

# ТЕХНОЛОГИЯ ИЗОЛИРОВАНИЯ КАБЕЛЕЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ\*

*Качество кабеля среднего напряжения зависит от качества изоляционных материалов, в частности от чистоты сшиваемого полиэтилена высокого давления. Процессы экструзии и сшивки изоляции должны рассматриваться как важнейшие аспекты качества, которое можно обеспечить только в том случае, если производство с самого начала организовано правильно. В этой статье дан обзор хорошей организации производства на основе опыта эксплуатации линий наклонной вулканизации для изолирования кабеля с применением пероксидной сшивки.*

## 1. Введение

За последние 30 лет представления о качестве кабелей среднего напряжения значительно эволюционировали в сторону ужесточения требований.

В настоящее время для изготовления изолированной жилы таких кабелей широко применяются наклонные линии вулканизации. Экструзионная группа такой линии представлена на рис. 1. Наложение всех

трех слоев (экран – изоляция – экран) с помощью одной головки дало значительный эффект в части повышения качества кабелей. Уровень чистоты материалов за последнее время также повысился.

Вулканизацию изоляции проводят теперь в среде азота, который пришел на смену водяному пару. Новые конструкции кабеля более защищены от попадания влаги.

Надежность кабелей среднего напряжения определяется выполнением производителем следующих требований к технологии изолирования:

- 1) чистота изоляции;
- 2) однородность изоляции;
- 3) гладкая поверхность раздела между экранами и изоляцией;
- 4) достаточная степень сшивки;
- 5) обеспечение соответствующей толщины изоляции.

Ниже рассмотрены условия, обеспечивающие выполнение указанных требований.

## 2. Требования к изоляционной системе

### 2.1. Чистота изоляции

#### 2.1.1. Сушка и подача материалов изоляции

Как упоминалось ранее, за последнее время требования к чистоте изоляции значительно возросли. Для поддержания материала сухим и чистым в процессе наложения изоляции важную роль играет система подачи.

Электропроводящие и изоляционные материалы должны храниться в надлежащих условиях. До подачи в экструдер емкости с материалом изоляции должны содержаться в «чистой комнате» с классом чистоты 10 000 и открываться в «чистой комнате» с классом 1000. Затем материал подается пневматически или под собственным весом в экструдер. Использование подачи под собственным весом позволяет исключить образование лентообразных включений и порошка, образующихся из-за высокоскоростного перемещения гранул вдоль трубопроводов пневматической системы транспортировки.

Перед подачей в экструдеры электропроводящий материал должен быть просушен. Сушка произ-



Рис. 1. Экструзионная группа наклонной линии вулканизации

\* По материалам научно-технического симпозиума, проводимого в рамках работы выставки «WIRE Russia 2005»

водится в специальных устройствах. Работа с электропроводящими материалами проводится в «чистых комнатах» с классом чистоты 10 000.

### 2.1.2. Фильтрация материалов

Чтобы предотвратить попадание инородных частиц из экструдера в головку и затем в изоляцию, применяются сетки с отверстиями различных размеров. Они помещаются между наконечником шнека и головкой (рис. 2). Так, для кабелей среднего напряжения используются пакеты сеток до 150 меш. Это позволяет отсеять частицы более 100 мкм. В то же время при производстве кабелей сверхвысокого напряжения требуется применение сеток с разрешением до 400 меш.

## 2.2. Однородность изоляции

### 2.2.1. Преждевременная вулканизация («скорчинг»)

Температура разложения перекиси дикумила (DI-CUP) довольно низкая, следовательно, температура экструзии также должна быть низкой (обычно ниже 140 °С), что близко к точке плавления полиэтилена, равной примерно 105 °С. Однородность расплава обеспечивается высокоточным контролем температуры, эффективным охлаждением экструдера и соответствующей конструкцией шнека.

Для предотвращения преждевременной вулканизации в экструдере, переходнике, сетках или головке конструкция этих элементов должна быть выполнена таким образом, чтобы не допускалось возникно-

вление зон застоя больше 150 мкм и время пребывания в данных элементах больше 30 мин.

Температура головки должна поддерживаться на уровне 120 °С.

### 2.2.2. Пустоты

В настоящее время процесс сшивки осуществляется в сухой среде (в азоте), что делает минимальным риск проникновения влаги в изоляцию. Разложение пероксида в процессе сшивки приводит к образованию летучих продуктов, которые могут вызвать появление пустот в случае, если процесс становится неконтролируемым. Это явление можно предотвратить путем создания давления величиной не менее 5 бар в трубе вулканизации и поддержания надлежащих условий сшивки, для чего в линиях Mallefer применяется система моделирования процесса вулканизации «NCC». Например, одно из условий отсутствия пустот – поддержание температуры проводника на выходе из концевой затвора трубы охлаждения не более 100 °С.

## 2.3. Гладкая граница раздела

### 2.3.1. Конструкция шнека

Однородность расплава является основным требованием для обеспечения гладкой границы раздела между изоляцией и экранами. Это может быть достигнуто за счет применения специального шнека барьерного типа.

### 2.3.2. Экструзионная головка

Ключевыми факторами, позволяющими избежать застоя материала в головке, являются конструкция каналов головки, создающая условия для определенной скорости сдвига, и правильное расположение каналов терморегулирования.

Кроме того, гладкую границу раздела обеспечивают правильно подобранные форма и размер формирующего инструмента.

