

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛЕНОК В РАЗЛИЧНЫХ  
ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СКОЛЬЗЯЩЕГО КОНТАКТА**

Р. Ф. БЕКИШЕВ, Б. И. КОСТЫЛЕВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Основным инструментом для исследования физических свойств поверхностной пленки, образующейся на коллекторах и контактных кольцах, и скользящего щеточного контакта в целом являются вольтамперные характеристики. Установлено, что контактное падение напряжения для пары щетка—медный коллектор (кольцо) в диапазоне небольших плотностей тока (до  $20 \text{ а/см}^2$ ) определяется в основном свойствами поверхностной пленки.

Изучение поверхностных пленок современными методами, изложенными в [1], позволяет предположить, что структура, фазовый состав и толщина поверхностной пленки непосредственно зависят от условий наработки и, в первую очередь, от температуры коллектора.

Поэтому исследование структуры, фазового состава и толщины поверхностных пленок, образованных в различных тепловых условиях работы контакта, представляет определенный интерес.

Наработка поверхностной пленки производилась на контактных кольцах, выполненных из меди М1 щетками марки МГС-7 при постоянных плотности тока  $10 \text{ а/см}^2$  и скорости вращения  $15 \text{ м/сек}$ .

Поверхностная пленка считалась сформировавшейся (в данных условиях), когда падение напряжения между щеткой каждой полярности и контактным кольцом достигало установившегося значения.

После наработки поверхностной пленки и снятия вольтамперных характеристик скользящего контакта контактные кольца снимались с вала установки и препарировались для подготовки к отделению пленки согласно методике, изложенной в [1].

Структура, ориентация и фазовый состав составляющих поверхностных пленок, отделенных от меди контактных колец, исследовались электронномикроскопическими и электронографическими методами с помощью электронного микроскопа УМБ-100К посредством получения микрофотографий и микроэлектронограмм. Многочисленные исследования поверхностных пленок данными методами показали, что в ряде случаев для сравнительно однородных по толщине пленок можно использовать микрофотографии и для количественного определения фазового состава. Для этой цели может быть использован линейный метод определения фазового состава пленок, предложенный Розивалем [2].

Кроме того, для некоторых пленок оказалось возможным проводить количественное определение фазового состава составляющих посредством получения электронограмм точечным методом А. А. Глаголева [2].

Во всех остальных случаях исследование фазового состава поверхностных пленок проводилось рентгеновским методом фазового анализа на ионизационной рентгеновской установке УРС-50 И/М, причем при количественном определении содержания фаз использовался метод гомологических пар [3].

Измерение толщины поверхностных пленок, отделенных от подложки, производилось интерференционным методом на микроинтерферометре Линника МИИ-4. Измерениям подвергались различные участки исследуемой пленки и выявлялись предельные значения толщины. Выбор метода измерения толщины поверхностных пленок и подготовка их к данным исследованиям изложены в [1].

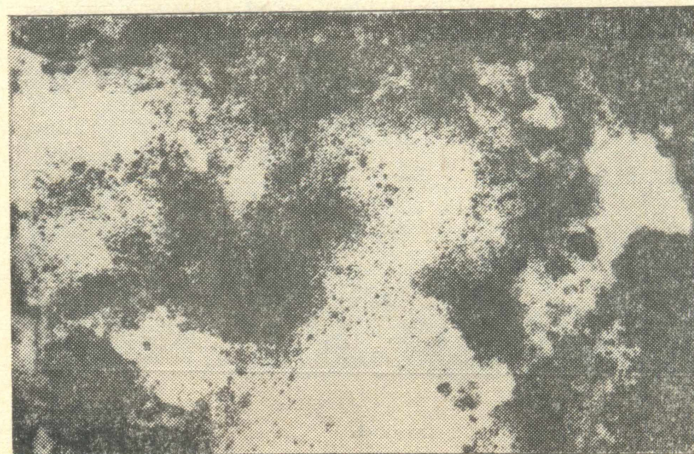


Рис. 1

При изучении поверхностных пленок, сформированных при различной температуре окружающей среды (диапазон изменения температуры контактного кольца  $45 \div 95^\circ\text{C}$ ), атмосферное давление и влажность

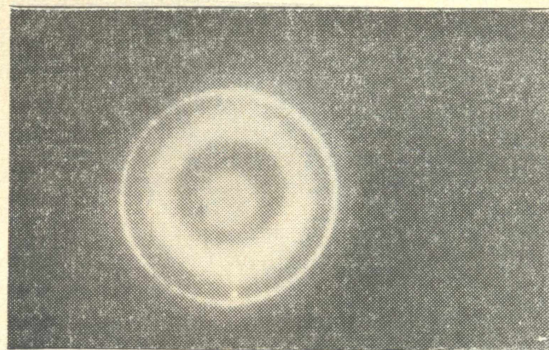


Рис. 2

окружающей среды оставались постоянными и равными соответственно 760 мм рт. ст. и  $38 \div 40\%$ . Температура кольца контролировалась с помощью встроенных в контактные кольца термопар, а превышение температуры контактного кольца над температурой окружающей среды составляло не более  $2-4^\circ\text{C}$ .

