

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЛОЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОПАРНОГО КАБЕЛЯ С МИНЕРАЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Царенко Ю.В., Рубаник В.В.

Институт технической акустики НАН Беларуси,  
г. Витебск, Беларусь, E-mail: ita@vitebsk.by

Термопарные кабели с минеральной изоляцией (КТМС) получают путем многократных циклов волочения и термообработки заготовки. При волочении сначала обжимается оболочка и происходит уплотнение изоляционного материала. Затем, когда плотность достигнет некоторого значения, начинается процесс волочения всей системы в целом, т.е. происходит пропорциональное уменьшение внешнего диаметра и сечения жил с одновременным удлинением заготовки. Неоднородность поверхности жил и изменение их диаметра зависит от физико-механических свойств как материала жил, так и свойств порошкового наполнителя. Это приводит при последующем волочении, особенно кабеля малого диаметра, к обрывам жил, а также к нестабильности электрофизических свойств, преждевременному выходу из строя термопреобразователей, изготовленных из термопарного кабеля [1,2]. При волочении кабельной заготовки происходит перемещение частиц порошковой изоляции (оксида магния) и их дробление. При этом деформирование жил происходит под действием сил, передаваемых через слой порошкового наполнителя. В результате на поверхности жил образуются вмятины (шероховатости), формируется значительная неоднородность по сечению заготовки.

Ранее установлено [3,4], что наиболее интенсивно дробление порошка происходит после волочения заготовки с наложением ультразвуковых колебаний, что обеспечивает снижение обрывности жил. При волочении термопарного кабеля с наложением ультразвуковых колебаний формируется поверхность термо-электродных жил с низкой шероховатостью, наблюдается более однородное сечение проводников по длине изделия (рис. 1).

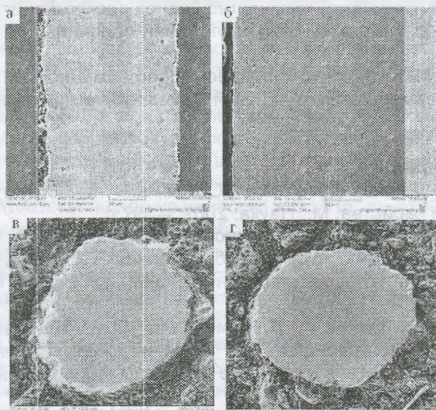


Рисунок 1 – Продольное и поперечное сечение термоэлектродной жилы термопарного кабеля КТМС после волочения с 3,5 мм на 1,5 мм с использованием заводской технологии (а, в) и наложением ультразвуковых колебаний (б, г)

Неоднородность поверхности жил (площадь и глубина вмятин) зависит от физико-механических свойств как материала жил, так и порошкового наполнителя и, в особенности, его гранулометрического состава. Это приводит при последующем волочении, особенно кабеля малого диаметра, к обрывам жил, а также к нестабильности термоЭДС. Переход к порошкам, обладающим меньшими размерами

частиц, например, окиси магния марки «ЧДА», получаемой химическим способом, в значительной степени устраняет указанные недостатки [2].

Для повышения электрофизических свойств готового изделия, а также качества кабельной заготовки предложен способ изготовления кабеля с порошковой минеральной изоляцией [5], при котором в трубчатую оболочку помещают токопроводящие жилы, оболочку кабеля заполняют с наложением ультразвуковых колебаний амплитудой от 15 до 20 мкм смесью порошков из частиц крупной и мелкой фракции, соотношение между размерами частиц каждой фракции составляет от 7 до 15 раз, содержание более мелкой фракции в смеси составляет от 25 до 40% объема. Предварительно крупная и мелкая фракции порошка тщательно перемешиваются. Для получения высоких электрических свойств и предохранения заготовки от увлажнения изоляционная масса засыпается при температуре около 100°C. Применение двух фракций порошка с размерами частиц, отличающимися в 7...15 раз, позволяет обеспечить максимально плотную засыпку в оболочку кабеля [3, 5]. Смешивание различных фракций порошковой изоляции проводили с использованием ультразвуковых колебаний, в режиме акустической кавитации, путем диспергирования их в водной среде. Данный процесс обеспечивал производительность и позволял получить наиболее равномерное распределение мелкодисперсной фракции окиси магния в объеме изоляционного порошка. Засыпка более мелких фракций порошка затруднена из-за высокой способности их к комкованию. Оптимальное массовое содержание мелкой фракции в смеси составляет 25...40 %, при данном соотношении наблюдается наиболее полное заполнение пустот между крупными частицами при засыпке порошка в оболочку кабеля. При возбуждении в процессе засыпки ультразвуковых колебаний порошок, находясь в контакте с вибрирующей поверхностью стенок трубы, свободно перемещается, причем скорость движения порошка значительно увеличивается по сравнению с процессом в обычных условиях. Это обусловлено тем, что силы трения, возникающие между движущимися частицами порошка и поверхностью трубы и токопроводящих жил, при воздействии ультразвуковых колебаний существенно снижаются. Эксперименты показали, что оптимальное значение амплитуды ультразвуковых смещений при засыпке составляет 15...20 мкм.

