

It is shown that application of ultrasound in the processes of the cables production allows to intensify considerably the procedure of powder isolation filling, to reduce the number of procedures on thermal treatment, and also to increase the quality of articles.

*В. В. РУБАНИК, В. В. КЛУБОВИЧ, Ю. В. ЦАРЕНКО,
Институт технической акустики НАН Беларуси*

УДК 621.74

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАБЕЛЕЙ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБОЛОЧКАХ

Традиционная технология производства нагревостойких и термостойких кабелей с минеральной изоляцией в металлических оболочках (типа КНМС, КТМС) (рис. 1) является весьма трудоемкой и дорогостоящей. Она включает в себя операции засыпки трубы-заготовки порошковым материалом, волочение с единичными обжатиями 12–15% и скоростями до 20 м/мин, термическую обработку в водородных печах после каждого обжатия [1].

Нами были проведены исследования по использованию ультразвуковых колебаний (УЗК) частотой 18–22 кГц на различных операциях изготовления кабелей. В качестве ультразвукового оборудования использовали серийные генераторы УЗГ2-4М и УЗДН-1. Источником колебаний служили магнитострикционные преобразователи.

Для засыпки порошкового материала различного гранулометрического состава оксидов магния и алюминия были разработаны две схемы подведения УЗК. В первом случае колебания возбуждали в трубе-заготовке, а во втором — в токопроводящих внутренних проводниках.

Засыпка и уплотнение труб изоляционным материалом — самая ответственная и трудоемкая задача. Нарушение технологических режимов прежде всего отражается на центровке токопроводящих жил и плотности изоляции и, следовательно, на электрических параметрах кабелей. В качестве изоляционного материала используют оксиды магния и алюминия. Чтобы не происходило увлажнение изоляционного порошка во время засыпки, его прокачивают в проходной электрической печи при температуре 800 °С.

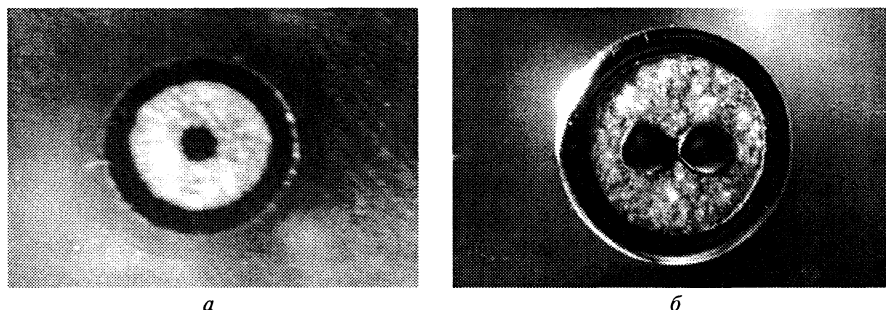


Рис. 1. Поперечное сечение кабеля КНМС (а) и КТМС (б)

Особенностью процесса волочения кабеля с минеральной изоляцией является то, что при волочении происходит одновременно деформация оболочки, жилы и изоляционного слоя, что приводит к увеличению плотности порошка до определенного значения. Деформирование жил происходит под действием сил, передаваемых через слой наполнителя. В результате на поверхности жил образуются вмятины, возникает значительная неоднородность сечения по длине. Причем неоднородность поверхности жил зависит как от физико-механических свойств материала жил, так и от гранулометрического состава порошка. Это приводит при последующем волочении, особенно кабелей малого диаметра, к обрывам жил, нестабильности термоЭДС, преждевременному выходу из строя нагревостойкого кабеля при эксплуатации.

Использование в качестве изоляции порошка с меньшими размерами частиц, например оксида магния марки ЧДА, в значительной мере устраняет указанные недостатки. Однако мелкодисперсный оксид магния обладает малой сыпучестью, что не позволяет использовать при изготовлении заготовки способ засыпки, совмещенный с волочением, где перемещение порошка происходит под действием силы тяжести.

Применение ультразвуковых колебаний позволило, используя заводскую технологию засыпки с одновременным уплотнением волочением, производить заполнение кабельной заготовки порошковым материалом любого гранулометрического состава. На рис. 2 показана схема, реализующая способ ультразвуковой засыпки порошка. Ультразвуковые колебания возбуждали с помощью магнитострикционного преобразователя 1. Из бункера 2 через шток 3 и отверстия в пробке штока порошок поступает в трубу-заготовку 4. Скорость заполнения определяется размером отверстий в пробке штока и размерами частиц порошка. В соответствии с заводской технологией уплотнение порошка осуществляется вибратором 6, расположенным на некотором расстоянии от волокна. Однако воздействие на трубу-заготовку низкочастотных вибраций (50 Гц) не устраняет зависания порошка как в пробке штока, так и в бункере и практически не влияет на сыпучесть. При возбуждении в направляющих трубках 5 ультразвуковых колебаний порошок, находясь в контакте с вибрирующей поверхностью трубок, свободно перемещается как в отверстие бункера, так и в отверстиях пробки штока. Причем скорость движения порошка значительно увеличивается. Это обусловлено тем, что силы трения, возникающие между движущимися частицами порошка и поверхностью трубок, а также поверхностью отверстий пробки штока, при воздействии ультразвуковых колебаний существенно снижаются.