## 2.4. Сшивка

### 2.4.1. «NCC»: моделирование температуры и сшивки по длине линии

Для эффективного использования линий вулканизации необходим квалифицированный персонал, знакомый с характеристиками и ограничениями процесса вулканизации. Измерить температуру поверхности жилы и степень сшивки непосредственно во время производства, к сожалению, невозможно. Именно поэтому программа моделирования и оптимизации процесса, созданная на основе полученных опытным путем знаний и связанная с автоматизацией линии, является очень важной. Система моделирования «открыва-

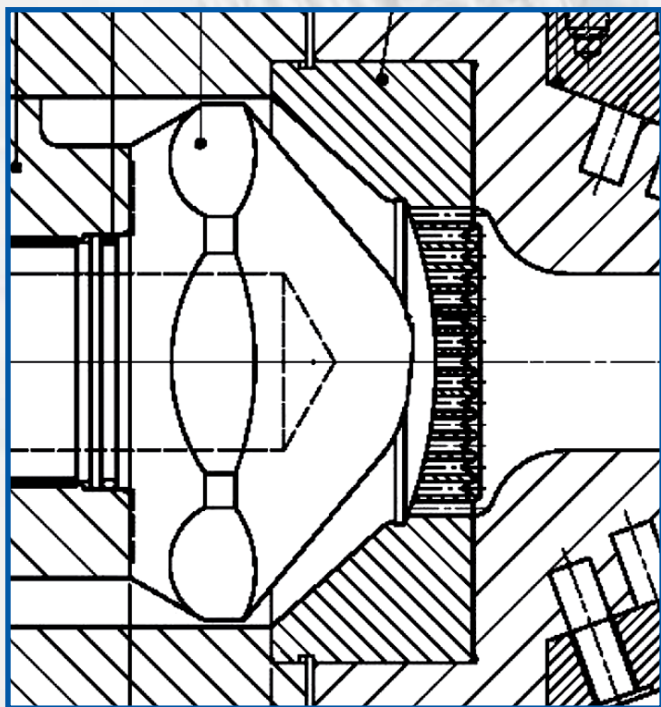


Рис. 2. Соединение между экструдером и головкой с промежуточными решетками

ет окно» в технологию наклонной вулканизации и дает представление о температуре жилы и изоляции, а также степени сшивки в процессе производства.

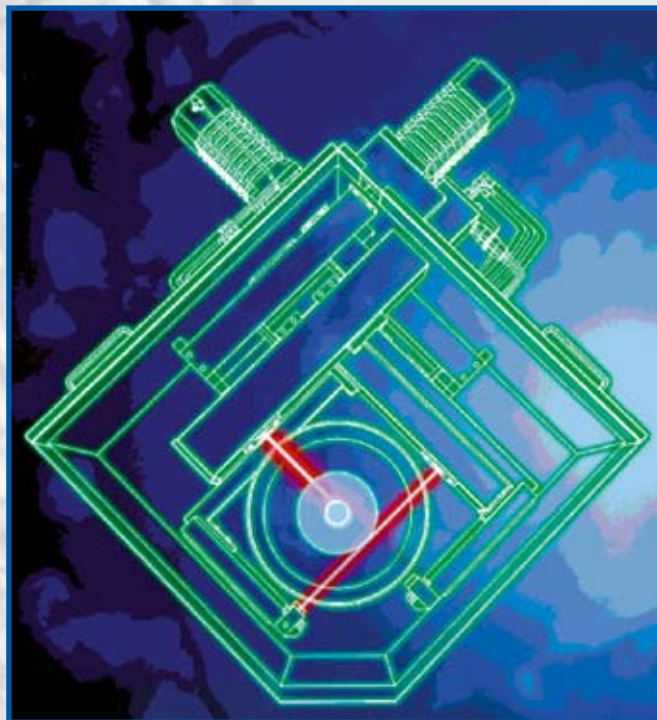
### 2.4.2. Прямой нагрев трубы вулканизации

Прямой нагрев трубы вулканизации обеспечивает равномерную передачу тепла без перегрева кабеля и соответственно равномерную сшивку изоляции. Модули трубы вулканизации, разработанные компанией Mailefer, сами являются резисторами и передают тепло от своих стенок в направлении к поверхности изолированной жилы (рис. 3). Тем самым обеспечивается равномерный нагрев кабеля по окружности без зон захлаживания или перегрева, которые могут быть вызваны неисправностью отдельных нагревательных элементов.

### 2.5. Толщина изоляции

Получить точные значения толщины слоев изоляции и экранов можно при обеспечении однородности расплава за счет таких конструкций шнека и каналов, которые дают возможность равномерно распределять массы в экструзионной головке.

Известно, что при запуске линии очень важно достичь приемлемых условий процесса и качества в кратчайшее время. В отношении размеров изолированной жилы это обеспечивается применением системы сканирования рентгеновскими лучами для измерения эксцентриситета (рис. 4). В процессе производства можно использовать указанную систему или гравиметрический метод, а также совмещать их, так как система радиационного сканирования особенно



**Рис. 4.** Принцип действия системы рентгеновского сканирования для измерения диаметра изолированной жилы и эксцентриситета

эффективна для минимизации эксцентриситета. Для контроля отклонений размеров по длине как дополнительный способ регулирования можно использовать систему гравиметрического контроля.

## 3. Заключение

Для получения качественной изоляции кабелей среднего напряжения повышенной надежности необходимо принимать во внимание следующие элементы:

- содержание включений в изоляции должно быть минимальным;
- необходим точный контроль температуры экструдера и головки;
- конструкции шнеков, переходников и каналов головки должны обеспечивать однородность расплава изоляционного материала и отсутствие зон застоя при его движении;
- система контроля линии должна поддерживать возможность моделирования процесса вулканизации и оптимизации технологии. В линиях компании Mailefer эту функцию выполняет программа моделирования «NCC»;
- контроль эксцентриситета и толщины изоляции должен быть обеспечен должным образом.

При выполнении перечисленных выше условий велика вероятность того, что кабель будет надежен и прослужит долго.



**Рис. 3.** Система прямого нагрева трубы вулканизации