания струи испытуемого материала секундомер остановить и отсчитывать время истечения с погрешностью не более 0,2 с

3.1.10 За величину условной вязкости в секундах, определенной по вискозиметру, принимать среднее арифметическое трех параллельных определений времени истечения каждого испытуемого материала:

$$t_U = \frac{\sum_{i=1}^n t_j}{n},$$

где $n=3$ (число испытаний)

3.1.11 Определить условную вязкость в градусах Энглера (°Э)

3.1.12 Подогреть жидкость до $(40 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ и провести испытания в соответствии с п.п.3.1.1-3.1.11

3.1.13 Подогреть жидкость до $(80 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ и провести испытания в соответствии с п.п.3.1.1-3.1.11

3.1.14 Результаты измерения и вычислений записать в табл.1

3.1.15 Построить зависимости результатов измерений от температуры нагрева

3.1.16 Сравнить полученные результаты со справочными данными. При обнаружении несоответствий определить их причины

3.2 Определение плотности

3.2.1 С цилиндром для ареометра произвести действия в соответствии с п.п.3.1.1-3.1.5

3.2.2 Залить в цилиндр испытуемую жидкость

3.2.3 Ареометр осторожно погрузить в жидкость, не выпуская его из рук до тех пор, пока не станет очевидным, что он плавает. Руку отпускают, и ареометр принимает нужное положение. Ареометр должен находиться в центре цилиндра и не касаться стенок или дна цилиндра.

3.2.4 Произвести отсчет по делениям шкалы ареометра. Деление, против которого установился мениск жидкости, характеризует величину плотности при соответствующей температуре.

3.2.5 По окончании измерений ареометр обмыть пресной водой, вытереть и убрать в специальный футляр.

3.2.6 Произвести определение плотности жидкости с изменением ее температуры в соответствии с п.п.3.1.12-3.1.16

Таблица 1

№ п/п	Т, °С	Вязкость		Плотность, кг/м ³
		Время истечения, с	Условная вязкость, °Э	
Вода				
1	20			
2	40			
3	80			
Глицерин				
4	20			
5	40			
6	80			
Масло				
7	20			
8	40			
9	80			

4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1 Цель работы.
- 4.2 Краткая характеристика вязкости и плотности жидких диэлектриков.
- 4.3 Описание единиц измерений вязкости и плотности.
- 4.4 Схема конструкции и подробное описание вискозиметров ВУ и ВЗ-4.
- 4.5 Схема конструкции и подробное описание ареометра.
- 4.6 Методика определения вязкости жидких диэлектриков.
- 4.7. Методика определения плотности жидких диэлектриков.
- 4.8 Результаты измерений и их статистическая обработка.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1 Что называется вязкостью жидкостей?
- 5.2 Какими средствами измеряется вязкость?
- 5.3 Что представляют собой единицы измерения вязкости?
- 5.4 В какой момент следует начинать и заканчивать отсчет времени истечения жидкости?
- 5.5 Как изменяется вязкость жидкости с изменением ее температуры?
- 5.6 Что называется плотностью жидкостей?
- 5.7 Что представляет собой прибор измерения плотности?
- 5.8 По какому делению следует отсчитывать показания прибора при определении плотности жидкости?
- 5.9 Как изменяется плотность жидкости с изменением ее температуры?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесов С.Н., Колесов И.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учеб. для вузов / М.: Высш. шк., 2004
2. Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы. Л.: "Энергия", 1977
3. Материалы в приборостроении и автоматике. Справочник (под ред. Пятин Ю.М.).- М., Машиностроение, 1982

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

МАГНИТОТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы

Ознакомление с устройством приборов для измерения магнитной индукции; освоение методики и техники проведения эксперимента на магнитотвердых материалах различного состава и способа изготовления.

ВВЕДЕНИЕ

При изучении свойств и прогнозировании возможных областей применения магнитотвердых материалов основываются на одной из основных характеристик магнитного поля - магнитной индукции.

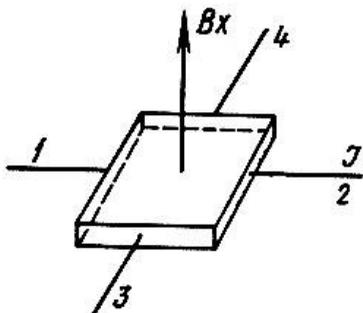
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Магнитная индукция – силовая характеристика магнитного поля, векторная величина (B). Направление вектора магнитной индукции в каждой точке совпадает с направлением магнитной стрелки. Единицей магнитной индукции служит тесла (T).

Магнитную индукцию постоянных полей магнитов, электромагнитов и соленоидов в лабораторных и производственных условиях измеряют специальным прибором - измерителем магнитной индукции Ш1-8, представляющим собой переносной прибор, предназначенный для измерения индукции.

2 ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРА

В приборе для измерения магнитного поля используется эффект Холла. Если через однородную пластину полупроводника (рис.1), помещенную в магнитное поле B , перпендикулярное плоскости пластин, пропустить ток через контакты $1, 2$, то между контактами $3, 4$ возникает напряжение Холла - U_x .



$$U_x = \frac{R \cdot I \cdot B_x}{t},$$

где I - ток через пластину,

R - постоянная Холла,
 B_x - магнитная индукция,
 t - толщина пластины

Рис.1 Принцип эффекта Холла

Измеряя напряжение Холла, можно определить магнитную индукцию по формуле:

$$B_x = \frac{U_x \cdot t}{I \cdot R} = \frac{U_x}{I} \cdot K,$$

где K - параметр преобразователя Холла, определяемый его материалом и размерами.

3 УСТРОЙСТВО ПРИБОРА И ЕГО СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

Измеритель магнитной индукции Ш1-8 представляет собой настольный переносной прибор (рис.2).

Основу каркаса составляет передняя и задняя рамы, скрепленные между собой угольниками. Каркас закрыт легкими алюминиевыми обшивками. Обшивки имеют отверстия, обеспечивающие температурный режим прибора.

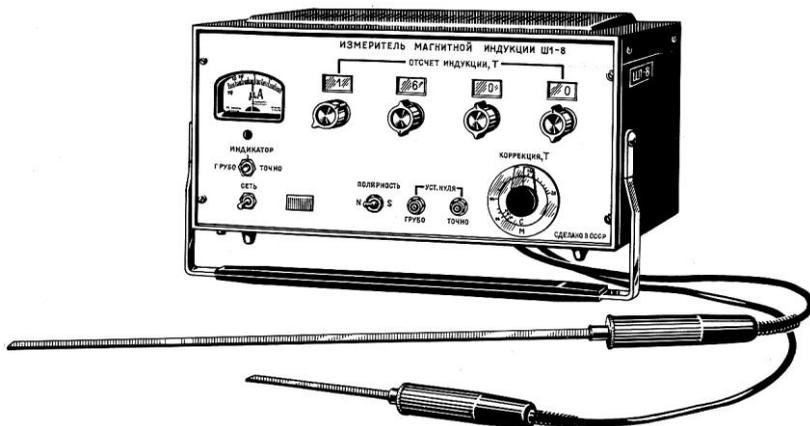


Рис.2 Общий вид измерителя магнитной индукции Ш1-8
На передней панели измерителя размещены следующие органы управления:

- тумблер включения сети с подсветкой "СЕТЬ";
- отсчетное устройство "ОТСЧЕТ ИНДУКЦИИ, Т";
- стрелочный индикатор;
- резисторы "УСТ.НУЛЯ";
- тумблер "ИНДИКАТОР";
- тумблер "ПОЛЯРНОСТЬ";
- ручка "КОРРЕКЦИЯ, Т".
- На задней стенке расположены:
 - разъем "ЗОНД" для подключения зондов "М" и "С";
 - счетчик времени наработки ЭСВ-2,5-27;
 - тумблер "115 V 400 Hz - 220V 50 Hz. , 400 Hz ";
 - предохранитель "0,5 А";
 - клемма защитного заземления.

4 ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К ЭКСПЛУАТАЦИИ

Подключить к разьему "ЗОНД" зонд "М", предварительно сняв с него предохранительный чехол.

Установить тумблер "СЕТЬ" в верхнее положение, при этом должна загореться сигнальная лампочка.

Прогреть прибор в течение 15 минут. Шкалу первой декады отсчетного устройства "ОТСЧЕТ ИНДУКЦИИ, Т" установить в положение "0".

Тумблер "ПОЛЯРНОСТЬ" установить в положение "N".

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

Тумблер "ИНДИКАТОР" установить в положение "ТОЧНО".

Зонд расположить таким образом, чтобы преобразователь Холла был максимально удален от источников магнитного поля.

Резисторами "УСТ.НУЛЯ" - "ГРУБО", "ТОЧНО" совместить стрелку индикатора с отметкой "0".

Поместить зонд в магнитное поле, при этом стрелка индикатора должна отклониться влево.

Если стрелка индикатора отклонится вправо, зонд "М" следует повернуть на 180° .

Рабочие условия эксплуатации прибора:

- температура окружающего воздуха от 243 до 323 К (от минус 30°C до 50°C);

- относительная влажность до 95% при температуре окружающего воздуха 30°C ;

- атмосферное давление до $61,4 \text{ кН/м}^2$ (460 мм рт.ст.);

- напряжение питающей сети $220 \pm 22 \text{ В}$, частотой 500,5 Гц.

