

## ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОМПОНЕНТОВ ТЕРМОПАРНОГО КАБЕЛЯ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Царенко Ю.В., Рубаник В.В.

ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», г. Витебск, Беларусь,  
labpt@vitebsk.by

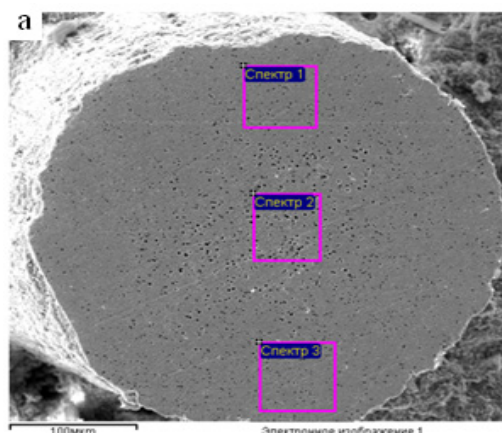
Одна из причин, вызывающая изменение показаний кабельных термопар, заключается в переходе легирующих элементов с термоэлектрода на термоэлектрод, а также с оболочки на термоэлектроды. В частности, для термопар типа ХА - это переход атомов хрома с хромелевого термоэлектрода на алюминель, а также потеря атомов алюминия алюминелевым термоэлектродом. При температурах около 1100 °С становится заметным влияние переноса атомов марганца от нержавеющей оболочки кабеля к термоэлектродам. При указанной температуре марганец имеет высокое давление паров и может переноситься по микропорам в порошке оксида магния к термоэлектродам. Поэтому при температурах выше 800 °С применение кабельных термопар с оболочкой из нержавеющей стали, содержащей около 2% марганца, заметно сокращает метрологический ресурс термоэлектрического преобразователя. Для таких температур рекомендуется оболочка кабеля из высоконикелевых сплавов [1].

Другой причиной изменения характеристики кабельного термопреобразователя может быть влага, поглощенная окисью магния, обладающей большой гигроскопичностью. Это может наблюдаться при нарушении герметичности кабеля. Влага уменьшает сопротивление изоляции и приводит к шунтированию термоЭДС. Кроме того, взаимодействие паров воды с MgO может привести к разрушению кабельной оболочки, т.к. образующийся гидроксид магния  $Mg(OH)_2$  имеет в 1,5 раза больший, чем оксид, удельный объем, что вызывает повышенное давление на оболочку [2].

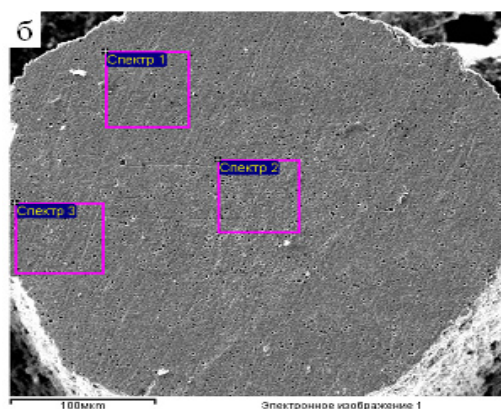
К механической деформации термоэлектродов термопреобразователей, эксплуатирующегося в режиме теплосмен, приводит различие в коэффициентах термического расширения составных частей кабеля. Возникающие при этом микронапряжения также влияют на термоЭДС [2].

Для определения химического состава порошковой изоляции, жил и оболочки кабеля использовали рентгеновский энергодисперсионный спектрометр «Inca 360» («Oxford Instruments», Великобритания). Область возбуждения рентгеновского излучения 0,5 мкм. Съемка проводилась при ускоряющем напряжении 20 кВ.

