

Современные технологии монтажа электрических линий

В статье рассматриваются существующие технологии соединения кабелей и проводов, описываются дополнительные устройства и компоненты для монтажа. Проводится сравнение технологий между собой, анализируются их сильные и слабые стороны.

Дмитрий Гаманюк

Необходимость и роль коммуникационных линий в технике

Невозможно себе представить современную сложную техническую систему без линий связи, которые объединяют ее элементы в работоспособную структуру. Любой живой организм обладает множеством линий, по которым проходят нервные импульсы, питательные вещества и кислород, выводятся отработанные продукты. Современные технические системы не обходятся без электрических магистралей, по которым идут силовые и информационные потоки. В свою очередь, линии связи не могут быть однородными: они то сливаются в один ствол, то разделяются на множество жил. Человеку, по всей видимости, еще долго предстоит учиться у природы строить требуемые структуры, однако и в области соединения-разделения сигнальных и силовых потоков уже есть прогресс.

Некоторые проблемы и трудности условий эксплуатации линий связи

Проблема заключается, прежде всего, в возможности оперативного и надежного соединения и разветвления коммутационных линий, причем эти работы должны выполняться в различных климатических условиях, в возможном отрыве от промышленного энергоснабжения аппаратуры.

Соединение жгутов и кабелей необходимо при наращивании длины линий, уменьшении (увеличении) количества токоведущих жил, ремонте линий в результате обрыва (износа оболочки и токоведущих частей). В ходе развития сети связи, необходимости охвата все большего количества потребителей актуальным становится возможность быстрого и надежного монтажа разветвлений. В результате соединения коммутационных линий могут оказываться в разнообразных местах и условиях, характеризующихся различным уровнем воздействия механических и климатических факторов окружающей среды. Учитывая данные обстоятельства, к соединительным комплектам на данный момент предъявляются следующие требования:

1. Возможность находиться под избыточным давлением окружающей среды, в условиях воздействия агрессивных сред, а также возможность проведения работ при максимально большом диапазоне температур окружающей среды.
2. Универсальность применения в кабелях с различными оболочками, как металлизированными, так и органическими.
3. Высокая устойчивость и прочность к воздействию механических и климатических внешних факторов, как в процессе эксплуатации, так и в ходе монтажа.
4. Возможность коммутации как можно большего числа кабелей.
5. Простота и удобство монтажа с возможностью, при необходимости, малозатратного удаления соединительного комплекта.
6. Универсальность применения с различными диаметрами кабелей.
Реализовать указанные требования в полном объеме можно сегодня на основе технологий применения термоусаживаемых материалов.

Технологии получения термоусаживаемых материалов

Термоусаживаемые материалы стали известны в 70-х гг. прошлого века, но широкое распространение получили сравнительно недавно, всего несколько лет назад. Название свое эти материалы получили вследствие уменьшения продольных и поперечных размеров в ходе нагревания и принятия формы основания, на которое были надеты перед усадкой. При этом обеспечивается герметичность и высокая механическая прочность соединения. Такие результаты обеспечивает технология перестройки внутренней структуры молекул органических веществ — полимеров.

В обычном состоянии полимеры представляют собой органические вещества с непрочной кристаллической решеткой, разрушающейся вследствие не сильного нагрева. Для получения термоусаживаемых материалов полимеры последовательно проходят четыре стадии. Во-первых, исходный материал под-

вергают воздействию направленного потока электронов. В итоге связи, удерживающие атом водорода в молекуле, как наименее сильные, разрушаются. Оставшиеся радикалы «смыкаются» между собой. Так происходит образование новых, дополнительных, продольных межмолекулярных связей. Во-вторых, полимер подвергается нагреву до температуры, равной или большей температуры разрушения начальной кристаллической решетки. При этом форма материала сохраняется за счет новых продольных межмолекулярных связей. В-третьих, полимер подвергается механическому растяжению до нужных размеров, но с учетом предела прочности новых межмолекулярных связей. На четвертой стадии полуфабрикат охлаждается с сохранением заданных на третьем этапе размеров. Во время охлаждения формируется новая, «временная» кристаллическая решетка материала. Продукт готов к использованию потребителем. Остается надеть термоусаживаемый материал на герметизируемый участок и нагреть его до определенной температуры любым доступным способом. В ходе нагревания «временная» кристаллическая решетка разрушается. Под воздействием сформированных поперечных межмолекулярных связей материал сжимается, принимая форму того основания, на котором находится. Сила взаимодействия молекул такова, что охват образует полностью герметичное соединение, имеющее к тому же достаточно высокую прочность и стойкость к воздействию внешних механических факторов.