5 ВЫБОР ПОЛОЖЕНИЯ ЗОНДА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

При использовании прибора необходимо иметь в виду, что правильный отсчет по прибору может быть сделан только тогда, когда плоскость преобразователя Холла составляет с направлением вектора магнитной индукции угол 90° .

Отсчет (b_x)- по прибору и истинное значение индукции в зазоре B_x связаны следующим соотношением:

$$b_x = B_x \cdot \cos \alpha$$

где α - угол между векторами магнитной индукции и нормалью к поверхности преобразователя.

Погрешность прибора γ , вызванная неверной установкой зонда в магнитном поле, определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta b_x}{B_x} \cdot 100\% = (1 - \cos \alpha) \cdot 100\%$$

Из этой формулы следует, что при углах α , не превышающих 4° , дополнительная погрешность прибора лежит в пределах $\pm 25\%$. При дальнейшем увеличении угла α дополнительная погрешность прибора быстро возрастает и может значительно исказить результат измерения.

При многократных измерениях магнитных полей одинаковой конфигурации необходимо изготовить специальные насадки

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

на зонды прибора, фиксируя их в зазоре магнитов.

Индукцию магнитного поля можно определить достаточно точно, если частично ограничить возможность перемещения зонда в пространстве. Например, для определения максимальной индукции поля в зазоре в зазоре исследуемого магнита; между полюсами магнита и зондом прибора установить прокладку, обеспечивающую параллельность плоскостей зонда и магнитного зазора; прокладки должны быть изготовлены из немагнитного материала (картона, гетинакса, пластмассы, латуни, алюминия, текстолита).

Перемещая зонд в плоскости магнита, определить максимальное значение индукции по методике, изложенной выше.

Наиболее точную картину распределения поля можно получить, если зонд установить в координатное устройство и перемещать в магнитном поле, точно фиксируя его положение.

6 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В работе используются пять магнитотвердых материалов различного состава и способа изготовления. Для возможности сравнительного анализа сплавы имеют одинаковый межполюсный зазор. С использованием каждого из магнитов провести следующие действия:

6.1 Установить тумблер "ИНДИКАТОР" в положение "ГРУБО", шкалу первой декады отсчетного устройства "ОТСЧЕТ ИНДУКЦИИ, Т" перевести в положение "0,0". Ручку "КОРРЕКЦИЯ, Т" поставить в крайнее левое положение.

6.2 Поместить зонд в магнитное поле. Головку зонда необходимо поместить в магнитное поле таким образом, чтобы плоскость головки зонда с отметкой "0" была перпендикулярна направлению вектора магнитного поля.

6.3 При помощи ручек "ОТСЧЕТ ИНДУКЦИИ, Т" добиться совмещения стрелки индикатора с нулем путем постепенного увеличения (уменьшения) показаний шкал отсчетного устройства.

6.4 Ручкой "КОРРЕКЦИЯ, Т" установить визир шкалы на риску, соответствующую показанию отсчетного устройства. При помощи переключателей "ОТСЧЕТ ИНДУКЦИИ, Т" совместить стрелку индикатора с нулем.

6.5 Тумблер "ИНДИКАТОР" установить в положение "ТОЧНО". При помощи переключателей "ОТСЧЕТ ИНДУКЦИИ, Т"

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

совместить стрелку индикатора с нулем.

6.6 Последовательно устанавливая визир шкалы "КОРРЕКЦИЯ, Т" на риску, соответствующую показанию отсчетного устройства, и совмещая стрелку индикатора с нулем при помощи переключателей "ОТСЧЕТ ИНДУКЦИИ, Т", добиться совпадения показаний шкалы отсчетного устройства и шкалы "КОРРЕКЦИЯ, Т". Как правило, достаточно двух, трех приближений.

6.7 Снять показание по отсчетному устройству "ОТСЧЕТ ИНДУКЦИИ, Т".

6.8 Сравнить полученные результаты со справочными данными. При обнаружении несовпадений данных определить их причины.

6.9 Отклонить зонд таким образом, чтобы плоскость преобразователя Холла составляла с направлением вектора магнитной индукции угол $\alpha=30^\circ$, $\alpha=45^\circ$ и $\alpha=60^\circ$.

6.10 Вычислить погрешность прибора γ , вызванную неверной установкой зонда в магнитном поле.

6.11 Результаты измерения и вычислений записать в табл.1.

6.12 Сделать выводы о влиянии состава сплава и угла отклонения головки зонда на значение магнитной индукции.

Таблица 1

№ п/п	Марка сплава	Система (состав)	Угол α	b_x , Т	Погрешность γ , %
1			0°		
2			30°		
3			45°		
4			60°		

7 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1 Цель работы.

7.2 Краткая характеристика магнитной индукции материалов.

7.3 Описание принципа, лежащего в основе действия прибора для измерения магнитной индукции.

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

- 7.4 Схема и описание прибора Ш1-8.
- 7.5 Методика измерения магнитной индукции.
- 7.6 Результаты измерений и вычислений.

8 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 8.1 Что называется магнитной индукции?
- 8.2 Что называется эффектом Холла?
- 8.3 Что представляет собой прибор для измерения магнитной индукции?
 - 8.4 Как необходимо производить выбор положения зонда в магнитном поле?
 - 8.5 Как влияет угол между плоскость преобразователя Холла и направлением вектора магнитной индукции на погрешность прибора?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Колесов С.Н., Колесов И.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учеб. для вузов / М.: Высш. шк., 2004
- 2. Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы. Л.: "Энергия", 1977
- 3. Савельев И.В. Курс общей физики, т. II. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: Учебное пособие. – 2-е издание, переработанное. М.: Наука, 1982
- 4. Материалы в приборостроении и автоматике. Справочник (под ред. Пятина Ю.М.)- М., Машиностроение, 1982

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗМЯГЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ КАПЛЕПАДЕНИЯ АМОРФНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Цель работы

Ознакомиться с приборами для определения температуры размягчения и каплепадения по методам «кольца и шара» и Уббелоде. Освоить приемы определения температуры размягчения и температуры каплепадения аморфных диэлектриков.

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

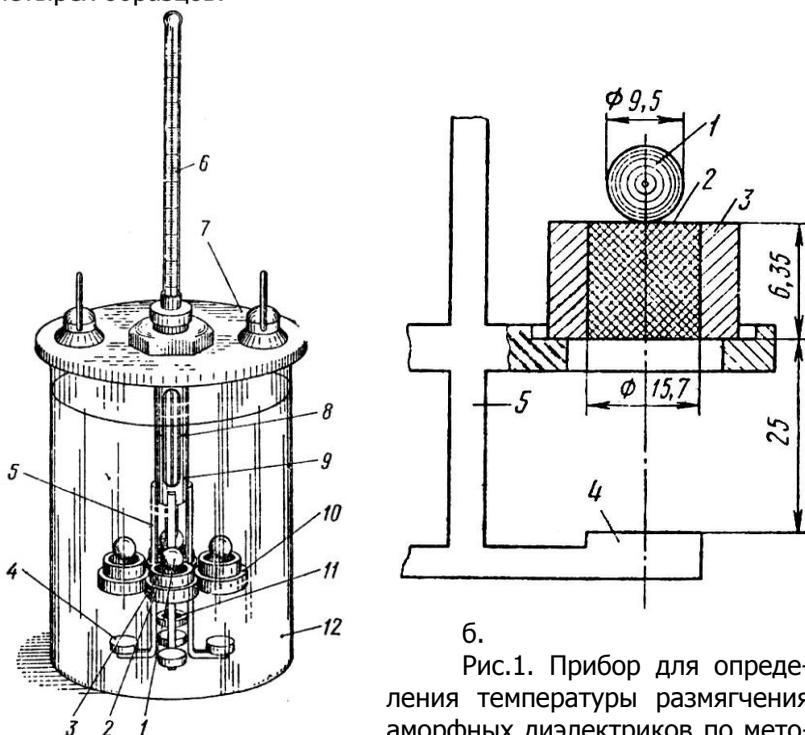
Аморфные вещества не имеют четко выраженной температуры плавления и переходят из твердого состояния в жидкое постепенно размягчаясь. При этом смолы, битумы, компаунды (композиции на основе различных полимеров, применяемые для изоляции токопроводящих систем и деталей) и другие аморфные вещества в отличие от кристаллических характеризуются широким температурным диапазоном, в котором происходит их плавление при нагревании (аморфизация при охлаждении).

Нагрев аморфного диэлектрика выше температуры его размягчения приводит к снижению почти всех его механических и диэлектрических характеристик. Переход материала в жидкое состояние приводит к полной потере функциональных свойств. Следовательно, при проектировании приборов и устройств автоматики необходимо учитывать температурный режим их работы с целью выбора оптимальной толщины диэлектрического покрытия.

Экспериментально температуру размягчения и температуру каплепадения различных диэлектриков определяют методами «кольца и шара» и Уббелоде.

2 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Прибор для определения температуры размягчения по методу «кольца и шара» (рис.1) состоит из комплекта четырех латунных колец и стальных шариков для одновременного испытания четырех образцов.



а.