Поскольку терморезные кабели с минеральной изоляцией получают путем многократных циклов волочения и термообработки исходной заготовки, что приводит к неоднородности жил по длине, особенно кабелей малого диаметра, к обрывам жил, а также к нестабильности электрофизических свойств, преждевременному выходу из строя терморезовых кабелей, изготовленных из терморезного кабеля [2,4]. Характерные дефекты терморезовых кабелей после многочисленных циклов пластической деформации кабеля представлены на рисунке 2.

На жилах кабеля, полученного по обычной технологии (рис.2а, б) наблюдаются значительные несплошности, размеры их достигают 10 мкм в длину и глубиной около 2,0 мкм. После волочения терморезового кабеля с наложением ультразвуковых колебаний размеры дефектов значительно меньше, их размеры не превышают 1,0 мкм. Кроме того, следует отметить, что ультразвуковые колебания были использованы при волочении заготовки с диаметра 3,5 мм до 2,0 мм.

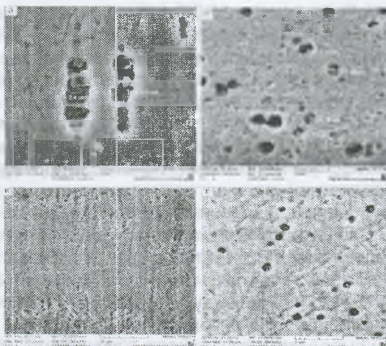


Рисунок 2 – Несплошности в материале термоэлектродных жил термопарного кабеля, полученного по заводской технологии (а, б) и волочении с применением ультразвуковых колебаний (в, г). Продольное сечение жилы – а, в; поперечное сечение жилы – б, г

Для подготовки к волочению кабельной заготовки в металлической оболочке с порошковой изоляцией разработан способ [6], позволяющий снизить обрывность переднего конца заготовки при волочении, а также уменьшить количество операций.

Таким образом, использование ультразвуковых колебаний при волочении кабельной заготовки позволяет повысить как производительность процесса изготовления, так и качество готового изделия.

#### **Список литературы:**

1. Сучков В.Ф., Светлова В.Н., Финкель Э.Э. Жаростойкие кабели с минеральной изоляцией – М: Энергоатомиздат, 1984. – 120 с.
2. Клубович В.В., Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Ультразвук в технологии производства композиционных кабелей. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 293 с.
3. Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Применение ультразвука для повышения служебных характеристик жаростойких кабелей //XXI Петербургские чтения по проблемам прочности. Санкт–Петербург, 15–17 апреля 2014 г.: сборник материалов, – СПб.: Соло, 2014. – С. 227–229.
4. Царенко Ю.В., Бобров В.П. Влияние деформационного воздействия на параметры термопарного кабеля с минеральной изоляцией // Перспективные материалы и технологии: сборник материалов Международного симпозиума, 27–29 мая 2015 года Витебск, Беларусь, ВГТУ, 2015. – С.55–57.
5. Способ формирования порошковой изоляции кабеля: пат. 19682 Республика Беларусь, МПК<sup>7</sup> Н 01В 13/00/ Ю.В.Царенко, В.В.Рубаник; заявитель ИТА НАН Беларуси; опубл. 30.12.15.
6. Способ подготовки к волочению кабельной заготовки в металлической оболочке с порошковой изоляцией: пат. 19114 Республика Беларусь, МПК<sup>7</sup> В 21С 5/00/ Ю.В.Царенко, В.В.Рубаник; заявитель ИТА НАН Беларуси; опубл. 30.04.15.