



ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ НИКЕЛЕВОГО ПОКРЫТИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ИНДЕКС ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ С ПОЛИИМИДНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

В.Ю. Чайко, директор ЗАО «СПКБ Техно»

Для повышения температурного индекса (ТИ) изоляции эмалированных проводов применяют покрытие медных проводников никелем, однако зависимость температурного индекса от толщины покрытия никелем ранее не была исследована.

Для проведения исследований с целью установления такой зависимости в качестве объекта испытаний были выбраны образцы эмалированных проводов диаметром 0,40 мм марок ПЭТ-имид (без никелевого покрытия) и ПНЭТ-имид (с толщиной никелевого покрытия 0,22, 0,42, 0,61 и 0,81 мкм).

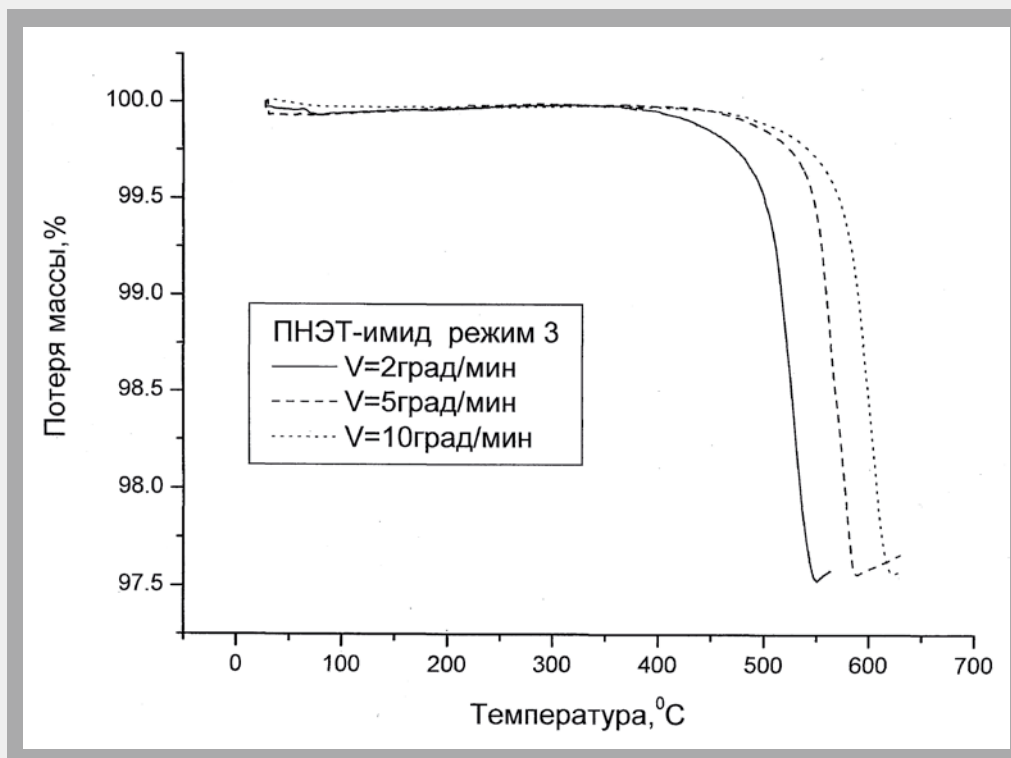
Испытания по определению ТИ проводов проводились в соответствии с РД 16 068-84 «Определение температурного индекса эмалированных проводов, не подвергавшихся технологической переработке, методом термогравиметрического анализа». ТИ рассчитывался по известным формулам:

$$ТИ = \frac{E}{E / T_2 + R \cdot \ln(K_2 / K_1)}, \quad (1)$$

где R – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/град·моль; T_2 – температура изотермического старения, K ; K_2 – константа скорости потери массы изоляции при температуре T_2 , c^{-1} ; K_1 – константа скорости потери массы изоляции при температуре предполагаемого ТИ, c^{-1} ; E – энергия активации процесса старения изоляции, Дж/моль;

$$K_1 = \frac{\ln(m_0 / (m_0 - \Delta m_{кр.}))}{\tau}, \quad (2)$$

где m_0 – исходная масса изоляции образца, принимаемая за 100 %; $\Delta m_{кр.}$ – критическая потеря массы изоляции, %; τ – базовый ресурс провода, равный 20 000 ч, или $7,2 \cdot 10^7$ с.



Для определения энергии активации устанавливается зависимость изменения массы от температуры при различных скоростях нагревания образцов β . В качестве примера на рисунке показаны кривые изменения массы образцов провода с толщиной слоя никеля 0,61 мкм при трех скоростях нагревания. На рисунке видно, что, начиная с некоторой $m_{кр}$, кривые переходят на прямолинейный участок и практически параллельны друг другу. Значение E определяется по формуле:

$$E = R \cdot \ln(\beta_2/\beta_1) \cdot \Delta T, \quad (3)$$

где ΔT – разность температур для критической потери массы при скоростях нагревания β_2 и β_1 .

Критическая потеря массы $\Delta m_{кр}$ соответствует границе ресурса работы изоляции.

