

СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ РУКАВА ДЛЯ САНАЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ



*Захаров Юрий Сергеевич
к.т.н., Генеральный директор
ООО «Три-С»,
сертифицированный консультант по санации
трубопроводов (DWA, Германия),
член DWA (Германия),
член союза консультантов по санации
трубопроводов систем водоотведения
(VSB, Германия)*

Родоначальником технологии применения гибких полимерных рукавов для ремонта трубопроводов стал Эрик Вуд (Eric Wood) – английский инженер, работавший в сельском хозяйстве.

В 1971 г. после многолетних исследований Эрик Вуд предложил технологию ремонта трубопроводов, названную им **Insituform** (от латинского: **Insitu** – на месте и англ.: **to form** – формировать, строить).

В 1971 г. в районе Хакни (Лондон) под руководством Э.Вуда был произведен монтаж первого гибкого полимерного рукава.

В 1975 г. в Европе подана заявка на патент “Технология **Insituform®**” следующего содержания: Метод облицовки пропускной трубы негнущейся трубой, которая формируется пропитанным смолой войлоком, который является несущим материалом.

Пропитанный смолой войлочный каркас формирует гибкий рукав, который соответствует внутреннему диаметру ремонтируемой трубы. Смола затвердевает и формируется прочная, негнущаяся труба.

В 1977 г. в США был выдан патент на технологию **Insituform**.

В 1982 г. была впервые выполнена санация дюкера с применением гибкого полимерного рукава в г. Любек (Германия).

В 1985 г. был произведен монтаж первого полимерного рукава для промышленного применения, отверждающегося при воздействии УФ-излучения (Ludwigshafen/Rhein), разработанного совместно BASF и kebaco (Insituform).

Сегодня в распоряжении инженеров – строителей, специализирующихся на ремонте канализационных коллекторов, находятся различные типы гибких полимерных рукавов с различной полимерной основой и различными технологиями затвердения.

Прежде всего, различают:

- полимерные рукава на основе синтетического войлока;
- полимерные рукава, армированные стеклотканью;
- полимерные рукава, армированные специальными структурами (комплексами) из стекловолокна.



Историческое фото Эрика Вуда (1971 г.)

Полимерной основой современных рукавов являются:

- ненасыщенные полиэфирные смолы (UP-Harz);
- смолы на основе сложных виниловых эфиров (VE-Harze);
- эпоксидные смолы (EP-Harze).

Отверждение рукава производится в результате фотохимического (ультрафиолетовое излучение) или температурного воздействия (пар или горячая вода).

Благодаря многообразию исходных компонентов и технологических приемов мы имеем на рынке многообразие полимерных рукавов, которые при детальном рассмотрении могут отличаться друг от друга в большей или меньшей степени.

Поэтому, выбор конструкции рукава и технологии отверждения необходимо производить с учетом состояния и технических характеристик санируемого трубопровода, не упуская из виду стоимостной аспект.

Очень часто на выбор типа полимерного рукава оказывает влияние скорость производства работ, поскольку часто организация стройплощадки оказывает серьезное влияние на дорожное движение, работу магазинов и комфорт населения.

Полимерный рукав – композитный материал

Представленные на рынке рукава – это продукты химической промышленности, поскольку практически все используемые при их производстве материалы выпускаются предприятиями химической промыш-

ленности или предприятиями-смежниками. Полимерный рукав является композитным материалом, поскольку здесь имеет место механическое соединение волокон и полимерной смолы.

В результате затвердевания смолы образуется полимерный материал (дуромер), который выполняет функцию связующего (обволакивает и защищает волокна).

Используемые волокна и текстильное сырье

Полимерные рукава на основе искусственного войлока

Для производства искусственного войлока используются текстурированные волокна из полиэтилентерефталата (PES- или PET-Faser) длиной 50 – 80 мм. Вес отдельной нити: 6 – 28 дтекс (что соответствует 6 – 28 г/10000 м); диаметр 25 – 50 мкм (плотность PET-волокна 1,38 г/см³).

