

Техническое руководство по ремонту и восстановлению внешних защитных оболочек силовых кабелей

Тип документа: Руководство по техническому обслуживанию и ремонту

Материалы оболочек: CPE, TPU, 5GM5

Нормативная база: VDE 0298, IEC 60502

Применение: Горнодобывающие кабели

РАЗДЕЛ 1

Общие положения и область применения

Настоящее техническое руководство устанавливает требования и методические указания по выполнению ремонтно-восстановительных работ внешних защитных оболочек силовых кабелей производства компании Anhui Feichun Special Cable, эксплуатируемых в условиях горнодобывающих предприятий, портовых сооружений и промышленных объектов с повышенными механическими и климатическими нагрузками. Руководство распространяется на кабели с защитными оболочками из хлорированного полиэтилена (CPE), термопластичного полиуретана (TPU) и специализированного тяжелого резинового компаунда типа 5GM5, соответствующих требованиям стандартов VDE 0298 и международных норм безопасности.

❗ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Любые ремонтные работы на кабельных линиях должны выполняться исключительно при полном отключении электропитания и после проведения проверки отсутствия напряжения с помощью сертифицированных измерительных приборов. Производство работ под

напряжением категорически запрещается и может привести к тяжелым травмам персонала или летальному исходу. Перед началом работ необходимо получить наряд-допуск на производство работ в действующих электроустановках и обеспечить выполнение всех организационно-технических мероприятий согласно правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей. Все работники, допускаемые к выполнению ремонтных работ, должны иметь соответствующую квалификационную группу по электробезопасности и пройти инструктаж на рабочем месте.

VDE 0298

IEC 60502

DIN VDE 0250

EN 50525

Функциональное назначение защитных оболочек

Внешняя защитная оболочка кабеля представляет собой критически важный конструктивный элемент, обеспечивающий защиту внутренних слоев кабельной конструкции от механических повреждений, воздействия агрессивных химических сред, проникновения влаги и ультрафиолетового излучения. В условиях эксплуатации горнодобывающего оборудования защитная оболочка подвергается интенсивному абразивному износу при контакте с минеральными частицами, многократным циклам изгиба при работе мобильных механизмов, воздействию нефтепродуктов и смазочных материалов, а также значительным перепадам температуры окружающей среды. Целостность защитной оболочки является определяющим фактором долговременной надежности кабельной линии и безопасности эксплуатации электрооборудования.

Характеристики материалов защитных оболочек

Хлорированный полиэтилен (CPE)

Хлорированный полиэтилен представляет собой модифицированный полимер, получаемый путем замещения части атомов водорода в макромолекулах полиэтилена атомами хлора. Степень хлорирования обычно составляет от тридцати пяти до сорока двух процентов массовых. Данная модификация придает материалу выдающуюся стойкость к воздействию масел, топлив, растворителей и озона, а также обеспечивает самозатухающие свойства. Материал сохраняет эластичность в температурном диапазоне от минус сорока до плюс девяноста градусов Цельсия. Хлорированный полиэтилен применяется в защитных оболочках кабелей, предназначенных для эксплуатации в условиях повышенной концентрации нефтепродуктов и требований к огнестойкости. Материал может быть как

термопластичным, так и вулканизированным в зависимости от технологии производства и целевого назначения кабеля.

Термопластичный полиуретан (TPU)

Термопластичный полиуретан относится к классу блок-сополимеров, состоящих из чередующихся жестких и мягких сегментов макромолекул. Данная структура обеспечивает уникальное сочетание высокой механической прочности при растяжении (до пятидесяти мегапаскалей), исключительной стойкости к истиранию (превосходящей показатели натурального каучука в пять-десять раз) и эластичности в широком температурном диапазоне. Термопластичная природа материала позволяет осуществлять ремонт методом термической сварки без применения химических адгезивов. Полиуретановые оболочки применяются преимущественно в кабелях для мобильного оборудования, подвергающегося интенсивным механическим нагрузкам и частым перемещениям. Материал сохраняет работоспособность при температурах от минус сорока до плюс девяноста градусов Цельсия, а специализированные марки выдерживают кратковременное воздействие температур до ста двадцати градусов Цельсия.

Тяжелый резиновый компаунд 5GM5

Обозначение 5GM5 относится к специализированному классу высоконаполненных вулканизированных резиновых компаундов, разработанных для применения в тяжелых условиях эксплуатации согласно требованиям стандартов VDE. Основу компаунда составляет этиленпропиленовый каучук с добавлением стиролбутадиенового каучука и специальных функциональных добавок, обеспечивающих повышенную стойкость к механическим повреждениям и агрессивным средам. Термореактивная природа материала требует применения специальных методов ремонта, поскольку повторное формование невозможно. Резиновая оболочка типа 5GM5 обеспечивает превосходную стойкость к многократным изгибам, раздавливающим нагрузкам и ударным воздействиям. Материал сохраняет эластичность в диапазоне от минус тридцати до плюс восьмидесяти градусов Цельсия и демонстрирует высокую стойкость к озону, ультрафиолетовому излучению и воздействию подземных вод с различным химическим составом.