а - общий вид; б - схема; 1 - стальной шар, 2 - испытуемый материал, 3 - латунное кольцо, 4-контрольная пластина (диск). 5 - стойка, 6 – термометр, 7 - крышка подвески, 8 - круговая риска, 9 - основная трубка, 10 - шайба. 11 - соединительная трубка (кольцо), 12 - стеклянный стакан.

Кольца 3 укрепляют на стойке 5, имеющей контрольную пластинку 4, и помещают их в стеклянный сосуд с водой или глицерином. Глицерин применяют при испытании материалов, температура размягчения которых выше 100^оС.

б.

Рис.1. Прибор для определения температуры размягчения аморфных диэлектриков по методу «кольца и шара»:

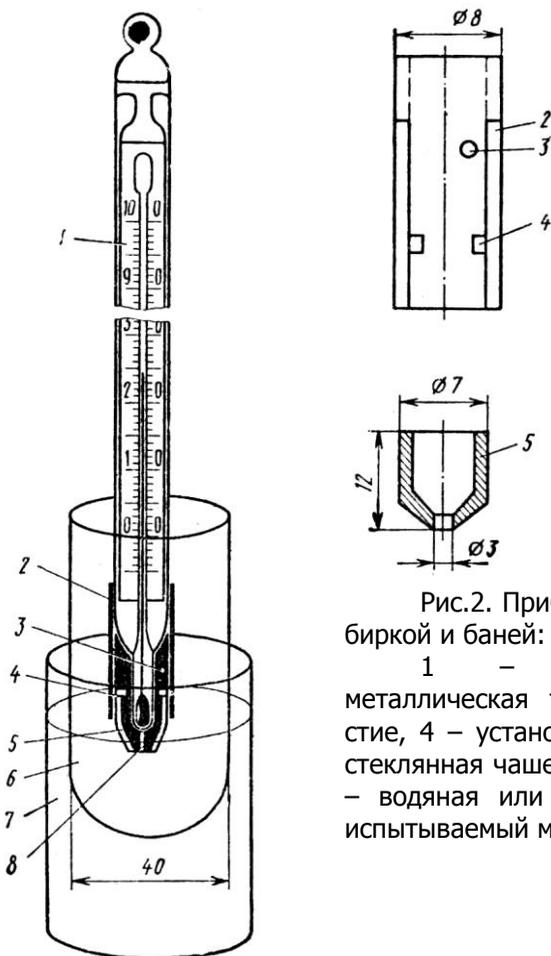


Рис.2. Прибор Уббелоде с пробиркой и баней:

1 – термометр, 2 – металлическая трубка, 3 – отверстие, 4 – установочный штифт, 5 – стеклянная чашечка, 6 – пробирка, 7 – водяная или масляная баня, 8 – испытываемый материал

Прибор Уббелоде (рис.2) состоит из специального термометра 1, на нижнюю часть которого насажена металлическая гильза. На гильзу навинчена трубка 2 с отверстием 3 для сообщения с атмосферой. Стеклянная чашечка 5 высотой 12 мм и $\varnothing 7$ мм имеет внизу отверстие $\varnothing 3$ мм. Ее заполняют массой испытываемого диэлектрика и вставляют в трубку 2 до упора в установочные штифты 4, ограничивающие глубину погружения шарика термометра в испытываемый материал.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В работе используются пять аморфных диэлектриков – парафин, полистирол, триацетат целлюлозы, канифоль, битум.

3.1. Определить температуру размягчения диэлектрика, пользуясь методом «кольца и шара» (см. рис.1).

3.1.1. Поместить кусочки диэлектрика в фарфоровую чашку и медленным нагреванием довести материал до жидкого состояния.

3.1.2. Залить четыре кольца 3 расплавленным испытываемым материалом 2.

3.1.3. Срезать после охлаждения лишний материал по верхней плоскости колец нагретым ножом.

3.1.4. Установить кольца в отверстия латунной полки в приборе и на слой диэлектрика поместить по стальному шарик.

3.1.5. Опустить прибор в сосуд с водой или глицерином и подогревать его со скоростью 5^oC/мин. Температуру контролировать термометром. Материал начнет равномерно разогреваться. Размягчаясь, испытываемый материал выдавливается под действием массы стального шара 1 и касается нижней контрольной пластины 4 в приборе.

3.1.6. Температуру, отмеченную в момент касания, принять за температуру размягчения образца материала и записать ее.

3.1.7. Повторить п.п.3.1.1-3.1.6 для остальных диэлектриков.

3.2. Определить температуру каплепадения диэлектрика.

3.2.1. Заполнить чашечку 5 (см. рис.2) испытываемым материалом, доведенным до жидкого состояния. Лишний материал срезать нагретым ножом.

3.2.2. Вставить чашечку и термометр 1 в прибор.

3.2.3. Поместить прибор в пробирку $\varnothing 40$ мм; пробирку погрузить в водяную или масляную баню и нагревать со скоростью 1^oC/мин. Отметить момент падения первой капли из отверстия в дне чашечки 5.

3.2.4. Записать температуру, отмеченную в момент падения первой капли, и считать ее температурой каплепадения данного аморфного материала.

3.2.5. Повторить п.п.3.2.1-3.1.4 для остальных диэлектриков

3.3. Результаты измерений записать в табл.1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование испытываемого материала	Температура размягчения, °С	Температура каплепадения, °С
1.	Парафин		
2.	Полистирол		
3.	Триацетат целлюлозы		
4.	Канифоль		
5.	Битум		

4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Цель работы.
- 4.2. Краткая характеристика температур размягчения и каплепадения аморфных диэлектриков
- 4.3. Схема конструкции приборов для определения температуры размягчения и каплепадения по методам «кольца и шара» и Уббелоде и подробное описание их работы.
- 4.4. Методика определения температуры размягчения и каплепадения аморфных диэлектриков.
- 4.5. Результаты измерений.

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Что понимают под температурами размягчения и каплепадения?
- 5.2. Какими приборами определяют температуры размягчения и каплепадения?
- 5.3. Для чего предназначена водяная или масляная баня?
- 5.4. Какое практическое значение имеют температуры размягчения и каплепадения аморфных диэлектриков?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Колесов С.Н., Колесов И.С. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Учеб. для вузов / М.: Высш. шк., 2004
- 2 Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы. Л.: "Энергия", 1977

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПЕРМАЛЛОЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение структуры пермаллоя, формирующейся в результате холодной пластической деформации, и определение влияния степени обжатия на магнитные свойства изделий путем сравнения кривых намагничивания.

1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Напряженность магнитного поля – H [А/м], для прямолинейного проводника круглого сечения:

$$H = \frac{I}{2\pi r},$$

где I – сила тока в проводнике [А]; r – расстояние [м] от проводника до точки, в которой определяется напряженность магнитного поля.

В веществе, помещенном во внешнее магнитное поле напряженностью H [А/м], возникает внутреннее магнитное поле, это есть намагниченность вещества M [А/м]:

$$M = \frac{P_m}{V},$$

где P_m – магнитный момент намагниченного тела, который может быть измерен магнитометром [А·м²]; V – объем тела [м³].

Отношение намагниченности тела M к вызвавшей ее напряженности внешнего магнитного поля есть относительная магнитная восприимчивость K_m :

$$K_m = \frac{M}{H}$$

Она характеризует способность вещества изменять свой магнитный момент под действием внешнего магнитного поля. Значение K_m у диамагнетиков отрицательно, а у парамагнетиков и магнетиков – положительно.

Вследствие появления намагниченности в веществе в нем

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

также возникает магнитный поток, который может быть измерен, если вокруг вещества поместить проводник, подключенный к измерительному прибору (гальванометру).

Магнитный поток Φ [В·с, Вб] определяется из закона электромагнитной индукции Фарадея:

$$d\Phi = -Edt$$

где E – электродвижущая сила [В], появляющаяся в проводнике за время dt [с] при убывании магнитного потока до нуля.

Удельный магнитный поток, проходящий через единицу сечения тела S [м²], расположенного перпендикулярно к силовым линиям (называемый также плотностью потока), есть индукция магнитного поля в веществе B [В·с/м², Вб/м², Тл]:

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

Отношение индукции магнитного поля в веществе B , к напряженности вызвавшего ее внешнего магнитного поля H , является характеристикой этого вещества, это – абсолютная магнитная проницаемость вещества μ_a [В·с/(А·м), Гн/м]:

$$\mu_a = \frac{B}{H}$$

На практике также часто вычисляют относительную магнитную проницаемость, равную:

$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}$$

где μ_0 – магнитная постоянная или абсолютная магнитная проницаемость вакуума, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [Гн/м] = $1,256 \cdot 10^{-6}$ [Гн/м].

2 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К ферромагнитным материалам относятся железо, никель, кобальт и многочисленные сплавы на их основе, а также гадолиний, диспрозий и некоторые другие лантаноиды. Магнитные свойства ферромагнетиков обусловлены обменным взаимодействием электронов, находящихся на незаполненных 3d – подуровнях железа, никеля и кобальта и 4f – подуровня лантаноидов.