Проведенные электронномикроскопические, электронографические и рентгеноструктурные исследования поверхностных пленок показали,

что последние состоят из кристаллической закиси меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  и графита, встречающегося как в аморфном, так и мелкокристаллическом состоянии.

В качестве иллюстраций на рис. 1, 2 представлены светлопольная микрофотография поверхностной пленки, образованной при температуре контактного кольца, равной  $45^\circ\text{C}$ , и микроэлектронограмма, полученная с участка данной пленки. Указанные снимки достаточно полно отражают структуру поверхностной пленки, образованной при сравни-

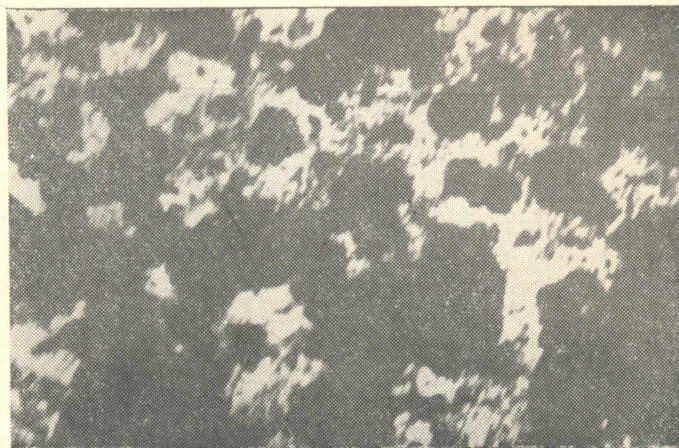


Рис. 3

тельно низкой температуре, а расчет микроэлектрограмм показывает, что диффузные кольца и множество точечных отражений соответствуют кристаллической решетке графита, который составляет большую часть пленки, встречаясь как в мелкокристаллическом, так и аморфном состоянии. Четко выраженные дифракционные кольца соответствуют мелкокристаллической закиси меди.

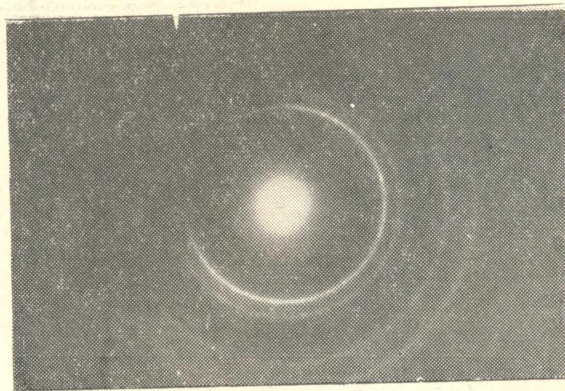


Рис. 4

Микрофотография и микроэлектронограмма (рис. 3, 4), полученные от участков поверхностной пленки, наработанной при температуре  $95^\circ\text{C}$ , обнаруживают структуру крупных, хорошо ориентированных кристаллов закиси меди. Линии аморфного и кристаллического графита встречаются значительно реже. В табл. 1 представлены количественные данные по характеру структуры и фазового состава поверхностных пленок.

нок, образованных щетками МГС-7 в диапазоне температур  $45 \div 95^\circ\text{C}$ , полученные указанными выше методами.

Т а б л и ц а 1

№	$t^\circ\text{C}$	Содержание $\text{Cu}_2\text{O}$ %	Размеры кристаллов МКМ	Содержание графита, %
1	45	$30 \div 35$	$0,025 \div 0,1$	$65 \div 70$
2	55	50	$0,1 \div 0,15$	50
3	70	$60 \div 65$	$0,2 \div 0,4$	$35 \div 40$
4	95	$70 \div 75$	$0,5 \div 1,0$	$25 \div 30$

Анализируя структуру и фазовый состав поверхностных пленок, образованных щетками марки МГС-7 при различных температурах, следует отметить четко выраженную тенденцию увеличения содержания закиси меди в пленке при повышении температуры. При этом наблюдается как значительный рост размеров кристаллов  $\text{Cu}_2\text{O}$ , так и увеличение их количества в процессе кристаллизации. Необходимо заметить, что исследованные поверхностные пленки имели сравнительно однородную структуру по толщине и были достаточно устойчивы при воздействии электронного пучка. Измерение толщины поверхностных пленок интерферометрическим методом подтвердило, что пленки, созданные скольжением по контактному кольцу меднографитных щеток (МГС-7) более однородны по толщине, нежели пленки, образованные электрографитными щетками. Пленки, наработанные в условиях повышенной температуры контактного кольца, имеют значительно большую толщину, чем сформированные при низкой температуре.