Подготовительные мероприятия перед выполнением ремонта

Качество и долговременная надежность ремонта защитной оболочки критическим образом зависят от тщательности выполнения подготовительных операций. Любые отклонения от установленной технологии подготовки поверхности приводят к снижению адгезионной прочности соединения ремонтного материала с основной оболочкой и преждевременному отслоению ремонтного участка в процессе эксплуатации.

Последовательность выполнения подготовительных операций

1

Обеспечение электробезопасности

Кабельная линия должна быть полностью отключена от всех источников электропитания с установкой запирающих устройств на коммутационных аппаратах. После отключения необходимо выполнить проверку отсутствия напряжения с использованием указателя напряжения соответствующего класса или измерительных приборов. Проверка выполняется непосредственно на токоведущих жилах кабеля в месте планируемого ремонта после удаления участка поврежденной оболочки. На коммутационных аппаратах должны быть установлены предупредительные плакаты с надписью "Не включать - работают люди". При работе в подземных выработках необходимо дополнительно обеспечить наличие средств аварийной сигнализации и эвакуации персонала.

2

Оценка степени и характера повреждения

Визуальный осмотр поврежденного участка кабеля должен обеспечить точное определение глубины проникновения повреждения в конструкцию кабеля и оценку состояния подлежащих слоев. Повреждения классифицируются на поверхностные (затрагивающие только внешний слой защитной оболочки на глубину менее пятидесяти процентов номинальной толщины), глубокие (с повреждением оболочки на всю толщину, но без нарушения целостности металлического экрана или брони) и критические (с повреждением экранирующих элементов, брони или изоляции токоведущих жил). В случае

критических повреждений требуется выполнение комплексного ремонта с восстановлением всех поврежденных конструктивных элементов согласно специализированным технологическим картам. Для точной оценки глубины повреждения рекомендуется использовать измерительный инструмент (штангенциркуль, микрометр) после очистки поврежденного участка.

3

Очистка и обезжиривание поверхности

Поврежденный участок кабеля и прилегающая зона радиусом не менее ста пятидесяти миллиметров от границ повреждения должны быть тщательно очищены от всех видов загрязнений. Первичная очистка выполняется механическим способом с использованием щеток с неметаллической щетиной для удаления крупных частиц минералов, угольной пыли и других твердых загрязнений. Последующая обработка осуществляется с применением специализированных очищающих составов на основе изопропилового спирта, этилового спирта крепостью не менее девяноста пяти процентов или промышленных обезжиривателей, совместимых с материалом оболочки. Использование бензина, керосина или других нефтяных растворителей не допускается, поскольку они могут вызвать набухание полимерного материала и снижение адгезии. Очистка выполняется путем протирания поверхности безворсовыми салфетками, смоченными в очищающем составе, с периодической заменой салфеток до достижения визуально чистой поверхности. После обезжиривания необходимо обеспечить полное испарение очищающего состава перед переходом к следующему этапу.

4

Механическая подготовка поверхности

Для обеспечения максимальной адгезионной прочности соединения ремонтного материала с основной оболочкой необходимо создать шероховатую поверхность с развитым микрорельефом и сформировать скошенные кромки в зоне повреждения. Края поврежденного участка обрабатываются абразивным инструментом (шлифовальная машина с регулируемой частотой вращения, напильник, абразивная шкурка зернистостью от восьмидесяти до ста двадцати единиц) для формирования плавного перехода от неповрежденной оболочки к зоне дефекта. Угол скоса должен составлять от тридцати до сорока пяти градусов относительно поверхности кабеля, что обеспечивает постепенное распределение механических напряжений в зоне стыка. Поверхность неповрежденной оболочки в зоне перекрытия ремонтным материалом также подвергается абразивной обработке для создания шероховатости и удаления поверхностного слоя с возможными загрязнениями или продуктами окисления. При обработке

термопластичных материалов (CPE, TPU) необходимо избегать чрезмерного нагрева поверхности, который может привести к оплавлению и формированию гладкого слоя с низкой адгезией. После завершения механической обработки необходимо удалить образовавшуюся пыль и частицы абразива с помощью сжатого воздуха или вакуумного пылесоса с последующей протиркой очищающим составом.

Поверхностное повреждение

Характеристика: Нарушение целостности защитной оболочки на глубину менее пятидесяти процентов номинальной толщины. Металлический экран, броня и изоляция токоведущих жил не затронуты повреждением.

Допустимые методы ремонта:

Применение самовулканизирующихся лент, холодная вулканизация эластомерными компаундами, установка термоусаживаемых трубок с клеевым подслоем для небольших участков повреждения.