Современные технологии соединения

Для оперативного и качественного решения задач надежного, долгоживущего и малозатратного соединения и разветвления коммуникационных линий передовые компании, в частности Tyco Electronics/Raychem, используют следующие принципы. Во-первых, комплектование поставляемых продуктов для работы всем необходимым для выполнения полного объема технологического процесса. Во-вторых, исключение использования в работе сложных энергозатратных приборов и устройств. В-третьих, простота монтажа и применения, что дает возможность задействовать сотрудников с невысоким уровнем квалификации. В-четвертых, использование в рабочих комплектах «интеллектуальных» продуктов, которые позволяют вести визуальный контроль качества выполнения тех или иных операций сращивания. Весь технологический процесс сра-

щивания с использованием термоусаживаемых муфт (рис. 1) условно можно разделить на несколько этапов.

Начальный этап заключается в подготовке соединяемых проводов в соответствии с общепринятыми правилами электротехники. Концы проводов очищаются от изоляции, причем длина очищенной части определяется в зависимости от используемого типа муфты. Здесь важно добиться минимального переходного сопротивления: для этого нужно обеспечить максимальную площадь соприкосновения оголенных концов и исключить соеденение проводов с токоведущими частями, выполненными из разного металла.

На следующем этапе необходимо восстановить экран соединяемых проводов (для экранированных проводников) и исключить вредное воздействие влаги на сросток. С этой целью к основным экранам проводов крепится провод обеспечения непрерывности экрана, имеющийся, как правило, в комплекте поставки. Затем в пределах сростка, образованного соединяемыми проводами и проводом непрерывности экрана, размещается силикагель.

Следующий этап заключается в подготовке сростка к герметизации термоусаживаемой манжетой. Для придания жесткости и цилиндрической формы соединению место сростка оборачивается прокладкой-каркасом, которая, в свою очередь, фиксируется с помощью липкой термостойкой ленты. Затем, в зависимости от типа используемой муфты, на соединяемых кабелях наносится маркировка, обозначающая ее общую длину. Для термической защиты оболочки соединяемых кабелей они, с учетом общей длины муфты, оборачиваются алюминиевой фольгой. Далее осуществляется предварительный прогрев оболочек кабеля, который проводится для исключения резких перепадов температуры в ходе основной усадки. Вокруг прокладки-каркаса оборачивается термоусаживаемая манжета, предварительно вырезанная под нужную длину. Особенностью технологии, в случае разветвительного соединения, является необходимость определенной ориентации застежки, которая должна располагаться над самым большим по сечению кабелем. Это нужно для обеспечения герметичности муфты и определяется особенностью распространения тепла от горелки. Далее предварительно обернутая манжета фиксируется гибкими застежками для формирования ее цилиндрической формы и центрируется на сростке относительно рас-

Таблица. Маркировка муфт и основные размеры

Маркировка муфт	Максимальный диаметр сростка А, мм	Минимальный наружный диаметр кабеля В, мм	Номинальное расстояние между срезами оболочек L, мм
XA GA 500-43/8-150-SU	43	8	150
XA GA 500-43/8-300-SU	43	8	300
XA GA 500-55/12-150-SU	55	12	150
XA GA 500-55/12-300-SU	55	12	300
XA GA 500-75/15-240-SU	75	15	240
XA GA 500-75/15-300-SU	75	15	300
XA GA 500-75/15-400-SU	75	15	400
XA GA 500-100/25-260-SU	100	25	260
XA GA 500-100/25-460-SU	100	25	460
XA GA 500-100/25-500-SU	100	25	500
XA GA 500-125/30-265-SU	125	30	265
XA GA 500-125/30-460-SU	125	30	460
XA GA 500-125/30-500-SU	125	30	500

положения фольги. Для обеспечения герметичности соединения между расходящимися проводами они разделяются разветвительными зажимами. Причем размер «зоны» каждого кабеля зависит от его диаметра.

Последним этапом соединения является собственно термоусадка. Нагрев манжеты осуществляется, как правило, газовыми горелками, как специализированными, так и широкого применения. Прогрев муфты необходимо начинать с ее центра, со стороны, противоположной застежке. С учетом начавшейся местной усадки, горелку перемещают по окружности муфты, приближаясь с обеих сторон к застежке. Усадив муфту по центру, начинают перемещать пламя к краям муфты, прогревая ее по всему диаметру. Особенность термоусаживаемых манжет — изменение их цвета при достаточном прогреве и, соответственно, при полной усадке. Это позволит легко заметить момент окончания усадки, не перегрев при этом соединении. Клей, нанесенный на внутреннюю сторону манжеты, при нагревании расплавляется и обеспечивает полную герметичность соединения. После полной усадки прогревается застежка по всей ее длине, также до изменения цвета манжеты. После остывания соединение готово к работе. Информация для правильного выбора муфт содержится в публикуемых таблицах, например, в спецификации фирмы Tyco Electronics/Raychem (таблица, рис. 2).