В заводских условиях разработанную технологию применяли при заполнении трубы из стали ЭИ-435 размером 20x2 мм с внутренними жилами из сплавов алюмель и хромель диаметром 3,6 мм для получения термостойкой кабельной заготовки КТМС(ХА) и с внутренними жилами из нихрома диаметром 3,3 мм для получения заготовки нагревостойкого кабеля КНМСН. В качестве изоляционного порошка использовали оксид магния марки ЧДА со средним размером частиц 2–4 мкм. Степень деформации при волочении заготовки составляла 15%. Источником ультразвуковых колебаний служил магнитострикционный преобразователь, питаемый от генератора УЗДН-2Т. Из исходной заготовки кабеля диаметром 22 мм получали изделия конечного диаметра 0,15 мм, удовлетворяющие требованиям ТУ. В случае использования оксида магния марки ПЭ-1М с размером частиц 40–60 мкм получать изделие диаметром менее 1 мм не удавалось. Кроме того, использование оксида магния с размером частиц 2–4 мкм позволило увеличить пробивные напряжения в кабельных заготовках до 1,5 раза.

Для повышения производительности процесса засыпки изоляционного порошка и улучшения качества заготовки было разработано устройство,

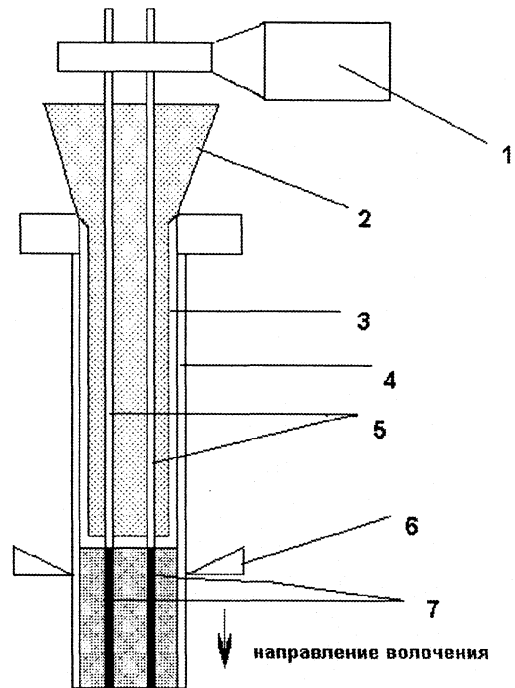


Рис. 2. Схема засыпки порошковой изоляцией кабельной заготовки с использованием ультразвуковых колебаний: 1 – магнитострикционный преобразователь-концентратор; 2 – бункер; 3 – направляющая труба (шток); 4 – труба-заготовка; 5 – направляющие трубки для жил; 6 – вибратор; 7 – токопроводящие жилы

в котором, помимо направляющих трубок для жил, дополнительно вводили засыпочные трубки резонансной длины, в которых возбуждали изгибные ультразвуковые колебания. Это позволило увеличить скорость засыпки порошка, полностью исключить пустоты в кабельной заготовке и обеспечить засыпку мелкодисперсного порошка. Локализация ультразвуковых колебаний в засыпочной трубе исключает возбуждение колебаний в жилах, что дает возможность осуществлять точную их центровку в кабельной заготовке в процессе засыпки. Скорость протягивания заготовки составила 0,04 м/с, при засыпке по заводской технологии скорость составляет 0,02 м/с.

Таким образом, при использовании ультразвуковых колебаний различной направленности и интенсивности в процессе сборки заготовки кабеля увеличивается производительность процесса и повышается качество готовой продукции.

Применение ультразвука позволило увеличить скорость засыпки изоляционного порошка в 2–3 раза, а также осуществить процесс засыпки мелкодисперсной фракцией порошка с размером частиц до 1–2 мкм. Это обеспечило улучшение эксплуатационных характеристик кабеля и позволило получать кабель диаметром до 0,2 мм.

Об эффективности воздействия ультразвука на процесс волочения судили по степени снижения усилия волочения. При обжатиях 10–15% ультразвуковые колебания существенно (до 50–60%) снижают усилие волочения при скорости

10 м/мин. При обжати 25% снижение усилия волочения составляет 30–40%. Применение ультразвука дает возможность увеличить единичные обжати в 1,5 раза без разрушения внутренних токопроводников.

Традиционно для волочения кабельных изделий в металлических оболочках применяют фторсодержащие смазки. Для их удаления перед отжигом используют трихлорэтилен при температуре 70–80 °С, что является экологически опасным производством и требует специальных очистных устройств.