Требования к эксплуатации после

ремонта: Отремонтированный кабель может использоваться в прежних условиях эксплуатации без ограничений при условии соблюдения технологии ремонта и прохождения контрольных испытаний.

Глубокое повреждение

Характеристика: Сквозное нарушение защитной оболочки с обнажением металлических экранирующих элементов, бронепокрова или наружной поверхности изоляции токоведущих жил. При этом экран и изоляция сохраняют целостность без видимых механических дефектов.

Допустимые методы ремонта:

Предварительное восстановление защитного покрытия металлических элементов антикоррозионными составами с последующим многослойным восстановлением оболочки методами горячей или холодной вулканизации. Для кабелей с полимерной броней - послойное восстановление с применением армирующих материалов.

Требования к эксплуатации после

ремонта: Необходимо выполнение расширенного комплекса испытаний, включая измерение сопротивления изоляции, испытание повышенным напряжением и оценку герметичности. Рекомендуется внесение информации о ремонте в паспорт кабельной линии с

указанием

координат

отремонтированного участка.

Техническое примечание: При обнаружении признаков коррозии металлических экранов или бронепокрова в зоне повреждения необходимо выполнить антикоррозионную обработку специализированными защитными составами на основе цинконаполненных композиций или эпоксидных грунтовок перед восстановлением защитной оболочки. Игнорирование данного требования приведет к продолжению коррозионного процесса под восстановленной оболочкой и преждевременному выходу кабеля из строя.

РАЗДЕЛ 3

Технология ремонта оболочек из тяжелого резинового компаунда 5GM5

Резиновые компаунды типа 5GM5 представляют собой термореактивные эластомерные материалы с трехмерной сетчатой структурой, образующейся в результате вулканизации. Термореактивная природа материала исключает возможность повторного размягчения при нагреве, что определяет специфику методов ремонта.

Рекомендуемые ремонтные материалы

Для восстановления целостности оболочек из резинового компаунда 5GM5 рекомендуется применение холодной вулканизации с использованием специализированных двухкомпонентных эластомерных компаундов или самовулканизирующихся (самоамальгамирующихся) резиновых лент. Оптимальным выбором являются материалы на основе бутилкаучука или этиленпропиленового каучука, обеспечивающие хорошую совместимость с базовым материалом оболочки. Среди промышленно выпускаемых продуктов рекомендуются самовулканизирующиеся ленты производства компании 3M серии Scotch 82 или аналогичные материалы других производителей с подтвержденными техническими характеристиками. Важным

требованием является обеспечение механической прочности и эластичности ремонтного слоя, сопоставимых с характеристиками основного материала оболочки.

Технологический процесс выполнения ремонта

1

Заполнение зоны повреждения

После выполнения подготовительных операций согласно разделу два настоящего руководства производится заполнение сформированного V-образного углубления в зоне повреждения. Для заполнения применяется самовулканизирующаяся резиновая лента, которая наматывается послойно с натяжением, обеспечивающим плотное прилегание к поверхности кабеля и вытеснение воздушных включений. Каждый последующий виток ленты должен перекрывать предыдущий на пятьдесят процентов ширины для обеспечения многослойной структуры и исключения формирования зазоров. Процесс заполнения продолжается до достижения уровня, соответствующего наружному диаметру неповрежденной части кабеля. При намотке необходимо обеспечивать равномерное натяжение ленты по всей длине зоны ремонта, избегая чрезмерного растяжения, которое может привести к остаточным деформациям после завершения вулканизации. Процесс самовулканизации активируется при контакте слоев ленты между собой, образуя монолитную структуру в течение от двадцати четырех до сорока восьми часов при температуре окружающей среды от пятнадцати до двадцати пяти градусов Цельсия.

2

Формирование защитного слоя

Поверх заполненной зоны повреждения наматывается дополнительный защитный слой из самовулканизирующейся ленты, обеспечивающий восстановление первоначальной толщины защитной оболочки на всем протяжении зоны ремонта. Намотка защитного слоя начинается на расстоянии не менее пятидесяти миллиметров от границы поврежденного участка на неповрежденную часть оболочки, обеспечивая зону перекрытия для надежной герметизации. Лента наматывается с перекрытием пятьдесят процентов ширины в направлении от неповрежденной части к центру зоны ремонта и обратно, формируя многослойную структуру. Количество слоев определяется необходимостью восстановления номинальной толщины оболочки, обычно требуется от трех до пяти слоев в зависимости от ширины применяемой ленты и

исходной толщины оболочки. В процессе намотки необходимо обеспечивать плотное прилегание каждого витка с вытеснением воздушных пузырей, которые могут служить очагами накопления влаги и инициирования коррозионных процессов.