Рис. 1. Термоусаживаемые муфты

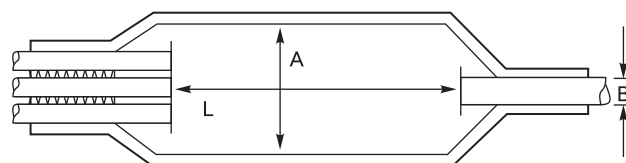


Рис. 2. Основные размеры муфт

Сопутствующие материалы и компоненты

Передовые компании, использующие современные технологии, многое делают для повышения удобства работы с их продуктом, реализуя принцип поставки «все включено». Поэтому потребитель имеет возможность заказать сразу весь спектр необходимых компонентов, как правило, использующихся при монтаже коммуникационных линий.

Основа любой кабельной системы — провод. Современные технологии на основе радиационной модификации изолирующего материала и высокоточной тонкостенной экструзии позволили создать изоляцию, превосходящую по всем параметрам изоляцию из классических материалов: полиимидной ленты, политетра-флуорэтилена и этилен-тетрафлуорэтилена. Технология радиационной модификации в производстве проводов позволила: повысить огнестойкость без провокации коррозии; повысить химическую нейтральность изоляции; устранить плавление и текучесть изоляции; исключить эффект ее холодного течения. Исследования NASA определили температурный диапазон использования созданного на этой основе продукта — от минус до плюс 200 °С. При этом новая изоляция остается стойкой к радиации открытого космоса и ультрафиолету. Земные условия эксплуатации на несколько порядков более щадящие. Это позволяет добиться исключения сбоев по вине провода. Таков, например, новый провод SPEC 55 компании Tyco Electronics/Raychem.

Для соединения информационных и маломощных линий используются многожильные соединительные модули (рис. 3). Данные устройства представляют собой цилиндрические электрические соединители, подключение которых к проводам осуществляется на основе технологии обжима контактов, которая обладает рядом существенных преимуществ. Это высокая скорость монтажа; минимум подготовительных операций (не требуется зачистка изоляции, скрутка, пайка и изоляция жил); универсальность соединительных модулей под разных диаметр проводов; надежный контакт, в том числе обеспечивающий устойчивость

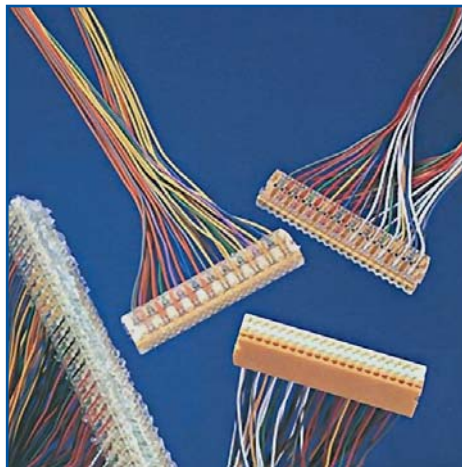


Рис. 3. Многожильные соединительные модули

к механическим воздействиям. Сами соединительные модули выполняются 10-, 20- и 25-парными и позволяют реализовывать «сухое» подключение и вариант с влагоотталкивающим наполнителем. Это продукты AMP STACK серии Mark. На основе модуля существуют и однопроводные варианты.

Для обжима проводов в соединительные модули используются механические приспособления с трещоточным механизмом. Это обеспечивает удобство в работе и большую скорость монтажа. Регулировка механизма позволяет не контролировать глубину обжима и, следовательно, качество контакта. Конструкция инструмента не дает извлечь соединительный модуль до полного обжима проводов. Число гарантированных циклов обжима — порядка 10 000. Приспособления поставляются, как правило, в комплекте с монтажными головками, в которых закрепляется обжимаемый соединитель. В комплект также могут входить планка для крепления монтажных головок, шаблон проверки полярности, инструмент для одиночных жил.

Альтернативные методы соединения коммуникационных линий

Существующие альтернативные технологии основаны на методе холодной усадки и на использовании традиционных свинцовых муфт.

При методе холодной усадки применяется специально подготовленный материал: силикон или резина. Подготовка заключается в предварительном растягивании материала в промышленных условиях и сращивании его с жестким кордом. Корд, как правило, выполняется из пластика и имеет спиралевидную форму. Это обеспечивает требуемые габариты заготовки соединительной муфты. При монтаже муфты производится ее установка и последующее удаление фиксирующего корда. При этом изделие усаживается на место соединения проводов, образуя равномерный электроизолирующий слой. После усадки муфта оказывает на место соединения постоянное радиальное прижимное действие, растягиваясь и сжимаясь вместе с кабелем под воздействием внешних температур. Этим достигается герметичность соединения в течение всего срока его службы. Температурный диапазон усадки таких муфт — от -30 до +60 °С. Технология холодной усадки не требует лицензий и разрешительных документов на специальные виды работ, что расширяет возможный диапазон ее использования. Однако при отрицательных температурах время усадки значительно возрастает, так как необходим предварительный прогрев муфты.