Химический состав порошковой изоляции, жилы и оболочки кабеля представлен на рис.1 - 3.



| Спектр   | Al   | Co   | Si   | Mg   | Ni        |
|----------|------|------|------|------|-----------|
| Спектр 1 | 1.99 | 0.89 | 1.25 | 0.71 | остальное |
| Спектр 2 | 1.85 | 0.90 | 1.20 | 0.58 | остальное |
| Спектр 3 | 2.07 | 0.91 | 1.26 | 0.69 | остальное |

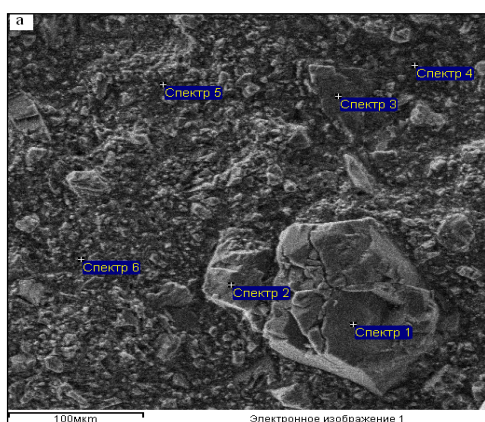


| Спектр   | Cr   | Fe   | Si   | Mg   | Ni        |
|----------|------|------|------|------|-----------|
| Спектр 1 | 9.62 | 0.71 | 0.62 | 0.99 | остальное |
| Спектр 2 | 9.95 | 0.55 | 0.60 | 0.85 | остальное |
| Спектр 3 | 9.71 | 0.77 | 0.57 | 0.95 | остальное |

Рисунок 1 - . Химический состав жилы из сплава алюмель (НМцАК2-2-1) (а) и хромель (б) после отжига кабеля КТМС диаметром 2.0 мм

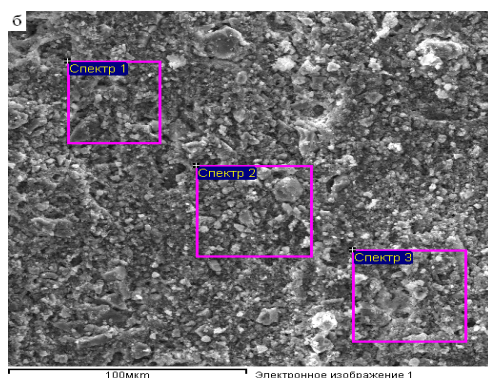
Из анализа данных по химическому составу термоэлектродных жил кабеля видно, что на периферии проводников сплава алюмель наблюдается некоторое снижение содержания никеля и увеличение количества магния и алюминия. Для термоэлектрода из хромели к периферии наблюдается понижение содержания хрома и никеля и увеличение железа и магния. Содержание кремния при этом по сечению образца практически не изменяется.

Поскольку кабель проходит термическую обработку при температуре 1000 °С, то наблюдается некоторый перенос атомов элементов, в том числе и железа, от нержавеющей оболочки кабеля к порошковой изоляции. Атомы оболочки могут переноситься по микропорам в порошке оксида магния и к термоэлектродам.