В отсутствие внешнего магнитного поля ферромагнетики

состоят из доменов, каждый из которых спонтанно намагничен до насыщения M_s в одном из направлений легкого намагничивания. Ширина доменов в среднем равна нескольким мкм, в длину они могут простираются от одной границы кристалла (кристаллита) до другой. Домены разделены между собой стенками, в которых направления магнитных моментов (векторов намагниченности) меняются от направления вектора намагниченности одного домена к направлению вектора намагниченности другого, соседнего.

Магнитные моменты атомов, составляющих каждый из доменов, ориентируются параллельно в одном из так называемых направлений легкого намагничивания, в результате вектор намагниченности доменов в целом направлен именно в этом направлении. Магнитные силовые линии, ориентируясь в каждом из доменов по направлениям легкого намагничивания, образуют замкнутый контур, и отдачи магнитной энергии во внешнее пространство нет. Направления легкого намагничивания железа – ребра куба $[100]$, никеля – пространственные диагонали куба $[111]$, кобальта – продольные оси гексаэдра $[0001]$. Соответственно существуют и направления трудного намагничивания: $[111]$ у железа, $[100]$ у никеля, $[1010]$ (ребро гексагона) – у кобальта. Таким образом, существует анизотропия намагниченности доменов.

Процессы, происходящие в ферромагнетике при воздействии на него внешнего магнитного поля - намагничивание от 0 до M_s , размагничивание, перемагничивание - связаны с перестройкой его доменной структурой, включающей смещение доменных стенок и поворот векторов намагниченности.

Намагниченность M ферромагнетика, помещенного во внешнее магнитное поле с возрастающей напряженностью, изменяется по первичной (основной) кривой намагничивания, представленной на рис.1, а.

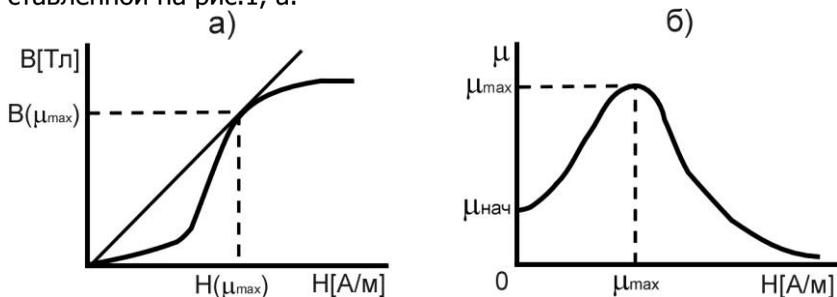


Рис.1 Основная кривая намагничивания (а) и кривая

магнитной проницаемости (μ) ферромагнетика

Кривая магнитной проницаемости, построенная в координатах $\mu=f(H)$ по данным, полученным из основной кривой намагничивания, имеет максимум. Это важная техническая характеристика материала – максимальная магнитная проницаемость μ_{max} (рис.1, б). Другая практически важная характеристика ферромагнетика – начальная магнитная проницаемость $\mu_{нач}$ определяется экстраполяцией кривой проницаемости (рис. 1, б) на ось ординат.

Если после достижения магнитного насыщения, уменьшать напряженность внешнего магнитного поля, то вектор намагниченности домена будет поворачиваться от направления вектора этого поля к направлению ближайшей оси легкого намагничивания до совпадения с ней. Когда поле становится равным нулю, намагниченность ферромагнетика полностью не исчезает – возникает остаточная намагниченность M_r и соответствующая ей остаточная индукция B_r (рис.2).

При приложении поля, направление которого по знаку противоположно намагничивающему, в веществе с остаточной индукцией B_r возникают домены с векторами намагниченности, близкими по направлению к вектору этого поля, это – так называемые зародыши перемагничивания. Зародыши увеличиваются в объеме вследствие сдвига доменных стенок по мере увеличения напряженности отрицательного поля, и при некоторой его величине, называемой коэрцитивной силой H_c , остаточная индукция обращается в нуль.

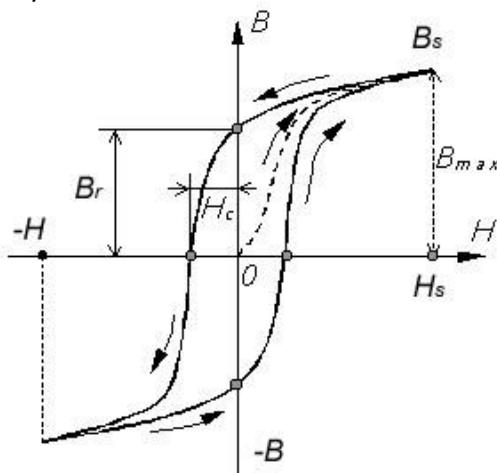


Рис.2 Петля гистерезиса ферромагнетика

При дальнейшем (после H_c) возрастании отрицательного поля возникает и возрастает "отрицательная" индукция – вплоть до $-B_s$.

Затем, при снятии внешнего поля возникает остаточная индукция B_r . При новом приложении положительного поля вновь достигается H_c , а затем B_s и т.д. При этом последовательно повторяются процессы перестройки доменной структуры, описанные выше, а кривая имеет форму замкнутой фигуры, называемой петлей гистерезиса.

Площадь петли гистерезиса пропорциональна энергии, затрачиваемой на один цикл перемагничивания 1 м^3 ферромагнетика. Эта энергия расходуется на нагревание перемагничиваемого материала и называется потерями на гистерезис.

Материалы с узкой петлей гистерезиса, т.е. с малой коэрцитивной силой ($H_c \leq 100$ А/м) и высокой магнитной проницаемостью, называют магнито-мягкими. Материалы с большой коэрцитивной силой ($H_c \leq 10$ А/м) называют магнито-твердыми.

3 СВЯЗЬ СТЕПЕНИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ФЕРРОМАГНИТНОГО МАТЕРИАЛА С ЕГО МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Пластическая холодная деформация (ниже температуры рекристаллизации) вызывает искажения пространственной решетки. Внутренние напряжения, обусловленные искажением решетки, затрудняют процессы намагничивания и размагничивания железа и прочих ферромагнитных металлов. В результате магнитная проницаемость и восприимчивость при наклепе понижаются, и тем значительно, чем больше степень обжатия. Электрическое сопротивление, коэрцитивная сила и гистерезис, наоборот, возрастают с повышением степени обжатия.

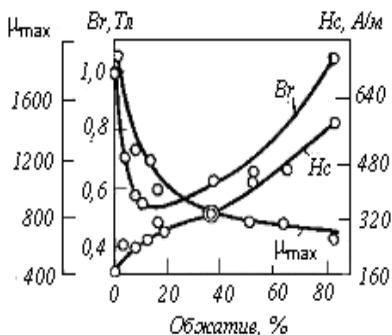


Рис.3 Зависимость магнитных свойств от степени обжатия

резко падает, а при дальнейшем увеличении наклепа постепенно возрастает.

Далее, приведен пример влияния на магнитные свойства ферромагнетика процесса разупорядочивания его структуры в результате действия пластической деформации. Если сплав состава Ni₃Mn в состоянии упорядочения подвергнуть пластической деформации (рис.4, кривая 1), то магнитное насыщение и остаточный магнетизм понижаются тем более значительно, чем больше



Рис.4 Влияние холодной деформации на $\mu_0 I_s$

На рис.3 показаны соответствующие зависимости H_c и μ_{max} , полученные при испытании железной проволоки с 0,07%С. Потери на гистерезис, так же как и H_c при наклепе возрастают. Остаточная индукция ведет себя несколько своеобразно. При критической степени обжатия (около 5-8%) она

степень обжатия. Это объясняется тем, что при наклепе происходит нарушение порядка в расположении атомов. Кривая 2 (рис.4) соответствует сплавам, предварительно закаленным на неупорядоченный твердый раствор. В этом случае магнитное насыщение при наклепе почти не меняется.

4 УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Соленоид S (рис.5) состоит из трёх обмоток, две из которых А и В соединены последовательно навстречу друг другу. При возбуждении соленоида S переменным током на обмотке С возникает напряжение пропорциональное производной по времени напря-

женности магнитного поля внутри соленоида. В отсутствие ферромагнитного материала в соленоиде напряжение, снимаемое с двух последовательно включенных и одинаковых обмоток А и В, равно нулю. При наличии в обмотке А или В ферромагнитного материала Р в них возникает напряжение, пропорциональное производной по времени интенсивности магнитного поля J , создаваемого в образце. Оба, из полученных напряжений (с обмоток А, В и обмотки С), подаются сначала на интегрирующую цепь, а затем после усиления – к отклоняющим пластинам электронно-лучевой трубки осциллографа, в результате чего на экране осциллографа становится видимым полный цикл намагничивания образца.

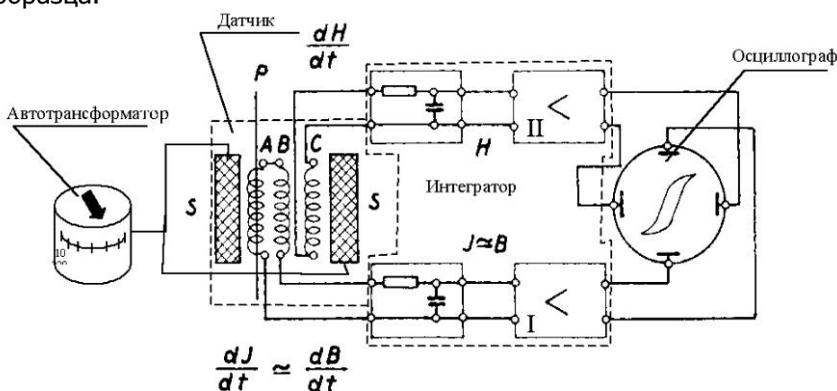


Рис.5 Структурно-функциональная схема регистратора петли гистерезиса

На изложенном принципе работает установка для регистрации петли гистерезиса, которая состоит из датчика-соленоида, двухканального интегратора с усилителями, осциллографа и автотрансформатора.