Из этой нити можно получить искусственный войлок плотностью 0,1 – 0,25 г/см³ (100 – 250 г/л).

Волокна составляют 10 – 20 % объема искусственного войлока. Оставшийся объем может заполняться полимерной смолой.

Искусственный войлок, используемый для изготовления гибких полимерных рукавов большой длины, для защиты от механического истирания покрывается либо полиолефиновым, либо полиуретановым (PUR) покрытием. Покрытия наносят толщиной 200 – 500 мкм.

При производстве рукавов малых диаметров доминируют полиуретановые покрытия, поскольку они более мягкие и хорошо гнутся.

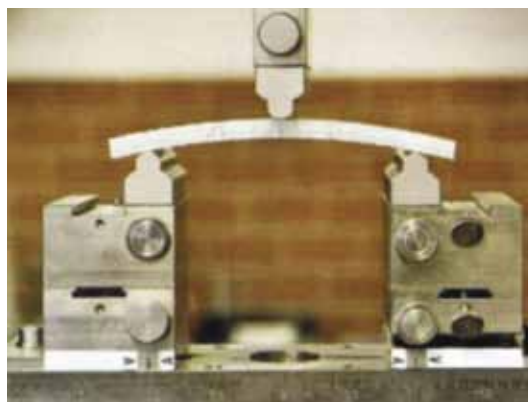
При производстве рукавов больших диаметров применяют, обладающие большей химической и механической прочностью полиэтиленовые покрытия.

Полимерные рукава на основе стекловолокна

В случае полимерных рукавов на основе стекловолокна достигается ярко выраженное механическое усиление конструкции.

При производстве рукавов используют стекловолокна E-Типа (Elektro-Glas) и ECR-типа (E-Glass Corrosion Resistant), которые отличаются по химическому составу, химической стойкости и, часто на порядок, по стоимости.

Стекловолокно типа ECR в большинстве сред существенно устойчивее, чем стекловолокно E-типа. Наиболее явно эти свой-



Измерение модуля эластичности образца полимерного рукава

ства проявляются в кислотной среде: Если опустить два образца стекловолокна на 24 часа в 10% раствор серной кислоты (предварительно удалив наружные органические слои), то стекловолокно E-типа теряет 24 – 41% массы, а ECR-типа всего лишь 2%. Поэтому при производстве гибких полимерных рукавов стекловолокну ECR-типа отдают предпочтение.

Стекловолокно применяется в виде армирующей стеклоткани или комплекса — различных по технологии изготовления изделий из стекловолокна с заданной структурой. Конструкция комплекса обеспечивает эластичность рукава перед отверждением и его механические свойства после затвердевания.

Желательно, чтобы в исходном состоянии рукав обладал эластичностью в радиальном направлении и, по возможности, сопрягался с поврежденной коррозией и ударными воздействиями поверхностью старого трубопровода. Растяжение в осевом направлении, напротив, должно быть минимальным, чтобы исключить остаточные деформации, обусловленные нагрузками при затягивании рукава в старый трубопровод.

Механические свойства рукава на основе стекловолокна существенно зависят от согласованности технических характеристик



Измерение модуля эластичности полимерного рукава

Крепление пакера при монтаже полимерный рукав SAERTEX®



смолы и стекловолокна, качества пропитки, коэффициента армирования и качества монтажа.

Необходимо отметить, что при производстве рукавов на основе стекловолокна также используются полиэтиленовые волокна и полиэтиленовые ткани. Так стеклоткань и стеклотканевые комплексы прошиваются в основном полиэтиленовыми волокнами. Кроме того, конструкция некоторых рукавов предусматривает наличие внутреннего полиэтиленового слоя, выполненного из нетканого полиэтиленового холста, который увеличивает устойчивость рукава к гидродинамическим нагрузкам.

Полимерная основа рукавов

Более 90% смол, используемых в рукавах в качестве полимерной основы, представляют собой ненасыщенные полиэфирные; остальная часть представлена эпоксидными смолами и смолами на основе сложных эфиров винила.