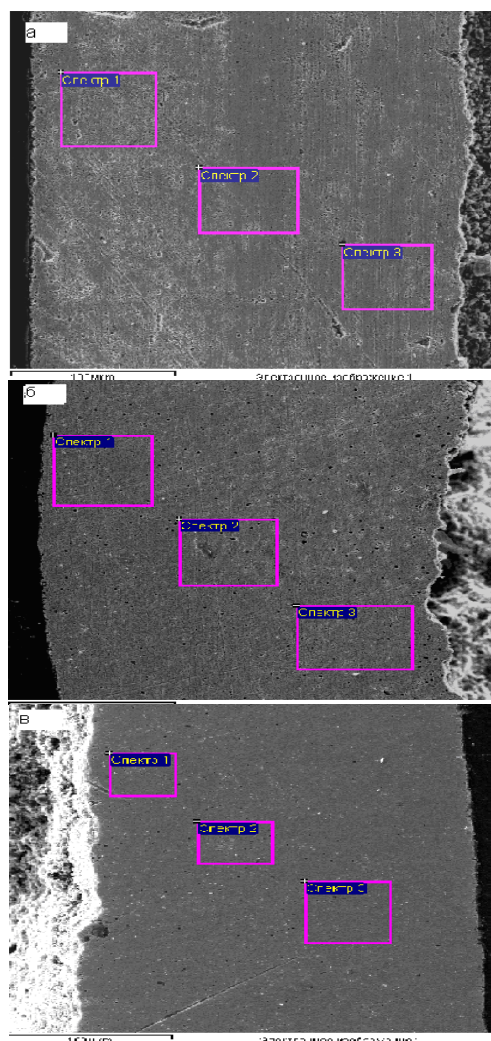
←Жила                      Оболочка →

| Спектр   | Mg    | Ca   | Fe   | O         |
|----------|-------|------|------|-----------|
| Спектр 1 | 54.24 | 0.37 | 0.01 | остальное |
| Спектр 2 | 51.89 | 0.25 | 0    | остальное |
| Спектр 3 | 57.17 | 0.07 | 0    | остальное |
| Спектр 4 | 60.52 | 1.30 | 0.03 | остальное |
| Спектр 5 | 54.13 | 0.22 | 0    | остальное |
| Спектр 6 | 55.67 | 0.42 | 0.02 | остальное |



| Спектр   | Mg    | Cu   | Fe   | O         |
|----------|-------|------|------|-----------|
| Спектр 1 | 60.13 | 0.13 | 0.17 | остальное |
| Спектр 2 | 60.47 | 0.12 | 0.02 | остальное |
| Спектр 3 | 60.25 | 0.45 | 0.1  | остальное |

Рисунок 2 - Химический состав изоляционного порошка кабеля КТМС диаметром 3,2 мм (а) и 2,0 мм (б) после волочения и отжига



| Спектр   | Ti   | Cr    | Mn   | Ni    | Fe        |
|----------|------|-------|------|-------|-----------|
| Спектр 1 | 0.84 | 18.88 | 0.66 | 9.99  | остальное |
| Спектр 2 | 0.85 | 18.46 | 0.98 | 10.59 | остальное |
| Спектр 3 | 0.67 | 18.89 | 0.79 | 9.81  | остальное |

| Спектр   | Ti   | Cr    | Mn   | Ni    | Fe     |
|----------|------|-------|------|-------|--------|
| Спектр 1 | 0.79 | 18.75 | 0.69 | 9.77  | основа |
| Спектр 2 | 0.68 | 18.73 | 0.22 | 10.56 | основа |
| Спектр 3 | 0.62 | 18.75 | 0.42 | 10.06 | основа |

| Спектр   | Ti   | Cr    | Ni    | Fe        |
|----------|------|-------|-------|-----------|
| Спектр 1 | 1.05 | 18.74 | 10.46 | остальное |
| Спектр 2 | 1.01 | 18.48 | 10.64 | остальное |
| Спектр 3 | 0.35 | 19.00 | 10.07 | остальное |

Рисунок 3. Химический состав оболочки термопарного кабеля КТМС диаметром 3,2 мм (а), 2,0 мм (б), 1,5 мм (в) после волочения и отжига

Таким образом, после многократных циклов пластической деформации и термической обработки термопарного кабеля, для сплава алюминий наблюдается тенденция к понижению содержания никеля, а для сплава хромель, понижению, как никеля, так и хрома в зоне контакта термоэлектродных сплавов с порошковой минеральной изоляцией.

Кроме того установлено, что в процессе изготовления термопарного кабеля малых диаметров на границах раздела термоэлектродных проводников с порошковой изоляцией из окиси магния наблюдается увеличенное содержание железа, по-видимому, вследствие взаимодействия окиси магния как с термоэлектродами, так и с нержавеющей сталью, из которой выполнена оболочка термопарного кабеля.

#### Список литературы

1. Шлеймович, Е.М. Термоэлектрические преобразователи для измерения температуры / Е.М. Шлеймович, В.Г. Лисиенко. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. - 118с.
2. Клубович В.В., Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Ультразвук в технологии производства композиционных кабелей. - Минск: Беларус. навука, 2012. - 293 с.