Для измерения магнитной индукции B испытуемого материала служит усилитель I, а для измерения напряженности магнитного поля H служит усилитель II. На входе двух усилителей имеются интегрирующие цепи, предназначенные для получения напряжения, пропорционального H и B , снимаемого с измерительных обмоток А, В и С. Постоянная времени интегрирующих элементов и чувствительность усилителей подобраны из условия получения качественного изображения на экране осциллографа петли гистерезиса стальных образцов, выбранных размеров.

В данной лабораторной работе исследуется магнитный ги-

стерезис четырех цилиндрических образцов из трансформаторной стали (диаметр – 6 мм, длина – 112 мм) после отжига и пластической деформации с различной степенью: 10%, 20%, 30% и 50%.

5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Проверить правильность сборки лабораторной установки.

5.2 С разрешения преподавателя включить установку.

5.3 Поместить первый образец в датчик и, перемещая его относительно обмотки датчика, добиться наиболее четкого изображения петли гистерезиса на экране осциллографа.

5.4 Цифровым фотоаппаратом сфотографировать с экрана осциллографа полученное изображение.

5.5 Повторить действия п.п. 5.3, 5.4 для трех оставшихся образцов.

5.6 С использованием персонального компьютера привести полученные изображения к наиболее четкому виду и распечатать.

5.7 Проанализировать отличия петель гистерезиса на образцах деформированных с различной степенью.

5.8 Сделать выводы о полученных результатах

6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

6.1 Цель работы.

6.2 Краткие теоретические предпосылки, необходимые для выполнения лабораторной работы.

6.3 Принципиальная схема лабораторной установки для регистрации гистерезисных петель.

6.4 Графические изображения осциллограмм петель гистерезиса исследуемых образцов.

6.5 Выводы по работе, содержащие анализ полученных результатов на образцах после пластической деформации с различной степенью с объяснением особенностей изменения магнитных параметров материала в зависимости от его структуры.

7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 Назовите основные характеристики, определяющие магнитные свойства материала?

7.2 Какие вы знаете ферромагнитные материалы?

7.3 Что такое магнитотвердые и магнитомягкие материалы?

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

- 7.4 Что характеризует площадь петли гистерезиса?
7.5 Как степень пластической деформации влияет на магнитные свойства ферромагнитным материалов?

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Преображенский А.А., Бишард Е.Г. Магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1986.
2. Домбровский Ю.М. Физические свойства металлов и сплавов. Учебное пособие.- Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004.
3. Справочник по электротехническим материалам. / Под ред. Ю.В. Корицкого и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ РЕЗИСТОРОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ

Цель работы

Ознакомиться с системой обозначений и типами линейных постоянных резисторов и полупроводниковых терморезисторов. Освоить приемы определения температурных зависимостей сопротивления.

1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Резистором называют элемент электронной аппаратуры, обладающий свойством активного электрического сопротивления. В зависимости от применяемых материалов, резисторы могут быть линейными (зависимость падения напряжения от тока представляет собой линейную функцию, что говорит о постоянстве сопротивления) и нелинейными, у которых сопротивление изменяется под воздействием тока или напряжения. Линейные резисторы могут быть постоянными или переменными. Сопротивление постоянного резистора задано при его изготовлении, тогда как в переменных резисторах имеется возможность регулирования сопротивления механически (с помощью третьего подвижного контакта) или бесконтактным способом, с помощью цифрового управления (в настоящей работе не используются). Постоянные резисторы выпускаются проволочными, пленочными и объемными.

Мощные проволочные резисторы (от 5 до 1000 Вт) имеют трубчатое керамическое основание, на котором намотана спираль из нихрома ($Ni\ 80\% + Cr\ 20\%$) или других сплавов, содержащих никель и хром. У самых мощных резисторов спираль оголена, а у резисторов мощностью до 250 Вт покрыта защитным слоем стеклоэмали. Прецизионные проволочные резисторы выпускаются мощностью от 0,05 до 5 Вт. Они имеют герметичный корпус, внутри которого находится спираль из константана ($Cu\ 55\% + Ni\ 45\%$) или манганина ($Cu\ 86\% + Ni\ 2\% + Mn\ 12\%$).

Пленочные резисторы (обычно от 0,075 до 2 Вт) имеют резистивный материал в виде пленки, нанесенной на диэлектриче-

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

ское основание, в основном цилиндрической формы. Пленочные резисторы подразделяются на углеродистые (материал пленки – пиролитический углерод), металлопленочные (пленки из металлов и их сплавов), металло-окисные и металлодиэлектрические (пленки оксидов, проводящих стекол и эмалей).

Объемные резисторы (обычно от 0,125 до 2 Вт) представляют собой спеченную или полимеризованную при повышенной температуре многокомпонентную смесь, содержащую материал – связку и проводящий компонент (композиционные резисторы).

Терморезисторы (ТР) – объемные нелинейные резисторы изготовленные из полупроводниковых материалов, имеющих большой температурный коэффициент сопротивления (ТКС). Действие ТР основано на свойстве полупроводников значительно изменять свое сопротивление при изменении температуры. Терморезисторы сильно отличаются от металлических резисторов не только по величине ТКС, но и по его знаку, который у ТР отрицательный. При нагревании металлов на 1°С их сопротивление повышается на 0,4-0,5%. Сопротивление полупроводников при таком же нагревании, падает на 3-10 %.

В зависимости от применяемого полупроводникового – материала ТР могут быть разделены на медно-марганцевые (ММТ и СТ2), кобальто-марганцевые (КМТ и СТ1), медно-кобальто-марганцевые (СТ3) и титано-бариевые, имеющие малый допуск по величине сопротивления и ТКС (СТ5 и СТ6).

Все терморезисторы, за исключением последней группы относятся к ТР прямого подогрева, у которых нагрев рабочего тела осуществляется током протекающим непосредственно через него. Терморезисторы типа ТКП – ТР косвенного подогрева. Рабочее тело у них нагревается от специального подогревательного элемента.

Параметры постоянных резисторов

Номинальное сопротивление. Это то сопротивление, которое указано на корпусе резистора. Значение номинального сопротивления гарантируется с заданным *допуском* во всем рабочем диапазоне температур (обычно от –55 до +70 °С).

Допустимое отклонение сопротивления резистора. Это те пределы отклонения сопротивления резистора от его номинального значения (в процентах), за которые не должен выходить дрейф сопротивления в заявленных условиях эксплуатации и в течение гарантированного срока службы. Значению допуска

всегда предшествует знак \pm , т.к. реальное значение сопротивления может оказаться выше или ниже номинального. Нормализованные ряды номинальных сопротивлений резисторов и допустимых отклонений от номинального значения приведены в приложении.

Номинальная рассеиваемая мощность. Это та мощность, которую может рассеять резистор в спокойной воздушной среде при нормальном атмосферном давлении при непрерывной электрической нагрузке без превышения объявленного допуска на значение сопротивления. Мощность P , которую рассеивает резистор в конкретной электрической цепи, определяется произведением проходящего тока I и падения напряжения U :

$$P = U \cdot I$$

Выражая с помощью закона Ома напряжение или ток через сопротивление R , имеем известные формулы для расчета мощности:

$$P = I^2 R \text{ или } P = U^2 / R$$

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС или α_R). Этот коэффициент характеризует чувствительность сопротивления резистора к изменениям температуры. ТКС выражают в относительных единицах. Так как температурные изменения сопротивления резисторов очень малы, в справочниках ТКС указывают в единицах миллионных долей относительного изменения сопротивления на градус ($10^{-6}/^\circ\text{C}$). В настоящее время во многих справочниках вместо 10^{-6} принято американское обозначение *ppm* (*Parts Per Million* – “частей на миллион”). Размерность ТКС записывают в этом случае в *ppm/°C*. Численное значение ТКС резистора (в *ppm/°C*) может быть определено из результатов измерения температурных зависимостей его сопротивления по формуле:

$$\alpha_R = (1/R) \cdot (dR/dT) \cdot 10^6 = (1/R) \cdot (\Delta R / \Delta T) \cdot 10^6,$$

где R – сопротивление резистора при некоторой, заданной температуре; ΔR – изменение сопротивления при изменении температуры на ΔT .

Наряду с рассмотренными параметрами, для резисторов также нормируются: *максимальное напряжение* на зажимах резистора (В), *напряжение шумов* (мкВ/В), *минимальная наработка на отказ* (ч), *срок сохраняемости* (ч), *максимальная импульсная*

мощность (Вт).