Для определения кинетического коэффициента K_2 проводили измерения в изотермическом режиме

при температуре T_2 , приблизительно соответствующей температуре стеклования (407 и 420 °С):

$$K_2 = \ln(m_1 / m_2) / (t_2 - t_1), \quad (4)$$

где m_1 и m_2 – масса изоляции для значений времени термического старения t_1 и t_2 .

Время и масса выбирались вблизи критической потери массы.

Температуру стеклования ($T_{см.}$) полиимидной изоляции определяли методом термомеханического анализа. Для этого образец провода длиной 0,8–1,0 см при нагрузке 100 г нагревали в печи термомеханического анализатора со скоростью 10 град/мин до температуры 650 °С. Температуру стеклования определяли по пику на дифференциальной термомеханической кривой – зависимости деформации изоляционного покрытия от температуры.

Испытания проводили на следующем оборудовании:

Таблица

Марка провода	E , кДж/моль	$\Delta m_{кр}$, %	$K_1 \cdot 10^{-9}$ 1/с	$K_2 \cdot 10^{-5}$ 1/с	T_2 , °С	$TИ$, °С	$T_{см.}$ °С
ПЭТ-имид	124,0	36,0	6,20	3,41 3,48 4,32	407,0 412,0 417,0	215,0 217,0 216,5	374
	119,2	36,0	6,20	3,41 3,48 4,32	407,0 412,0 417,0	210,0 212,0 211,0	
ПНЭТ-имид $\Delta_{ник.}$ 0,22 мкм	153,8	28,5	4,66	1,76 1,91 2,64	403,5 405,0 420,0	247,0 246,6 250,5	410
	155,6	28,5	4,66	1,76 1,91 2,64	403,5 405,0 420,0	248,0 248,0 252,0	
ПНЭТ-имид $\Delta_{ник.}$ 0,42 мкм	153,5	29,0	4,75	2,15 1,90 4,03	405,0 407,0 423,0	245,0 248,0 246,0	410
	158,7	29,0	4,75	2,15 1,90 4,03	405,0 407,0 423,0	249,0 252,0 250,5	
ПНЭТ-имид $\Delta_{ник.}$ 0,61 мкм	155,1	30,5	5,10	2,17 2,23 3,15	403,0 407,0 420,0	246,0 248,0 250,0	405
	155,3	30,5	5,10	2,17 2,23 3,15	403,0 407,0 420,0	246,0 248,0 250,0	
ПНЭТ-имид $\Delta_{ник.}$ 0,81 мкм	153,2	27,5	4,46	1,38 1,68 6,26	407,0 408,0 448,5	251,0 249,0 252,0	380
	151,0	27,5	4,46	1,38 1,68 6,26	407,0 408,0 448,5	249,7 247,0 250,0	
	156,9	27,5	4,46	1,38 1,68 6,26	407,0 408,0 448,5	254,0 252,0 255,0	

- система: термогравиметрический анализатор 951 и термический анализатор 990 фирмы Du Pont Instruments;

- система: термогравиметрический анализатор 951 и термический анализатор 1090 фирмы Du Pont Instruments с программно-аппаратным комплексом «Т1090» ООО «Приборсервис» для сбора экспериментальных данных на ПК;

- система: термомеханический анализатор 943 и термический анализатор 990 фирмы Du Pont Instruments.

Данные для расчета ТИ проводов и результаты расчета приведены в таблице.

Как видно из представленных в ней данных, температурный индекс провода ПЭТ-имид находится в диапазоне 210–217.

Температурный индекс проводов ПНЭТ-имид с покрытием никеля:

- 0,22 мкм – в диапазоне 247–252;
- 0,42 мкм – в диапазоне 245–252;
- 0,61 мкм – в диапазоне 246–250;
- 0,81 мкм – в диапазоне 247–255.

У проводов ПНЭТ-имид с покрытием никеля 0,22–0,61 мкм температура стеклования практически одинакова. Кинетические характеристики процесса старения изоляции и ТИ у этих проводов находятся в одном диапазоне 246–255 °С.

Таким образом, для обеспечения ТИ 250 достаточно наносить покрытие никелем толщиной 0,2 мкм. Покрытие с меньшей толщиной может привести к появлению местных участков на проволоке, не покрытых никелем. Поэтому создается принципиальная возможность повышения производительности при никелировании медной проволоки под последующее эмалирование путем увеличения линейной скорости движения проволоки на установках гальванического никелирования.

Книга Ю.Т. Ларина «Оптические кабели» посвящена широкому спектру вопросов в области современного состояния конструирования, производства и эксплуатации оптических кабелей связи.

Автор уделил особое внимание расчетам внешних механических нагрузок, прочности оптических кабелей, а также их термостабильности. Книга охватывает вопросы выбора полимерных материалов и элементов конструкции оптических кабелей, вопросы герметизации и надежности.

В отдельную главу включена тема воздействия ионизирующих излучений на оптическое волокно и оптические кабели.

Книга может быть интересна и рекомендована широкому кругу читателей, специализирующихся в оптической связи.

Ю.Т. Ларин • ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

Ю.Т. Ларин

ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ

Методы расчета конструкций

Материалы

Надежность и стойкость к ионизирующему излучению