Применяемые при производстве гибких полимерных рукавов смолы, позволяют производить пропитанные в заводских условиях рукава с длительным сроком хранения для всех технологий затвердевания, что позволяет избежать пропитки рукавов на строительной площадке и, как следствие, связанных с этим трудоемким процессом проблем.

Применяемые сегодня в Германии смолы на основе изофталевой кислоты и неопентилгликоля ("Iso-Neo-Harze", тип А) и смолы на основе ортофталевой кислоты и неопентилгликоля ("ortho-Neo-Harze", тип В) отличаются высокой устойчивостью к большинству коммунальных сточных вод (в большинстве своем кислотным).

Отметим, что смолы на основе изофталевой кислоты и пропиленгликоля в большом количестве используются в США. Американцы отказываются от относительно дорогого неопентилгликоля и используют смолы с

меньшей химической стойкостью и устойчивостью к гидролизу.

Причиной кислотного характера сточных вод является образование серной кислоты бактериями (биогенная серная кислота). По этой причине ненасыщенные полиэфирные стали «рабочими лошадками» для гибких полимерных рукавов. С точки зрения химической устойчивости смолы типа А и В одинаковы; они отличаются только в деталях:

Смола типа А более вязкая. При испытании на растяжение материал демонстрирует существенно более высокую способность к растяжению и прочность на растяжение.

Смола Типа В затвердевает быстрее и оценивается незначительно дешевле.

Эпоксидные смолы, по сравнению с содержащими стирол ненасыщенными полиэфирными смолами и смолами на основе сложных винилов, обладают более слабым запахом. Они выделяются своей отличной устойчивостью к химическим нагрузкам и отличной адгезией к большому количеству субстратов. Поэтому они незаменимы при ремонте примыканий к коллекторам. Тем не менее, композиции эпоксидных смол и аминов обладают коротким временем жизни (несколько часов), которое, тем не менее, позволяет приготовить композицию и произвести пропитку рукава на строительной площадке.

Другим слабым местом эпоксидных смол, которое следует упомянуть: у многих людей после многолетних контактов с эпоксидными выявляют аллергические болезни.

Винилэфирные смолы (VE) с точки зрения структурной химии – соединения ненасыщенных полиэфиров и эпоксидов. Их устойчивость к химическим нагрузкам существенно выше, чем у ненасыщенных полиэфиров. Устойчивость не хуже, чем у эпоксидных смол.

Это очень важно при контакте с:

- щелочными средами;
- горячими сточными водами;
- отбеливающими составами;
- алифатическими и ароматическими углеводами.

При всех этих воздействиях они мало склонны к впитыванию/набуханию и демонстрируют незначительные потери жесткости и прочности. Поэтому эти смолы используются в основном для пропитки рукавов, предназначенных для ремонта канализации промышленных предприятий, и в особенности нефтеперегонных заводов и предприятий по производству сахара.

Их устойчивость к образованию трещин, например, при длительном воздействии вибраций, является дополнительным аргумен-

том для использования в промышленности.

Винилэфирные смолы требуют в качестве реактивного разбавителя стирол. Они затвердевают по радикальному механизму. При этом можно использовать все известные технологии, используемые для затвердевания ненасыщенных полиэфиров.

Использование винилэфирных смол, как и ненасыщенных полиэфиров, позволяет производить пропитку рукавов в заводских условиях.

Инициаторы (катализаторы), наполнители и добавки

Типовая рецептура смолы, которая используется для пропитки искусственного войлока и стеклоткани имеет приблизительно следующий вид:

Ингибиторы предназначены для обеспечения стабильного состояния смолы до и после пропитки рукава, чтобы исключить нежелательное гелеобразование перед температурным или фотохимическим затвердеванием. Для этих целей применяют в первую очередь небольшие количества производных гидрохинонов и пара-бензохинонов. В качестве акцепторов-радикалов ингибиторы являются «противниками» инициаторов, которые под воздействием тепла или фотохимической реакции становятся источником радикалов.