В табл. 2 представлены результаты измерений толщины поверхностных пленок, образованной при различных температурах контактного кольца.

Т а б л и ц а 2

Марка щетки	Материал кольца	Условия наработки	Толщина пленки		
			$\delta_{\text{max}}$	$\delta_{\text{min}}$	$\delta_{\text{cp}}$
МГС-7	М1	$t=45^\circ\text{C}$	5000	4000	3000
		$t=55^\circ\text{C}$	5500	3000	4250
		$t=70^\circ\text{C}$	6000	3700	4850
		$t=95^\circ\text{C}$	7000	4000	5500

Точность измерения толщины пленок при длине волны света  $\lambda = 5500 \text{ \AA}$  составляет  $\pm 275 \text{ \AA}$ . Таким образом, поверхностная пленка, образующаяся на коллекторах и контактных кольцах в различных тепловых условиях работы скользящего контакта, значительно отличается по структуре, фазовому составу компонентов и толщине.

С повышением температуры условия формирования поверхностной пленки улучшаются и увеличивается скорость окисления меди коллектора или контактного кольца. Представленные на рис. 5 зависимости, отражающие процесс формирования поверхностной пленки в различных тепловых условиях работы контакта, показывают, что контактное паде-

ние напряжения достигает установившегося значения при высоких температурах значительно быстрее, нежели при низких.

Вольтамперные характеристики, снятые в статическом режиме после наработки поверхностной пленки при различных тепловых условиях работы контакта (рис. 6), показывают, что уровень контактного падения напряжения с повышением температуры уменьшается, в то время как содержание закиси меди в поверхностных пленках и их толщина (по

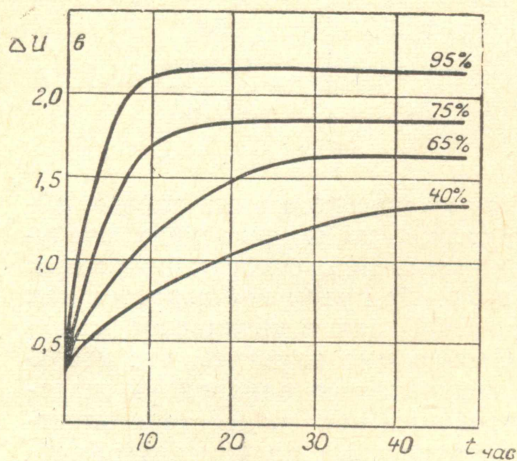


Рис. 5.

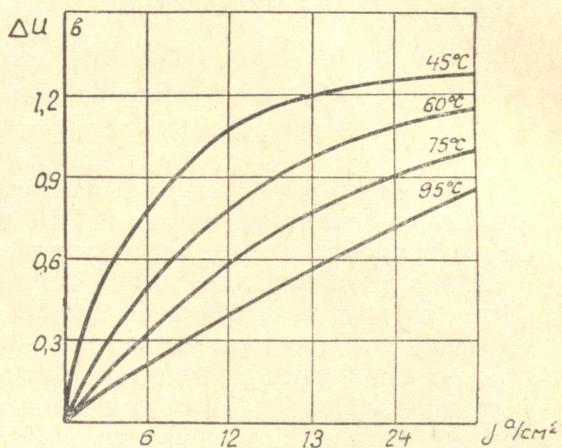


Рис. 6

данным представленных выше исследований) возрастают. Поэтому содержание составляющих поверхностной пленки и ее толщина не могут быть однозначно связаны с очертанием вольтамперных характеристик. Анализ, на наш взгляд, необходимо вести через параметры схемы замещения [4], которые в определенных условиях могут быть непосредственно определены с учетом результатов количественного анализа и измерения толщины поверхностных пленок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Ф. Бекишев, Б. И. Костылев, А. И. Скороспешкин. Исследование поверхностных пленок коллекторов электрических машин. «Известия ТПИ», т. 212. Изд-во ТГУ, Томск, 1971.
2. Б. Г. Лифшиц. Лаборатория металлографии. Металлургиздат, 1957.
3. Ю. А. Багоряцкий. Рентгенография в физическом металловедении. Металлургиздат, 1961.
4. А. И. Скороспешкин, Б. И. Костылев, Р. Ф. Бекишев. Физическая природа вольтамперных характеристик. Материалы IV Всесоюзной конференции по коммутации электрических машин. Омск, 1969.