3

Установка износостойкого защитного покрытия

Для обеспечения долговременной эксплуатационной надежности отремонтированного участка в условиях абразивного износа и механических воздействий рекомендуется нанесение дополнительного внешнего защитного слоя. В качестве защитного материала применяются специализированные износостойкие ленты на тканевой основе с резиновым или полимерным покрытием, обеспечивающие повышенную стойкость к истиранию. Альтернативным вариантом является применение термоусаживаемых трубок большого диаметра с клеевым внутренним слоем, которые после установки и термической усадки формируют герметичное защитное покрытие. Защитный слой должен перекрывать зону основного ремонта с заходом на неповрежденную оболочку не менее семидесяти пяти миллиметров с каждой стороны. Особое внимание необходимо уделить обеспечению плавного перехода толщины на границах зоны ремонта, поскольку резкие перепады диаметра создают концентраторы механических напряжений и могут привести к повреждению при изгибе кабеля или намотке на барабан.

4

Выдержка и контроль качества

После завершения намотки всех слоев ремонтного материала необходимо обеспечить период технологической выдержки для завершения процессов самовулканизации и формирования окончательной структуры ремонтного слоя. Минимальная продолжительность выдержки при температуре окружающей среды от пятнадцати до двадцати пяти градусов Цельсия составляет двадцать четыре часа. При пониженных температурах окружающей среды (от пяти до пятнадцати градусов Цельсия) период выдержки следует увеличить до сорока восьми часов. Эксплуатация кабеля до завершения процесса вулканизации не допускается. После окончания периода выдержки производится визуальный контроль качества ремонта, включающий проверку отсутствия отслоений, воздушных пузырей, складок и других видимых дефектов. Особое внимание уделяется состоянию краевых зон, где происходит переход от ремонтного материала к основной оболочке.

ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕМОНТА

Качество самовулканизации существенно зависит от температурно-влажностных условий окружающей среды. Оптимальная температура для выполнения ремонтных работ находится в диапазоне от пятнадцати до двадцати пяти градусов Цельсия при относительной влажности воздуха не более семидесяти пяти процентов. При температуре ниже пяти градусов Цельсия самовулканизирующиеся материалы теряют эластичность и адгезионные свойства, что делает невозможным качественное выполнение ремонта. В таких условиях необходимо обеспечить локальный подогрев зоны ремонта с использованием тепловых пушек или организовать временное теплоизолированное укрытие вокруг места производства работ. При выполнении ремонта в условиях повышенной влажности или наличия атмосферных осадков необходимо обеспечить защиту зоны ремонта от прямого воздействия воды и обеспечить возможность полного высыхания поверхности кабеля перед началом намотки ремонтных материалов.

ТЕМПЕРАТУРА
ПРИМЕНЕНИЯ

15-25°C

ВРЕМЯ ВУЛКАНИЗАЦИИ

24-48 часов

ПЕРЕКРЫТИЕ ВИТКОВ

50%

ЗОНА ЗАХОДА

≥50 мм

РАЗДЕЛ 4

Технология ремонта оболочек из термопластичного полиуретана (TPU)

Термопластичная природа полиуретана позволяет осуществлять ремонт методом термической сварки, обеспечивающим формирование монолитного соединения ремонтного материала с основной оболочкой на молекулярном уровне. Данный метод обеспечивает максимальную прочность и долговечность ремонта при условии строгого соблюдения технологических параметров процесса.

Материалы и оборудование для ремонта

Для выполнения качественного ремонта оболочек из термопластичного полиуретана требуется применение сварочных прутков или предварительно изготовленных ремонтных накладок из полиуретана того же типа и твердости по шкале Шор А, что и материал основной оболочки. Информация о типе и твердости полиуретана обычно указывается в технической документации на кабель или может быть определена инструментальными методами. Сварка осуществляется с использованием промышленного фена горячего воздуха с возможностью регулирования температуры в диапазоне от ста восьмидесяти до трехсот градусов Цельсия и регулируемым расходом воздуха. Дополнительно требуется прижимной ролик с силиконовым или тефлоновым покрытием для уплотнения сварного шва и вытеснения воздушных включений.

Последовательность операций термической сварки

1

Подготовка сварочного оборудования

Промышленный фен настраивается на рабочую температуру в диапазоне от двухсот до двухсот пятидесяти градусов Цельсия. Конкретное значение температуры определяется маркой полиуретана и условиями выполнения работ. Для полиуретанов стандартной твердости (от восьмидесяти до девяноста пяти единиц по шкале Шор А) оптимальная температура составляет двести двадцать градусов Цельсия. Перед началом работы необходимо выполнить тестовую сварку на образце материала или в малозначимой зоне кабеля для проверки правильности настройки температурного режима. Признаками правильно выбранной температуры являются образование гладкого блестящего шва без признаков обугливания или образования пузырей. Недостаточная температура приводит к неполному расплавлению материала и слабой адгезии, в то время как чрезмерная температура вызывает термическую деструкцию полимера с образованием пористой структуры и потерей механической прочности.

