

УДК 62-761:669.14; 621.315.61

М.И. Кузьменков, профессор;
В.Н. Кузьмич, м.н.с.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКЛОБРАЗНЫХ ПОЛИФОСФАТОВ
СИСТЕМ NaPO_3 - $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ - $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
КЛЕЯЩИХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ ПО СТАЛИ

The glassy polyphosphates of NaPO_3 - $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ - $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$ system have been synthesised. Some main properties have been investigated. It shown, that polyphosphate glasses of this system could be used as an electroinsulative adhesive coatings for steel.

В настоящее время в электротехнической промышленности технологии изготовления ленточных магнитопроводов требуют последовательного, высокотемпературного нанесения на поверхность анизотропной электротехнической стали двух видов покрытий - электроизоляционного и клеящего. В первом случае, как правило, используются растворы на основе ортофосфорной кислоты, способные образовывать на подложке стекловидную электроизоляционную пленку. Во втором - свинцовосодержащий силикатный шликер, переходящий затем в эмаль, которая во время выпрямляющего отжига магнитопровода в печи склеивает его витки.

Помимо многостадийности, данная технология обладает еще целым рядом недостатков, а именно: выделением токсичных окислов свинца во время отжига, высокой стоимостью входящих в нее компонентов, а также необходимостью варки и помола стеклофритты для получения шликера.

Вместе с тем, в последнее время в литературе приводятся сведения о попытках создания для этих целей бифункциональных покрытий, сочетающих в себе свойства как электроизоляции, так и высокотемпературного адгезива [1]. Однако в упомянутых работах не приводятся химический состав и свойства покрытий, а информация касается, в основном, перспективности их применения. Данный факт позволяет сделать вывод о том, что разработка электроизоляционных клеящих покрытий находится еще только на начальных стадиях и требует детального изучения.

Целью настоящей работы явились синтез и исследование стеклообразных полифосфатов для получения на их основе

нетоксичных, недорогих электроизоляционных клеящих покрытий по электротехнической стали.

Основным компонентом для синтеза покрытий с перечисленными выше свойствами был выбран полифосфат натрия (ПФН). Известно, что благодаря полимерному строению, высокой адгезии к различным материалам, в том числе к электротехническим сталям, ПФН может служить базой для создания качественных покрытий [2]. Однако покрытия, получаемые только из ПФН, не способны удовлетворить ряду специфических требований, предъявляемых к электротехническим сталям и изготавливаемым из них магнитопроводам, а именно: высокой гидролитической стойкости, повышенным электроизоляционным свойствам и др. С этой целью в качестве добавок были выбраны полифосфаты кальция и алюминия, поскольку известно, что катионы Al осуществляют пространственную сшивку цепочек и циклов в стеклообразных полифосфатах, тем самым повышая их физико-химические и электрофизические свойства, в то время как присутствие малоподвижных катионов Ca придает системе повышенные электроизоляционные свойства [3]. Кроме того, синтез стекол в данной системе возможен из водо- и кислоторастворимых сырьевых материалов, что в последующем дает возможность получения безфриттовых покрытий. По этой причине для исследования была выбрана трехкомпонентная полифосфатная система, состоящая из стеклообразных NaPO_3 - $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ - $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$.

При определении областей стеклообразования исследуемые шихты составлялись из соответствующих монофосфатов марки х.ч. в количестве 7-10 г и сплавлялись в корундизовых тиглях в электропечи при температурах 800° и 900° С.

Установлено, что расплавы, полученные в трехкомпонентной системе NaPO_3 - $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ - $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$, образуют стекла в области составов, ограниченной следующим содержанием компонентов (мас. %): NaPO_3 - 20-100, $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ - 0-60, $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$ - 0-40; - при 800° С и NaPO_3 - 10-100, $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ - 0-80, $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$ - 0-40 при 900° С. Шихты с повышенным содержанием $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$ до 50 расплавляются полностью, а граница стеклообразования (30-40% $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$) при этом определяется способностью полученных расплавов кристаллизоваться при охлаждении на воздухе.