Изделия холодной усадки из силикона характеризуются высокой устойчивостью к ультрафиолетовому излучению, водоотталкивающими свойствами, химической нейтральностью по отношению к большинству агрессивных веществ. Это позволяет использовать их в соединениях, находящихся на открытом воздухе. Минусом является слабая устойчивость к механическому истиранию.



Рис. 4. Свинцовая соединительная муфта

Муфты из подготовленной резины обладают высокой механической прочностью и химической нейтральностью к широкому ряду химических реагентов. Это обеспечивает высокий срок их службы, достигающий 25 лет. Однако ввиду слабой устойчивости к ультрафиолету, резиновые муфты целесообразно использовать в подземных и внутренних коммуникациях.

Свинцовая соединительная муфта представляет собой цилиндр, который надевается на место соединения проводов (рис. 4). Концы цилиндра закруглены с целью прилегания к оболочкам кабелей. Провода соединяются обычным способом, либо с помощью луженых гильз, и изолируются от корпуса муфты. После установки внутреннюю полость муфты заполняют битумным или маслоканифольным составом через отверстия, вырубаемые при монтаже. После окончания заливки отверстия запаиваются. Для увеличения устойчивости к внешним воздействующим факторам свинцовые муфты могут помещаться в пластиковые или чугунные защитные кожухи. Такие муфты соответствуют действующему на территории России ГОСТу 13781.2-77 «Муфты соединительные свинцовые для силовых кабелей на напряжение 1, 6 и 10 кВ. Комплект деталей и монтажных материалов. Технические условия». Технология монтажа свинцовых муфт требует наличия нагревательного оборудования для расплавления заполняющих компонентов, паяльного оборудования для соединения муфты с оболочкой кабеля и закрытия технологических отверстий. Рабочие жидкости и материалы токсичны и не всегда применимы из-за экологических соображений.

Заключение

Сравнивая представленные технологии, у каждой из них можно обнаружить плюсы и минусы.

Свинцовые муфты обладают большой массой, для них необходимо разнопрофильное оборудование (для пайки, нагрева, обжима и т. д.). Используемые в этой технологии материалы (битум, свинец, материалы пайки) не всегда безвредны для окружающей среды. Время монтажа свинцовых соединений достаточно велико. Сам монтаж должны проводить специалисты достаточной квалификации. Ввиду жестких размеров муфт нужно иметь большой запас разных типоразмеров. Для обеспечения требуемых сроков эксплуатации необходимо использовать дополнительные кожухи. К плюсам можно отнести традиционность применения, сравнительно широкую распространенность материалов и комплектующих.

Муфты холодной усадки лишены многих указанных недостатков. Они не требуют специализированного оборудования для установки, монтаж можно проводить в широком температурном диапазоне, материалы муфты при монтаже не наносят вред окружающей среде. Однако существующие материалы для данных технологий обладают некоторыми взаимоисключающими свойствами. Так, силиконовая муфта подвержена воздействиям механических факторов, обладает сравнительно малой прочностью. Муфта из резины достаточно прочна, но на нее оказывает негативное влияние ультрафиолетовое излучение, что ограничивает сферу ее применения или вынуждает использовать дополнительные экраны. Некоторые технологии предполагают использовать для этого термоусаживаемые муфты. При значительных отрицательных температурах скорость процесса холодной усадки значительно снижается, что увеличивает время монтажа.

При работе с термоусаживаемыми муфтами необходимо дополнительное оборудование прогрева, например, газовые горелки, что не всегда, особенно в ограниченном пространстве, безопасно. Однако, при соблюдении элементарных требований безопасности, которые все равно устанавливаются и соблюдаются при любых работах, неприятностей удастся избежать. Использование же данной технологии позволяет: монтировать муфты с высокой скоростью; получать надежное и долговечное соединение, устойчивое к внешним воздействующим факторам; уменьшать затраты на складское хранение за счет возможности использования одного размера муфты для широкого ряда типоразмеров кабелей и практически вечного срока сохраняемости; исключить в работе использование аппаратуры пайки, нагрева наполнителей; исключить из работы экологически грязные материалы; получить соединение, имеющее достаточную гибкость с возможностью использования на участках постоянной деформации, способное работать при избыточном давлении до 60 кПа.

Лидерство термоусаживаемой технологии подтверждается тем, что ее широко используют передовые профильные компании. ■