2

Заполнение V-образного углубления сварочным прутком

Сварочный пруток из термопластичного полиуретана подается в подготовленное V-образное углубление одновременно с направлением потока горячего воздуха

на зону сварки. Температура воздушного потока должна обеспечивать одновременное расплавление поверхности основной оболочки в зоне скоса и материала сварочного прутка. Пруток подается с постоянной скоростью, обеспечивающей равномерное заполнение углубления без формирования пустот или чрезмерного наплыва материала. Сварка выполняется послойно с толщиной каждого слоя от двух до трех миллиметров. После нанесения каждого слоя производится его уплотнение прижимным роликом в направлении от краев к центру для вытеснения воздушных включений и обеспечения плотного контакта с поверхностью основной оболочки. Процесс послойного заполнения продолжается до полного восстановления профиля оболочки с небольшим избытком материала (от одного до двух миллиметров) над поверхностью неповрежденной части кабеля для последующей механической обработки.

3

Механическая обработка отремонтированного участка

После полного охлаждения отремонтированного участка до температуры окружающей среды (продолжительность охлаждения составляет от тридцати до шестидесяти минут в зависимости от объема наплавленного материала) производится финишная механическая обработка для удаления избытков материала и формирования гладкой цилиндрической поверхности. Обработка выполняется с использованием острого ножа или специального скребка с последующей финишной шлифовкой абразивной шкуркой зернистостью сто восемьдесят - двести сорок единиц. Целью механической обработки является обеспечение плавного перехода от отремонтированной зоны к неповрежденной оболочке без ступенек или выступов, которые могут стать концентраторами механических напряжений при изгибе кабеля или причиной зацепления при намотке на барабан или прохождении через направляющие ролики. Особое внимание следует уделить обеспечению соосности отремонтированного участка с продольной осью кабеля, поскольку даже незначительное радиальное смещение создает дополнительные изгибающие нагрузки при эксплуатации.

4

Контроль качества сварного соединения

Качество выполненного ремонта оценивается визуальным осмотром и инструментальными методами контроля. Визуальный осмотр должен подтвердить отсутствие видимых дефектов в виде пор, раковин, непроваров, трещин или отслоений на границе соединения ремонтного материала с основной оболочкой. Поверхность отремонтированного участка должна быть гладкой, однородного цвета без обугленных участков или изменения окраски, свидетельствующих о термической деструкции материала. Инструментальный

контроль включает измерение диаметра кабеля в зоне ремонта и сравнение с номинальными значениями (допустимое отклонение не должно превышать плюс-минус пять процентов). Дополнительно рекомендуется проведение испытания на изгиб путем многократного сгибания отремонтированного участка с радиусом, соответствующим минимально допустимому для данного типа кабеля. Отсутствие трещин, отслоений или других видимых повреждений после десяти циклов изгиба подтверждает достаточное качество ремонта.

❗ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНОЕ ПРЕДОСТЕРЕЖЕНИЕ

Термопластичный полиуретан проявляет повышенную чувствительность к присутствию влаги при температурах, превышающих сто градусов Цельсия. Наличие даже незначительного количества воды на поверхности материала при нагреве до температуры сварки приводит к гидролитической деструкции полимера с образованием углекислого газа и формированием пористой структуры с крайне низкими механическими свойствами. Перед началом сварочных работ необходимо убедиться в полном отсутствии влаги на поверхности кабеля и сварочного материала. При необходимости следует выполнить предварительную сушку зоны ремонта потоком теплого воздуха температурой от сорока до шестидесяти градусов Цельсия в течение от десяти до пятнадцати минут. Выполнение сварочных работ в условиях атмосферных осадков или при относительной влажности воздуха выше восьмидесяти пяти процентов без организации защитного укрытия категорически не допускается.

ТЕМПЕРАТУРА СВАРКИ

200-250°C

ТОЛЩИНА СЛОЯ

2-3 мм

ВРЕМЯ ОХЛАЖДЕНИЯ

30-60 минут

МАКС. ВЛАЖНОСТЬ

<85%

Технология ремонта оболочек из хлорированного полиэтилена (СРЕ)

Хлорированный полиэтилен может применяться как в термопластичной, так и в вулканизированной форме в зависимости от конструкции кабеля и требований к эксплуатационным характеристикам. Для оболочек из термопластичного хлорированного полиэтилена оптимальным методом ремонта является применение термоусаживаемых трубок с клеевым подслоем, обеспечивающих герметичное восстановление защитного слоя. Для вулканизированных оболочек применяются методы холодной вулканизации, аналогичные описанным для резиновых компаундов типа 5GM5.