Для стекол, лежащих вблизи границы стеклообразования

системы при 800°C, содержащих (масс.%): NaPO_3 - 10-30, $\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$ - 50-80, $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$ - 10-20, экспериментально определены температуры размягчения и коэффициенты линейного термического расширения (ТКЛР). Так, стекла в исследуемой области составов имеют dilatометрическую температуру начала размягчения в пределах 430-500°C, $\alpha_{20-400} = (132-190) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{K}$.

Стекловидное покрытие, находящееся на поверхности электротехнической стали, может долгое время подвергаться воздействию атмосферной влаги. С целью подбора составов стекол, имеющих максимальную сопротивляемость разрушающему действию воды, были проведены исследования гидролитической устойчивости стекол в системе $\text{NaPO}_3 - \text{Ca}(\text{PO}_3)_2 - \text{Al}(\text{PO}_3)_3$. Результаты испытаний приведены в табл.1.

Табл.1. Гидролитическая стойкость стекол в системе $\text{NaPO}_3 - \text{Ca}(\text{PO}_3)_2 - \text{Al}(\text{PO}_3)_3$

NaPO_3	$\text{Ca}(\text{PO}_3)_2$	$\text{Al}(\text{PO}_3)_3$	Потеря в массе, %	Класс гидролитической стойкости
50	40	10	5,7	5
30	20	50	2,9	3
20	60	20	2,9	3
10	80	10	0,6	1
20	50	30	2,3	3
40	40	20	1,9	1
30	40	30	2,5	3
10	60	30	0,3	1
10	70	20	0,2	1
20	80	-	10,8	5
30	60	10	3,7	3

Как видно из таблицы, стойкость стекол по мере увеличения процентного содержания полифосфата натрия, резко падает. Исследования показывают, что введение в состав стекла даже малых количеств полифосфата алюминия благоприятно сказывается на устойчивости стекол. Присутствие в структуре тетраэдров AlO_4 с прочными связями $\text{Al} - \text{O}$ значительно

улучшает физикохимические, в том числе и гидролитические свойства стекол.

Весьма важным фактором, влияющим на качество электротехнической стали, являются диэлектрические свойства его покрытия. Диэлектрический слой, находясь между витками магнитопровода, предотвращает возникновение вихревых токов Фуко, которые приводят к разогреву сердечника и увеличению ваттных потерь трансформатора.

Определение диэлектрической проницаемости стекол проводили путем определения их емкости при различных частотах электромагнитного поля на куметре Е 9-4. Результаты исследования показали, что на частотах электромагнитного поля $1-20 \cdot 10^6$ Гц, ϵ находится в пределах 7-10. Увеличение в составе стекла процентного содержания $Al(PO_3)_3$ приводит к уменьшению диэлектрической проницаемости стекол, что, по-видимому, связано с участием в образовании структуры тетраэдров AlO_4 с прочными связями $Al - O$.

Проведенными исследованиями установлено, что, регулируя химический состав, можно синтезировать стекла с набором параметров, необходимым для создания качественных электроизоляционных клеящих покрытий на электротехнической стали.

Наилучшие эксплуатационные свойства показали стекла с содержанием (масс.%): $NaPO_3$ - 5-25, $Ca(PO_3)_2$ - 60-75, $Al(PO_3)_3$ - 15-20.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко В.Г. и др. Основные тенденции развития проблемы получения покрытий на электротехнической стали. //Тезисы докладов на восьмом Всесоюзном совещании по физике металловедения электротехнических сталей и сплавов.- Липецк, 1988.
2. Кузьменков М.И., Печковский В.В., Плышевский С.В. Химия и технология метафосфатов.- Минск: Университетское. 1985.
3. Мазурин О.В. и др. Свойства стекол и стеклообразующих расплавов. Т.2.- Л.:Наука. 1975.