

*О.О. СЕДОВА*, ст. викладач, НТУ "ХПІ", Харків

## **АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ ПЛІВОК НА ПОВЕРХНІ МЕТАЛЕВОГО ПРОВІДНИКА ЗІ СТРУМОМ**

Проведено аналіз існуючих теорій щодо процесів утворення плівок на поверхні металевих провідників. Показано перспективи розвитку теорії плівок на поверхні контактів електричних апаратів.

Проведен анализ существующих теорий процессов образования пленок на поверхности металлических проводников. Показаны перспективы развития теории пленок на поверхности контактов электрических аппаратов.

**Вступ.** Металеві електричні провідники електричних апаратів зі струмом в процесі роботи покриваються плівками, які з часом наростають. Це призводить до зростання електричного опору самого провідника і, як наслідок, підвищується температура провідника. При несприятливих умовах це може призвести до пошкодження провідника та виходу зі строю електричного апарату. Процеси утворення плівок, що мають місце при цьому, досить складні, оскільки залежать від багатьох факторів. Основні труднощі дослідження при цьому пов'язані з тим, що ці процеси мають місце в надтонких плівках, товщиною декілька Ангстрем. В теперішній час, коли на порядку денному встають проблеми створення нанотехнологій та наноматеріалів, ці питання набувають актуальність для електричних апаратів, обов'язковими елементами яких є електричні контакти. Особливу гостроту набувають матеріали на основі металокерамічних композицій, які знаходять все більше використання в сучасних електричних апаратах.

**Мета роботи** – аналіз існуючих теорій щодо процесів утворення плівок на поверхні металевих провідників зі струмами.

**Типові умови функціонування контактів у складі електричного апарату.** Як відомо, зовнішні умови сприяють утворенню на поверхні контактів поверхневих плівок [1]. Ці зовнішні умови характеризуються в основному середньою температурою, складом атмосфери, видом замикання контактів. Якісна характеристика цих умов наведено в табл. 1.

Процеси утворення плівок можуть бути умовно класифіковані на три основні класи:

Таблиця 1 – Типові умови утворення поверхневих плівок на контактах.

Неробочий стан контактів	Робочій стан контактів		
	без навантаження	під навантаженням	
утворюються під впливом хімічних реакцій (сульфід срібла; органічні сполучення вольфраму)	утворюються під впливом каталітичного переносу	утворюються хімічні сполучення (окисли присадок неблагородних металів, вольфрамати та молібдати)	розкладенням хімічних сполучень (розкладення органічних парів)

1 – процеси, що протікають на поверхні електричних контактів під дією атмосферних факторів;

2 – процеси фазових структурних перетворень, пов'язаних з періодичною зміною температури навколишнього середовища поблизу електричного апарату;

3 – процеси, пов'язані з дією електричних параметрів струму.

В літературі [2, 3] в основному відображено питання щодо плівок першого та третього видів. До них можна віднести процеси утворення адгезійних, потускніння, пасивіруючих, водних плівок, а також фритингу плівок. Найбільш складними та найменш дослідженими є питання фазових перетворень, які характеризуються періодичними процесами перетворення енергії і формування кристалевих металевих структур у водяному розчині плівки.

**Якісна характеристика матеріалів контактів електричних апаратів.** Вибір необхідного контактного матеріалу для заданих електричних та механічних умов роботи комутаційного апарату є однією з складних науково-технічних задач. Поряд з фізичними властивостями матеріалу контактів відношення до хімічних реакцій або його каталітичний вплив може стати вирішальним фактором для роботи контактів електричного апарату, коли зовнішні умови сприяють утворенню на контактних поверхнях поверхневих плівок. Дотепер не знайдено матеріал, який в неробочому стані при періодичному замиканні контактів без електричного навантаження та при включенні під електричним навантаженням абсолютно не утворював би поверхневих плівок. Види утворюваних плівок можуть суттєво відрізнятися. Вони можуть бути органічного та неорганічного походження, або являються продуктами полімеризації чи розпаду, як це наведено в табл. 1.

**Наслідки дії поверхневих плівок.** Дія поверхневих плівок в якісному відношенні завжди однакова:

- зменшується злипання та тертя між поверхнями контактів;
- виникає додатковий електричний опір в контактному сполученні;
- змінюються процеси електричного розряду між контактами еле-

ктричного апарату.