Маркировка резисторов

Все мощные, прецизионные и большинство резисторов отечественного производства имеют маркировку, из которой напрямую читаются тип, номинальные мощность и сопротивление, а также допустимое отклонение. Например, проволочный постоянный резистор типа С5-5 мощностью 8 Вт, имеющий сопротивление 68 Ом и допускаемое отклонение от номинального сопротивления $\pm 1\%$ имеет на своем корпусе следующую надпись: С5-5 – 8 – 68 Ом $\pm 1\%$. Как следует из приведенного полного обозначения, размерность номинальной мощности в нем не указана, т.к. мощность принято всегда выражать в ваттах. Это также относится к мало-мощным резисторам, например: МЛТ – 0,25 – 10 кОм $\pm 10\%$ (резистор типа МЛТ мощностью 0,25 Вт).

Номинальное сопротивление в приведенном полном обозначении состоит из численного значения (цифра) и обозначения единицы измерения (Ом – омы, кОм – килоомы, МОм – мегаомы, ГОм – гигаомы, ТОм – тераомы). Например: 220 Ом; 150 кОм; 2,2 МОм; 8,2 ГОм; 1 ТОм. Таблица стандартных множителей, соответствующих им префиксов и символов приведена в приложении.

В целях уменьшения количества наносимых на поверхность резистора символов часто в обозначение номинального сопротивления вводится множитель, обозначаемый буквой. Латинские буквы *R*, *K*, *M*, *G*, *T* обозначают соответственно множители 1, 10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} (изредка в русской транскрипции для обозначения единиц Ом вместо *R* ставят *E*, а гигаомам соответствует буква *G*). Результат расшифровки записанного таким образом значения всегда представляется в омах. Например: 0,1 Ом = *R10* или *E10*; 1 Ом = *1R0* или *1E*; 5,6 Ом = *5R6* или *5E6*; 330 Ом = *330R* или *330E*; 1 кОм = *1K0*; 3,3 кОм = *3K3*; 2,2 Мом = *2M2*; 6,8 ГОм = *6G8* или *6G8*.

Еще одной формой записи номинального значения сопротивления некоторых зарубежных резисторов является запись четырехзначным числовым кодом. В этом коде первые три цифры задают значащую часть номинала сопротивления, а четвертая выражает степень множителя 10, на который умножается значащая часть, чтобы получить окончательный результат в омах. Например: 3332 соответствует $333 \cdot 10^2$ Ом или 33,3 кОм; 9510 соответствует $951 \cdot 10^0$ или 951 Ом; 8251 соответствует $825 \cdot 10 = 8,25$ кОм и т.д.

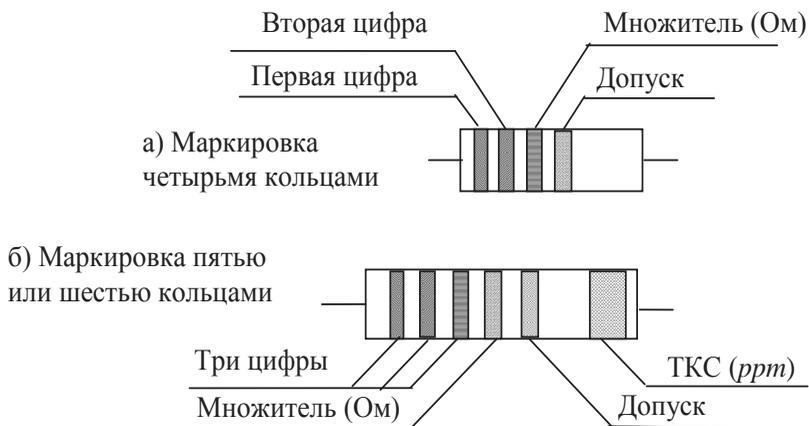


Рис.1 Маркировка резисторов цветовым кодом

Другой широко распространенной системой маркировки резисторов является цветное кодирование. На резистор в этом случае наносят цветные кольца, образующие код, которым шифруют номинальное значение и допуск (кодировка 4 или 5 кольцами). Менее распространенная кодировка 6 кольцами кодирует еще и значение ТКС, рис.1.

Сведения о соответствии цветов значащим цифрам номинального сопротивления, значениям множителей, допусков и ТКС приведены в табл.1.

Таблица 1
Соответствие цветов колец цифрам, значениям множителей, допусков и ТКС

Цвет кольца	Номинальное сопротивление, Ом				Допуск, %	ТКС, ppm/°C
	Первая цифра	Вторая цифра	Третья цифра	Множитель		
Серебристый	-	-	-	10^{-2}	± 10	-
Золотистый	-	-	-	10^{-1}	± 5	-
Черный	-	0	-	1	-	200
Коричневый	1	1	1	10	± 1	100
Красный	2	2	2	10^2	± 2	50
Оранжевый	3	3	3	10^3	-	15
Желтый	4	4	4	10^4	-	25
Зеленый	5	5	5	10^5	$\pm 0,5$	-
Голубой	6	6	6	10^6	$\pm 0,25$	10
Фиолетовый	7	7	7	10^7	$\pm 0,1$	5
Серый	8	8	8	10^8	$\pm 0,05$	1
Белый	9	9	9	10^9	-	-

2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В лабораторной работе исследуется температурная зависимость сопротивления для постоянных резисторов и терморезисторов различных типов и по результатам измерений вычисляется наибольшее значение температурного коэффициента сопротивления (ТКС) в исследованном температурном диапазоне.

2.1 Исследование температурных зависимостей сопротивления резисторов способом косвенного подогрева

2.1.1 Получить у преподавателя образцы постоянных резисторов, либо терморезисторов. Скопировать в протокол измерений маркировку резисторов и произвести расшифровку их номинальных сопротивлений.

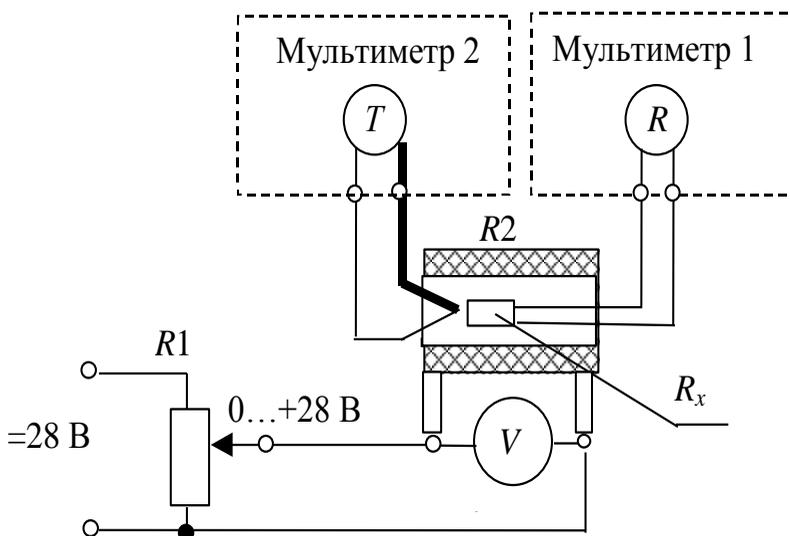


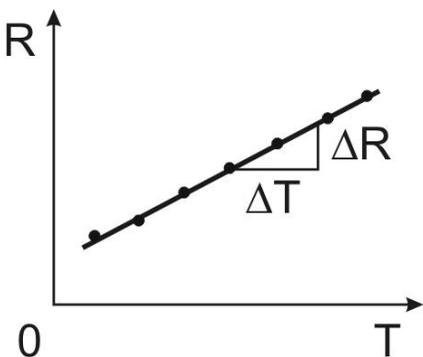
Рис.2 Схема измерений температурных зависимостей сопротивления способом косвенного подогрева

2.1.2 Собрать схему, изображенную на рис.2 и используя $R2$ в качестве нагревателя, исследовать температурную зависимость сопротивления имеющихся образцов резисторов в диапазоне от комнатной температуры до $+200^{\circ}\text{C}$. Результаты измерений сопротивлений через каждые 10°C занести в таблицу 2.

Таблица 2

T, °C	20	30	40	50	60	70	180	190	200
R, Ом										

2.1.3 По данным таблицы построить зависимость $R=f(T)$ по аналогии с рис.3.



2.1.4 Рассчитать температурный коэффициент сопротивления (ТКС) резисторов по формуле (3). Диапазон ΔT выбирается произвольный в пределах 50-100 градусов.

Рис.3 Температурная зависимость сопротивления резистора

2.2 Исследование температурных зависимостей сопротивления резисторов способом прямого подогрева

2.2.1 Собрать на лабораторном стенде схему, изображенную на рис.4, и снять вольтамперную характеристику мощного проволочного резистора R_2 типа ПЭВ-25 (по действующему ГОСТу С5-35В-25).