Применение термоусаживаемых трубок для ремонта

Термоусаживаемые трубки представляют собой полимерные изделия, изготовленные из сшитого полиэтилена или других термопластичных материалов, предварительно растянутые в радиальном направлении в процессе производства. При нагреве до температуры активации усадки (обычно от ста до ста двадцати градусов Цельсия) материал трубки стремится вернуться к исходным размерам, обеспечивая плотное облегание поверхности кабеля. Внутренняя поверхность трубок покрыта слоем термоактивируемого клея-герметика на основе модифицированных полиэфиров или полиамидов, который при нагреве размягчается и заполняет микронеровности поверхности, обеспечивая герметичное соединение.

Технология установки термоусаживаемых трубок

1

Выбор и предварительная установка термоусаживаемой трубки

Диаметр термоусаживаемой трубки в исходном состоянии должен обеспечивать возможность свободного надевания на кабель с запасом от десяти до двадцати процентов относительно наружного диаметра кабеля. Коэффициент усадки трубки (отношение диаметра до усадки к диаметру после усадки) должен быть не менее трех к одному для обеспечения плотного облегания. Длина трубки выбирается с учетом необходимости перекрытия зоны повреждения с заходом на неповрежденную оболочку не менее ста миллиметров с каждой стороны. Перед установкой трубки на кабель необходимо убедиться в отсутствии на поверхности кабеля острых выступов, заусенцев или других дефектов, которые могут

повредить внутренний клеевой слой трубки при надевании. Трубка надевается на кабель и позиционируется симметрично относительно центра зоны повреждения с равными зонами перекрытия с обеих сторон.

2

Заполнение зоны повреждения герметизирующим компаундом

Для обеспечения механической прочности отремонтированного участка и предотвращения формирования пустот под термоусаживаемой трубкой необходимо предварительно заполнить зону повреждения герметизирующим материалом. В качестве заполнителя применяются специализированные мастики на основе бутилкаучука, полиуретана или силиконовых компаундов, обладающие адгезией к материалу оболочки кабеля и сохраняющие эластичность в широком температурном диапазоне. Мастика наносится шпателем или специальным аппликатором, полностью заполняя V-образное углубление с небольшим избытком материала. Важно обеспечить отсутствие воздушных включений в массе мастики, которые снижают механическую прочность и могут служить путями проникновения влаги. После нанесения мастики производится выдержка в течение времени, указанного производителем материала (обычно от пятнадцати до тридцати минут), для частичной полимеризации и приобретения необходимой вязкости.

3

Термическая усадка трубки

Нагрев термоусаживаемой трубки осуществляется с использованием газовой горелки, промышленного фена или специализированной установки для усадки трубок. При использовании открытого пламени газовой горелки необходимо соблюдать осторожность для предотвращения локального перегрева и повреждения материала трубки. Пламя должно находиться на расстоянии от двухсот до трехсот миллиметров от поверхности трубки и перемещаться равномерными движениями по всей длине зоны ремонта. Нагрев начинается с центральной части трубки и продолжается в направлении к краям, что обеспечивает вытеснение воздуха из-под трубки и предотвращает формирование воздушных пузырей. Признаком завершения усадки является появление клея-герметика на краях трубки, что свидетельствует о полном прилегании и герметизации соединения. После завершения усадки необходимо дать трубке остыть до температуры окружающей среды без механических воздействий. Продолжительность охлаждения составляет от двадцати до сорока минут.

Контроль герметичности соединения

4

После охлаждения производится визуальный контроль качества усадки и герметизации. Наличие выступившего клея-герметика по всему периметру краев трубки подтверждает достижение полной герметичности. Отсутствие выступившего клея на отдельных участках свидетельствует о неполной усадке или наличии загрязнений на поверхности кабеля, препятствующих адгезии. В таких случаях рекомендуется нанесение дополнительного слоя герметизирующей мастики на проблемные участки или установка второй термоусаживаемой трубки поверх первой с перекрытием проблемных зон. Поверхность отремонтированного участка должна быть гладкой, без складок, пузырей или других видимых дефектов. Наличие складок свидетельствует о недостаточном нагреве при усадке, в то время как пузыри указывают на наличие воздушных или газовых включений под трубкой.

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНОУСАЖИВАЕМЫХ ТРУБОК КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО МЕТОДА

Для ремонта в полевых условиях при отсутствии источников тепла или в ситуациях, когда применение открытого пламени недопустимо по соображениям взрывобезопасности, рекомендуется использование холодноусаживаемых трубок. Данные изделия представляют собой эластомерные трубки (обычно из силиконового каучука или этиленпропиленового каучука), предварительно растянутые и установленные на разборный пластиковый сердечник спиральной конструкции. Для установки холодноусаживаемая трубка надевается на кабель вместе с сердечником, позиционируется в требуемом месте, после чего сердечник удаляется путем вытягивания спирали. После удаления сердечника эластомерная трубка под действием собственной упругости обжимает кабель, обеспечивая герметичное соединение без применения нагрева. Преимуществом холодноусаживаемых трубок является простота установки и отсутствие риска термического повреждения изоляции кабеля. Недостатком является более высокая стоимость по сравнению с термоусаживаемыми трубками и ограниченный срок хранения, поскольку эластомерные материалы подвержены старению при длительном хранении в растянутом состоянии.