Применение ультразвука позволило отказаться от фторсодержащих смазок (типа КСК, “Hangsterfar”) и осуществлять волочения (рис. 3) на смазках на основе машинного масла с дисульфидом молибдена и водно-масленно-мыльной эмульсии. Удаление указанных смазок производили в ультразвуковой ванне в 5%-ном содовом растворе при температуре 70 °С. Источником ультразвука служили два магнитострикционных преобразователя ПМС-2,5-18, которые были встроены в дно ванны. Предложенная технология является экологически безопасной, не требует применения специальных мер защиты.

На рис. 4 показаны зависимости усилия волочения кабеля (диаметр 2 мм) от степени деформации за проход при скорости волочения 12 м/мин. В качестве инструмента использовали алмазные волокна типа СКМ, смазкой служила водно-мыльно-масляная эмульсия. Степень снижения усилия волочения при малых обжатах составляла 15–20%. Наибольшее снижение усилия волочения наблюдалось при обжатах 20–25% и составило 40–50% [2].

Скорость волочения оказывает существенное влияние на силовые условия волочения кабеля. При малых скоростях волочения (~3 м/мин) эффективность ультразвуковых колебаний на процесс значительно выше и снижение усилия волочения составляет 60–70%.

Волочение кабеля с указанными смазками повышает качество его поверхности, задиры и трещины на поверхности оболочки отсутствуют. Однако при волочении с наложением ультразвуковых колебаний с использованием высоковязких смазок необходимо дополнительное охлаждение концентратора с волокой. В противном случае колебательная система значительно нагревается и происходит быстрое разрушение ее элементов.

В исходном состоянии перед волочением оболочка кабеля имеет однофазную аустенитную структуру. Зерна исходного аустенита примерно одинаковы по величине. В процессе волочения происходит не только дробление зерен, но и их вытягивание в направлении деформации. После волочения с ультразвуком вытягивание зерен в оболочке кабеля менее выражено, наблюдается несколько меньшее количество мартенсита. Это, вероятно, связано с тепловым действием ультразвуковых колебаний. Локальный нагрев в очаге деформации приводит к торможению $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения.

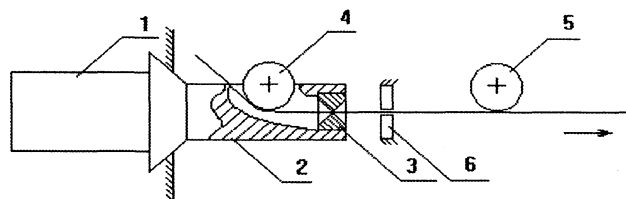


Рис. 3. Схема волочения кабеля с УЗК: 1 – магнитострикционный преобразователь; 2 – волновод; 3 – волока; 4 и 5 – отражатели продольных колебаний; 6 – отражатель изгибных колебаний

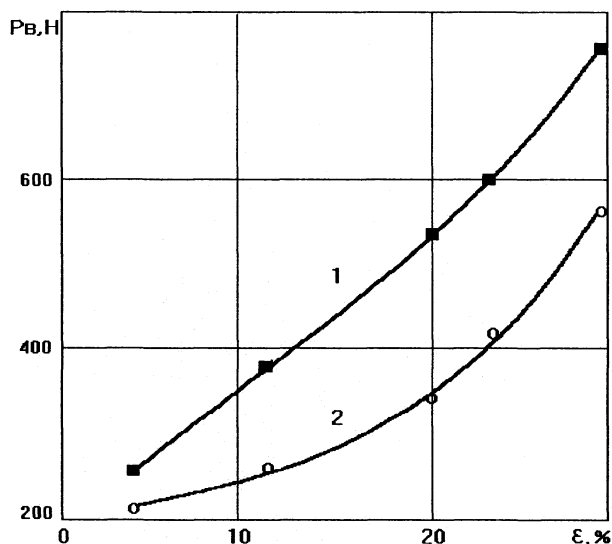


Рис. 4. Зависимость усилия волочения кабеля КНМС от степени деформации: 1 – без УЗК; 2 – с УЗК

Последующая термообработка в проходной печи приводит к формированию полностью аустенитной структуры независимо от условий предыдущей деформации. Однако использование ультразвука при волочении кабельной заготовки позволяет уменьшить фазовый наклеп за счет торможения $\gamma \rightarrow \alpha$ -превращения и тем самым создает предпосылки для увеличения единичных обжатий.

Таким образом, применение ультразвука в процессах производства кабелей позволяет значительно интенсифицировать операцию засыпки порошковой изоляции, увеличить единичные обжати при волочении и тем самым сократить количество операций по термообработке, а также повысить качество готовых изделий. Кроме того, использование ультразвука при волочении и последующей очистке поверхности перед термообработкой дает возможность отказаться от применения дорогостоящих и экологически небезопасных смазок.

Литература

1. Сучков В.Ф., Светлова В.И., Френкель Э.Э. Жаростойкие кабели с минеральной изоляцией. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Клубович В.В., Рубаник В.В., Царенко Ю.В. Скоростная электро-термическая обработка композиционного материала // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 1997. №1. С. 51–54.