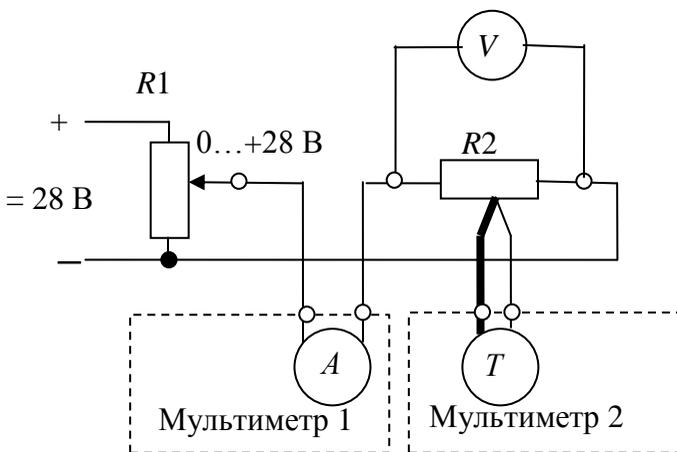


Рис.4 Схема измерений температурной зависимости сопротивления способом прямого подогрева

Рекомендуется снимать вольтамперную характеристику, задавая с помощью потенциометра R_1 напряжение на зажимах R_2

через 10 В от нуля до максимально-возможного значения (контроль напряжения ведется по цифровому вольтметру V). Измерение тока производится с помощью мультиметра 1. Одновременно со снятием вольтамперной характеристики необходимо контролировать температуру резистора $R2$ с помощью термопары. Для этого "горячий спай" термопары плотно прикрепить к корпусу резистора, а "холодный спай" должен быть подсоединен к соответствующим входам мультиметра 2. Переход от одной точки измерений к другой необходимо производить только после стабилизации показаний термометра и остальных измерительных приборов!

2.2.2 По результатам измерений заполнить табл.3.

Таблица 3

Ток через резистор $R2$, [А]	Падение напряжения на резисторе $R2$, [В]	Сопротивление резистора $R2$, [Ом]	Температура резистора $R2$, [°С]	Мощность, рассеиваемая резистором $R2$, [Вт]

2.2.3 По данным табл.3 с помощью закона Ома рассчитать значения сопротивления резистора $R2$ и построить зависимости $R2$ от температуры T , а также зависимость температуры резистора от рассеянной в нем мощности P (формулы 1 и 2.).

2.2.4 На основании графика $R2 = f(T)$ по формуле 3 рассчитать максимальное значение ТКС в исследованном диапазоне температур аналогично п.2.1.4.

3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Схемы измерений (рис.2 и 4)

3.2 Температурная зависимость сопротивления образцов резисторов в диапазоне от комнатной температуры до +200°С (рис.3)

3.3 Заполненные таблицы 2 и 3

Материалы приборов, электронной и медицинской техники

3.4 Зависимости сопротивления от температуры для всех исследованных резисторов

3.5 Расшифровка маркировок всех исследованных резисторов

3.6 Выводы о результатах сравнения температурных зависимостей резисторов различных типов

4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1 Что называют резисторами? Типы резисторов.

4.2 Что такое терморезисторы? Материалы для их изготовления.

4.3 Опишите основные параметры постоянных резисторов.

4.4 Как маркируются резисторы?

4.5 Какими способами можно исследовать температурные зависимости сопротивления резисторов?

4.6 Как изменяется температурный коэффициент сопротивления резистора в зависимости от его типа.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электронные цепи и устройства: Учебник для вузов/ Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко, Г. С. Хижа. СПб.: Энергоатомиздат, 1999.

2. Резисторы: Справ./ Под ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. М.: Радио и связь, 1991.

3. Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы. Л.: "Энергия", 1977

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

Цель работы

Определение основных параметров сплава с эффектом памяти формы (ЭПФ): накапливаемая и возвращаемая деформация (ε), генерируемое напряжение (σ), а также характеристические температуры превращений (T).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Материалы с эффектом памяти формы являются прототипами так называемых "интеллектуальных" материалов будущего. "Интеллектуальные" материалы, помимо обычных механических свойств, присущих традиционным материалам, обладают также функциональными свойствами, позволяющими материалу реагировать на изменение окружающей среды, оценивать ситуацию и делать выводы и, наконец, совершать действие или подавать сигналы.

Эффект памяти формы (ЭПФ) металлов - это физическое явление, при котором пластически деформированный металл восстанавливает свою первоначальную форму, обычно при нагреве.

Так, к примеру, если взять обычную металлическую проволоку и пластически изогнуть ее, то никаким другим путем, кроме как снова деформировать проволоку в обратном направлении, невозможно вернуть ей первоначальное состояние.

Эффект памяти формы задается проволоке (прутку) специального металла при высокой температуре (рис.1, а). После его охлаждения из высокотемпературного (аустенитного) состояния формируется мартенситная структура (рис.1, б).



Рис.1 Иллюстрация эффекта памяти формы

В мартенситном состоянии проволока пластически де-

формируется (рис.1, с). Однако, если деформированную проволоку нагреть, перевести в аустенитное состояние (рис.1, d), то проволока “вспомнит” свое первоначальное состояние, данное ей при высокой температуре. При этом вся пластическая деформация исчезнет, при этом образец может совершить достаточную механическую работу, например, поднять груз или привести в действие выходное звено механического устройства. Такой процесс называется прямым и обратным мартенситным превращением в материале при термоциклировании, соответственно при его охлаждении и нагреве.

Этот принцип заложен при проектировании современных технических устройств с использованием сплавов с эффектом памяти формы для создания малогабаритных, приводов и устройств, способных развивать сравнительно большие усилия и моменты. Для проектирования таких устройств необходимо в первую очередь знать параметры сплава с ЭПФ, а именно:

- деформацию или величину перемещения сплава с памятью при мартенситных превращениях;
- генерируемое сплавом напряжение или возможное развиваемое усилие для совершения механической работы;
- характеристические температуры или интервал начала и конца мартенситных превращений;
- скорость протекания мартенситных превращений;
- циклическую прочность или количество циклов срабатывания.

1 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Результаты испытаний, характеризующих эффект памяти формы исследуемого сплава с ЭПФ, должны быть получены в виде зависимостей деформации образцов от температуры для различных значений действующего напряжения (нагрузки на образец). Типичная термдеформационная кривая $\varepsilon-T$, для одного из значений приложенного напряжения, приведена на рис.2, а для монокристаллического сплава CuAlNi. Точки перегиба графика определяют характеристические температуры начала и конца превращений.

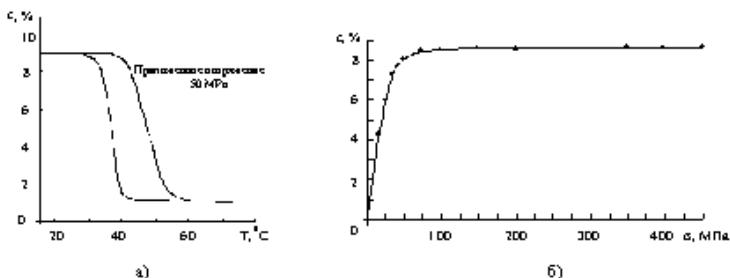


Рис.2 Типичные термдеформационная кривая (а) и диаграмма накопления деформации (б) материала с ЭПФ

Величина максимальной деформации ε_{\max} (что соответствует максимальному прогибу балки), отвечающая эффекту пластичности превращения, для различных напряжений изображена на рис.2, б. Как можно видеть из этого рисунка уже небольшие напряжения (нагрузка на образец) приводят к накоплению больших деформаций (5-8%). При напряжениях от 50 МПа и более прослеживается тенденция к насыщению, темп прироста деформации значительно уменьшается и в широком диапазоне напряжений деформация пластичности превращения находятся в пределах 9-10%.

Следует отметить, что генерируемое напряжение влияет на температуры прямого и обратного мартенситного превращения. Так, для сплава CuAlNi с увеличением напряжения наблюдается смещение характеристических температур превращения (M_n , M_s , A_n , A_s) в сторону более высоких значений.

Исследованные особенности изменения характеристических температур превращений под влиянием напряжений необходимо учитывать при создании конструкций с силовыми элементами, обладающими ЭПФ.

Наиболее перспективными сплавами с ЭПФ являются сплавы TiNi, CuAlNi, CuZnAl. В лабораторной работе используется один из образцов указанных сплавов, выданный преподавателем.

2 ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СПЛАВА

Исследования параметров сплава с эффектом памяти формы проводятся методом трехточечного изгиба. Образцы сплава с

ЭПФ имеют вид балки (прутка) круглого сечения диаметром 2,0 мм и длиной 35 мм. Балка опиралась на две опоры, расстояние между опорами составляло 20 мм. На балку в средней части образца на равных расстояниях от опор прикладывалась нагрузка, навешиванием на образец грузов требуемого веса. Для измерения температур непосредственно к образцу крепилась термопара хромель-копель.

Исследования выполнялись в режиме фиксированной нагрузки на образец. Нагрузка передавалась на образец с помощью тонкого стержня с проушиной, в которую помещался образец. Этот стержень механически связан с датчиком перемещения измерительной системы. Таким образом, изменение прогиба при изгибе образца под действием груза, фиксируется датчиком, и данные передаются на его блок управления.

Нагрев образца осуществляется пропусканием тока от источника питания через нагреватель, выполненный из нихромовой проволоки, намотанной на керамический изолятор, в который помещен деформируемый образец. Напряжение термо-э.д.с., генерируемой термопарой фиксируется вольтметром.