Техническое примечание: При выборе типа термоусаживаемой трубки необходимо учитывать условия эксплуатации кабеля. Для кабелей, эксплуатируемых в условиях прямого воздействия ультрафиолетового излучения, следует применять трубки из материалов с УФ-стабилизаторами или с дополнительным защитным покрытием. Для кабелей, подвергающихся воздействию масел и нефтепродуктов, необходимо использовать трубки из материалов с повышенной химической

стойкостью. Информация о стойкости материала трубки к различным воздействующим факторам указывается в технической документации производителя.

ТЕМПЕРАТУРА УСАДКИ

100-120°C

КОЭФФИЦИЕНТ УСАДКИ

≥3:1

ЗОНА ПЕРЕКРЫТИЯ

≥100 мм

ВРЕМЯ ОХЛАЖДЕНИЯ

20-40 минут

РАЗДЕЛ 6

Контроль качества и приемочные испытания отремонтированных кабелей

Восстановленный участок кабеля должен пройти комплекс контрольных испытаний перед допуском к эксплуатации для подтверждения соответствия эксплуатационным требованиям и обеспечения безопасности персонала.

ВИД ИСПЫТАНИЯ	КРИТЕРИИ ПРИЕМКИ	МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
Визуальный контроль	Отремонтированный участок не должен иметь видимых дефектов в виде трещин, пузырей, отслоений, складок или других нарушений целостности. Края зоны ремонта должны обеспечивать плавный переход к неповрежденной оболочке без ступенек или выступов.	Осмотр выполняется при естественном освещении или с использованием источника локального освещения. Особое внимание уделяется краевым зонам, где происходит переход от ремонтного материала к основной оболочке. Рекомендуется использование лупы с увеличением от двух до

ВИД ИСПЫТАНИЯ	КРИТЕРИИ ПРИЕМКИ	МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
Испытание на водонепроницаемость (тест погружением)	После выдержки отремонтированного участка кабеля в воде при температуре от пятнадцати до двадцати пяти градусов Цельсия в течение двадцати четырех часов измеренное значение сопротивления изоляции токоведущих жил не должно снижаться более чем на пятнадцать процентов относительно значения, измеренного до погружения.	четырех крат для детального осмотра критических участков. Испытание является обязательным для кабелей, эксплуатируемых в условиях прямого контакта с водой, повышенной влажности или атмосферных осадков. Измерение сопротивления изоляции выполняется мегаомметром на напряжение от пятисот до тысячи вольт постоянного тока. Перед испытанием необходимо обеспечить полное высыхание поверхности кабеля. Значительное снижение сопротивления изоляции свидетельствует о негерметичности отремонтированного участка и проникновении влаги к токоведущим элементам кабеля.
Испытание на изгиб	При выполнении десяти полных циклов изгиба отремонтированного участка с радиусом, равным минимально допустимому для данного типа кабеля согласно технической документации, не должно наблюдаться образования трещин, отслоений ремонтного	Испытание является критически важным для кабелей мобильного оборудования и гибких кабелей, подвергающихся частым перемещениям. Минимально допустимый радиус изгиба обычно составляет от пятнадцати до двадцати диаметров кабеля для кабелей с резиновой

ВИД ИСПЫТАНИЯ	КРИТЕРИИ ПРИЕМКИ	МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
	материала или других видимых повреждений.	изоляция и от двадцати до тридцати диаметров для кабелей с полиэтиленовой изоляцией. При отсутствии данных в технической документации следует применять консервативное значение радиуса изгиба, равное двадцати пяти диаметрам кабеля.
Испытание повышенным напряжением переменного тока	При приложении испытательного напряжения, равного двум с половиной кратному номинальному рабочему напряжению кабеля (но не менее одной тысячи пятисот вольт), в течение пяти минут не должно происходить пробоя изоляции или возникновения устойчивых частичных разрядов.	Испытание выполняется только для кабелей среднего и высокого напряжения (номинальное напряжение от трех киловольт и выше) при условии, что в процессе ремонта производилось вскрытие металлических экранирующих элементов или существует риск повреждения изоляции токоведущих жил. Испытание должно выполняться квалифицированным персоналом с соблюдением требований безопасности при работе с высоким напряжением. Перед испытанием необходимо убедиться в отсутствии персонала в опасной зоне и установить предупреждающие знаки.