Утворення поверхневих плівок при постійній температурі у більшості випадків проходить за загальним алгоритмом:

1) молекули газу ударяються з чистою або вже вкритою яким-небудь шаром металевою поверхнею та утримуються на ній (адсорбуються нею), причому вірогідність такої адсорбції залежить від покриття;

2) адсорбовані молекули після закінчення визначеного часу дисоціюють шляхом електронного обміну з середовищем (хімічна адсорбція);

3) іони металу вилучаються з просторової решітки та вступають в нове сполучення (хімічну реакцію) з хімічне адсорбованими іонами газу;

4) у виникаючої таким чином поверхневої плівці блукають як іони металів та електрони, що вилучилися з решітки, так і електричне заряджені атоми газу, доки не вступають в реакцію. Перенос матеріалів здійснюється в тонких плівках за допомогою полів просторового заряду, що виникають внаслідок хімічної адсорбції в краєвій зоні поверхні. В глибині товстих шарів (більше 100 Ангстрем або 10 нм) головуючим механізмом переносу стає дифузія носіїв зарядів. Але і тут хімічні та електричні градієнти можуть мати значний вплив.

Утворення поверхневих плівок здійснюється повністю або частково за приведеним алгоритмом, в залежності від того, які метали та гази або пари металів вступають у взаємну реакцію. Ще більш складними стають процеси у поверхневих плівках, що утворюються на поверхні контактів під дією електричної дуги.

Що до впливу часу на утворення і властивості плівок, можна відмітити наступне. Якщо розглядати процес росту товщини плівки як множину однотипних одиничних (точкових) процесів, то встановлено, що навіть при постійній температурі не існує такого одного універсального закону. Коли процеси дифузії протікають дуже швидко, то товщина плівки зростає за лінійним законом. В діапазоні високих температур і тиску діє кубічний для середніх та логарифмічний закон для низьких температур. Ще більш складними стають процеси у поверхневих плівках, що утворюються на поверхні контактів під дією електричної дуги. Тому при аналізі зростання товщини плівок приймається, що як дія часу, так і постійність температури а також рівномірність розподілу плівки по всій поверхні контактів, не є визначальною, а залежить від частоти робочого циклу.

Крім того, при високих температурах, виникаючих при утворенні дуги, в точках виходу дуги з контактів, плівки не тільки утворюються, але в значній мірі розкладаються. Таким чином, електрична дуга в значній мірі виконує функцію очищення робочих поверхонь електричних контактів від плівок. Масштаби цього процесу визначаються в основ-

ному термодинамічною стабільністю хімічних сполучень. Однак нові плівки виникають швидше, чим іде очищення контактів, коли в якості контактного матеріалу використовуються не благородні, а звичайні метали (мідь, латунь). Це пояснюється тим, що окисні плівки благородних металів стабільні лише у вузьких температурних діапазонах. У всіх випадках утворення поверхневих плівок під дією великих температур електричної дуги неможливо зробити однозначний висновок щодо властивостей виникаючих сполучень, що утворюють плівку, оскільки їх утворення залежить від багатьох причин. Тільки експериментальним шляхом можна встановити, який матеріал контакту буде оптимальним за даних умов.

Якщо розглядати плівки як додаткові опори електричного кола апарату, то їх експериментальне визначення суттєво ускладняється невизначеністю товщини плівок, їх розташуванням на поверхні контактів. Експериментальні виміри електричного опору або електричної провідності плівок можливо з достатньою достовірністю і точністю можливе тільки для адсорбуючих і поверхневих шарів, товщина яких відома.

**Висновок.** Сучасний рівень теорії плівок контактних електричних апаратів не дозволяє проводити їх математичне моделювання і прогнозування характеристик і параметрів. Для рішення цих складних задач необхідне дослідження фазових перетворень і формування кристалевих металевих структур у водяних розчинах плівок.

**Список літератури:** 1. Мерл Вильгельм. Электрический контакт. Теория и применение на практике. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 80 с. 2. Омельченко В.Т. Теория процессов на контактах –. Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1979. – 128 с. 3. Хольм Р. Электрические контакты. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961. – 464 с.



**Седова Елена Александровна**, ст. преп. каф. "Электрические аппараты" Национального технического университета "ХПИ". Защитила диплом инженера-электромеханики в 1984 г. Научные интересы связаны с проблемами электрических аппаратов, в частности с методами контроля сопротивления контактов.

*Поступила в редколлегию 27.03.2010*