Напряжение σ и деформация ε рассчитывается для внешнего волокна образца в точке приложения нагрузки по формулам:

$$\sigma = \frac{3Pl_0}{d^3} \text{ [Па]},$$

$$\varepsilon = \frac{4fd}{4f^2 + l_0^2} 100\% \text{ [%]},$$

где d - диаметр образца [м],

l_0 - расстояние между опорами [м],

f - прогиб образца [м],

P - нагрузка [Н].

Значение температуры, измеряемое с помощью термопары, в общем случае, определяется с помощью градуировочного графика. Градуировочная кривая термопары хромель-копель - имеет практически линейную зависимость. В данной лабораторной работе фиксируются как показание вольтметра, так и значение температуры, соответствующее этому показанию.

Охлаждение образца под постоянным напряжением в интервале температур от 100°C до 20°C сопровождается интен-

сивным накоплением деформации (увеличение прогиба балки). Процесс начинается при некоторой температуре M_H и заканчивается при температуре M_K . Нагрев образца под тем же напряжением сопровождается обратным процессом - практически полным восстановлением накопленной на стадии охлаждения деформации (эффект памяти формы). Деформация начинает возвращаться при некоторой температуре A_H и завершается при температуре A_K . Температуры прямого и обратного превращения (M_H , M_K , A_H , A_K) при термоциклировании при различных напряжениях σ определяются методом касательных (точки перегиба графика, см. рис.2, а). Исследуется зависимость величины деформации превращения от значения приложенного напряжения.

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1 Проверить правильность сборки экспериментальной установки и заданных начальных параметров.

3.2 Нагрузить балку первым (небольшим) грузом P_1 (диапазон заданных грузов от 300 грамм (3Н) до 3000 грамм (30Н). Определение σ_1 для заданной P по формуле (1)

3.3 Измерить температуру T (нагрев до 100°C и охлаждение до 20°C) окружающей среды (печи) с помощью термомпары не менее, чем в 10 точках при нагреве и в 10 точках при охлаждении.

3.4 Измерить прогиб f балки.

3.5 Определить деформацию ε по формуле (2).

3.6 Определить деформацию ε_{\max} для σ_1 .

3.7 Построить зависимость $\varepsilon=f(T)$ для σ_1 .

3.8 Определить характеристические температуры мартенситных превращений (M_H , M_K , A_H , A_K) для σ_1 .

3.9 Повторить п.п.3.1-3.8 для пяти грузов большего веса

3.10 Построить график зависимости ε_{\max} от пяти различных σ .

3.11 Построить график зависимости характеристических температур T для всех σ

4 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Цель работы

4.2. Краткая характеристика эффекта памяти формы и его

основных характеристик

4.3 График зависимости деформации ε в зависимости от температуры T для пяти значений σ (на одном графике должно быть пять термдеформационных кривых $\varepsilon=f(T)$ для разных значений приложенного напряжения).

4.4 График зависимости ε_{\max} от пяти различных σ .

4.5 График изменения характеристических температур мартенситного превращения в зависимости от значений σ .

4.6 Выводы по работе

5 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1 Дайте определение величины обратимых и остаточных деформаций

5.2 Сплавы каких металлов способны к накоплению и возврату деформации?

5.2 Каким способом исследуется влияние действующих напряжений на величину фазовой пластичности при термоциклировании через интервал мартенситного превращения?

5.3 Почему смещаются температуры превращений (M_n , M_k , A_n , A_k) под напряжением?

5.4 Как можно определить влияние механических напряжений на характеристические температуры мартенситных превращений

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Материалы с эффектом памяти формы: Справ. изд. /Под.ред. Лихачева В.А. - Т.1-4.-СПб.: НИИХ СПбГУ, 1997 -1998.

2 Лихачев В.А., Кузьмин С.Л., Каменцева З.П. Эффект памяти формы. Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1987. 216 с.

3 Сплавы с эффектом памяти формы/ Оцука К.. Симидзу К.// М.: Металлургия. 1990. 224 С.

4 И.Э. Вякхи, А.И. Прядко, С.А. Пульнев Приводы и устройства, основанные на использовании монокристаллов CU-AL-NI с эффектом памяти формы.// Материалы IX научно-технической конференции " Экстремальная робототехника", СПб., 1998, с. 362-367.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Для построения технических устройств нового типа на базе сплавов с ЭПФ можно использовать сплавы, которые работают на изгиб, растяжение, сжатие или кручение.

Так, работа сплавов с ЭПФ на растяжение или сжатие позволяет создавать большие усилия, при этом, однако, их перемещения будут относительно небольшими. Для создания в этом случае больших перемещений, потребуются сплав достаточно большой длины, либо дополнительный механизм трансформации перемещений.

Сплавы, работающие на изгиб, как показано на рис.3, обеспечивают большие перемещения, а выбор диаметра сплава позволяет создавать получить усилия на выходе привода.

Поскольку в данном случае организация создания усилий и перемещений реализуется на уровне кристаллической решетки металла, то мы имеем дело с устройствами принципиально нового типа, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными: электрическими, электромагнитными, пневматическими или гидравлическими.

Устройства на базе сплавов с эффектом памяти формы:

- более просты по конструкции и в эксплуатации;
- имеют во много раз меньшие массогабаритные показатели при равных мощностях;
- не требуют большого количества передаточных звеньев и редукторов;
- более эффективны, по сравнению с традиционными, при функционировании в экстремальных условиях, в состоянии работать в условиях вакуума, невесомости, высокой радиации и в жидкой среде;
- могут находиться длительное время (многие годы) в ждущем режиме без регламентных работ, сохраняя при этом свою работоспособность;
- эффективны в аварийных системах пассивного типа, так как могут функционировать за счет энергии окружающей среды.

Простым примером является линейный привод одностороннего действия, т.е. полезное усилие и перемещение создается в одном направлении, представленный на рис.3.

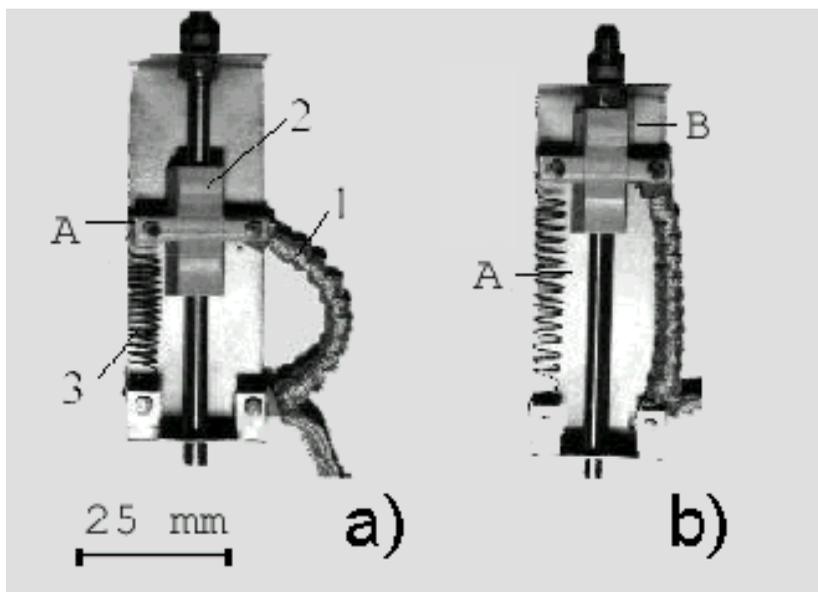


Рис.3 Линейный привод, работающий с использованием ЭПФ

В процессе работы данного циклического привода на первой фазе термомеханического цикла (при нагревании) силовой элемент (1) разгибается и перемещает выходной элемент 2 из положения "А" в положение "В". На второй фазе (при охлаждении) пружина 3 изгибает силовой элемент и тем самым возвращает выходной элемент в исходное положение "А". Такой привод способен развивать усилие F только при перемещении выходного элемента X из положения "А" (рис.3, а) в положение "В" (рис.3, в).

Более прогрессивными разработками являются приводы двустороннего действия. На рис.4 показан линейный привод, а на рис.5 вращательный привод двустороннего действия, полезное усилие и перемещение создается в двух направлениях.

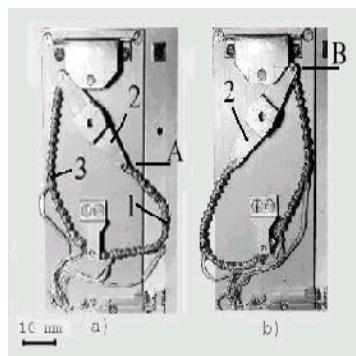
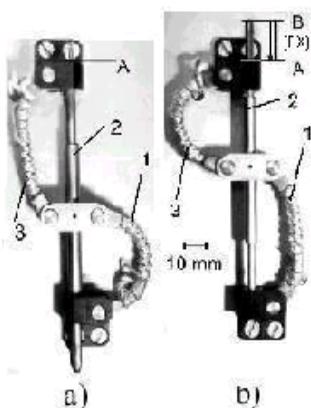


Рис.4 Линейный привод двустороннего действия Рис.5 Вращательный привод двустороннего действия

Нагрев силового элемента 1 посредством намотанных нагревательных элементов, приводит в действие выходное звено 2, которое переходит из положения А в положение В, при этом совершается поступательное или вращательное движение с совершением полезной работы. Нагрев силового элемента 3 возвращает звено 2 в исходное состояние А.