Документирование результатов ремонта

По завершении ремонтных работ и успешного прохождения контрольных испытаний рекомендуется внесение информации о выполненном ремонте в эксплуатационную документацию кабельной линии. Запись должна содержать следующую информацию: дату выполнения ремонта, точное местоположение отремонтированного участка с указанием координат или привязки к характерным объектам, характер и размеры первоначального повреждения, примененные материалы и методы ремонта, результаты контрольных испытаний, фамилию и подпись ответственного исполнителя работ. Данная информация позволяет осуществлять мониторинг состояния кабельных линий и планировать профилактические мероприятия. Для кабелей ответственного назначения рекомендуется выполнение фотофиксации зоны повреждения до и после ремонта.

Контрольный перечень приемки отремонтированного кабеля

- ☐ Визуальный осмотр подтвердил отсутствие трещин, пузырей, отслоений и других дефектов на поверхности отремонтированного участка
- ☐ Обеспечена плавность перехода от зоны ремонта к неповрежденной оболочке без ступенек и выступов, которые могут вызвать зацепление при эксплуатации
- ☐ Выполнено испытание на водонепроницаемость методом погружения с подтверждением сохранения сопротивления изоляции в пределах допустимых значений
- ☐ Проведено циклическое испытание на изгиб с подтверждением отсутствия повреждений отремонтированного участка
- ☐ Для кабелей среднего и высокого напряжения выполнено испытание повышенным напряжением переменного тока без пробоя изоляции
- ☐ Результаты ремонта и испытаний внесены в эксплуатационную документацию с указанием всех необходимых сведений

- ☐ Отремонтированный участок промаркирован несмываемой краской или установлена идентификационная бирка для облегчения мониторинга состояния

РАЗДЕЛ 7

Преимущества кабельной продукции Anhui Feichun и особенности ремонтпригодности

Кабели производства компании Anhui Feichun Special Cable проектируются и изготавливаются с учетом требований к долговременной эксплуатации в суровых условиях горнодобывающей промышленности и возможности выполнения качественного ремонта при локальных повреждениях защитных оболочек.

Конструктивные особенности, облегчающие ремонт

Защитные оболочки кабелей Feichun изготавливаются из высококачественных материалов с оптимизированными составами компаундов, обеспечивающими превосходную адгезию к ремонтным материалам. Толщина защитных оболочек выбирается с запасом относительно минимальных требований стандартов, что обеспечивает возможность выполнения качественного ремонта даже при значительной глубине повреждения. Применение современных стабилизаторов и антиоксидантов в составе полимерных компаундов обеспечивает долговременную стабильность свойств материала и минимальное старение в процессе эксплуатации, что критически важно для обеспечения адгезии при выполнении ремонта на кабелях, находившихся в эксплуатации в течение длительного времени. Специальная рецептура материалов обеспечивает совместимость с широким спектром промышленно выпускаемых ремонтных материалов, включая самовулканизирующиеся ленты различных производителей, термоусаживаемые трубки и двухкомпонентные герметизирующие компаунды.

ПОВЫШЕННАЯ СТОЙКОСТЬ К ПОВТОРНЫМ РЕМОНТАМ

Высокое качество базовых материалов и оптимизированная технология вулканизации обеспечивают кабелям Feichun способность выдерживать несколько циклов ремонта на протяжении срока службы без критической деградации механических и электрических характеристик. Это особенно важно для кабелей мобильного оборудования, которые в процессе эксплуатации могут подвергаться повторным локальным повреждениям в различных участках. Сохранение прочностных свойств материала оболочки после длительной эксплуатации обеспечивает возможность формирования качественных сколов и получения шероховатой поверхности при подготовке к ремонту, что критически важно для достижения требуемой адгезионной прочности соединения ремонтного материала с основной оболочкой.

СОВМЕСТИМОСТЬ С МЕЖДУНАРОДНЫМИ СТАНДАРТАМИ

Все материалы защитных оболочек кабелей Feichun соответствуют требованиям международных стандартов VDE 0298, IEC 60502 и других нормативных документов, что обеспечивает возможность применения стандартизированных методов ремонта и широко доступных ремонтных материалов. Это критически важно для объектов, расположенных в удаленных регионах, где доступ к специализированным материалам может быть ограничен. Соответствие международным стандартам также упрощает сертификацию отремонтированных кабелей и получение разрешений на ввод в эксплуатацию от надзорных органов.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА И КОНСУЛЬТАЦИОННЫЕ УСЛУГИ

Компания Anhui Feichun Special Cable предоставляет своим клиентам комплексную техническую поддержку по вопросам ремонта и обслуживания кабельной продукции. Квалифицированные специалисты компании готовы предоставить консультации по выбору оптимальных методов и материалов для ремонта конкретных типов кабелей с учетом условий эксплуатации и характера повреждений. При необходимости возможно направление специалистов компании на объект заказчика для проведения обучения персонала методам ремонта или непосредственного участия в выполнении сложных ремонтных работ. Данный подход обеспечивает максимальную эффективность инвестиций в кабельную инфраструктуру и продлевает срок службы кабельных линий.