Радикалы – это высокореактивные химические соединения с коротким временем жизни с одним непарным электроном, которые необходимы для затвердевания ненасыщенных полиэфирных и винилэфирных смол.

В качестве температурных инициаторов используют так называемые пероксиды. А из следующих классов материалов часто применяют перэфирсы, перкарбонаты, перкеталы и акриловые пероксиды. В большинстве случаев используют два химически разных пероксида, чтобы быть уверенным в том, что при использовании для отвердевания



Отверждение полимерного рукава SAERTEX® УФ-излучением

горячей воды (55 — 85°C) и водяного пара (55 — 115°C) будут выделяться активные радикалы. Кроме того, радикалы должны образовываться после затвердевания, когда еще поддерживается максимальная температура, чтобы обеспечить по возможности уменьшить остаточное содержание стирола.

Эта задача решается с помощью двух пероксидов, один из которых начинает функционировать при низких температурах, а второй — при высоких.

Фотоинициаторы используются для затвердевания при ультрафиолетовом излучении.

Здесь также используют два пероксида: акрилфосфиноксид является источником радикалов при воздействии излучения длиной волны 370 – 420 нм, другой инициатор выделяет радикалы при длине волны 370 – 420 нм.

Широко используется комбинация инициаторов Irgacure 819 (BASF/Ciba) и Irgacure 651 (BASF/Ciba).

Главная задача производителя состоит в том, чтобы согласовать количество используемых инициаторов, поскольку от этого зависит качество затвердевания рукава.

В случае термически отверждаемых рукавов необходимо использовать химически устойчивые наполнители. Они служат, прежде

| Весовые единицы | Компоненты |
|-----------------|--|
| 100 | Ненасыщенные полиэфирные или винилэфирные смолы |
| 0,005 – 0,2 | Ингибиторы |
| 08 – 2,5 | Термические катализаторы (инициаторы) или Фотокатализаторы (фотоинициаторы) |
| 0,3 – 1 | |
| 15 – 50 | Химически устойчивые наполнители (всегда используются при термическом затвердевании) |
| 0,4 – 1,2 | Добавки, необходимые для протекания процесса затвердевания |
| 0 - 1 | Прочие добавки |



1985 г. Монтаж первого полимерного рукава, отверждаемого УФ-излучением, в г. Ландау (Германия)

всего, для снижения максимальной температуры при затвердевании. Причина: при термическом затвердевании за счет выделения тепла при химической реакции пиковые значения температуры могут достигать значений более 230°C, что может привести к термическому повреждению дуромера (появлению трещин).

Этого избегают за счет добавления ограниченного количества (максимум до 50 частей) наполнителя. Наполнитель должен препятствовать самонагреву рукава и, как простое вещество, нагреваться от отверждаемой смолы.

Кроме того, наполнители выполняют и другие функции:

- Наполнители с малым размером зерна в количествах до 30 единиц повышают устойчивость отверждаемого вещества к образованию трещин.
- Правильный выбор наполнителя позволяет повысить модуль упругости, что для полимерных рукавов на основе синтетического войлока имеет большое значение, поскольку полиэфирные волокна не добавляют механической прочности рукаву.
- Наполнители уменьшают усадку рукава при затвердевании, и связанные с этим внутренние напряжения.

Наполнители снижают стоимость композиции пропорционально их процентному содержанию в объеме. Поскольку их объемное содержание не высоко и при производстве рукавов используются относительно дорогие материалы (ввиду требований к высокой хи-

мической устойчивости), то «стоимостной» выигрыш от применения наполнителя незначителен. Кроме того, наполнители замедляют и затрудняют пропитку синтетического войлока и комплексов из стекловолокна, так, что экономия средств на материале приводит к появлению сложностей при монтаже рукава, что сводит на нет все выгоды.

На практике, в качестве наполнителей применяют силикаты алюминия, кварцевую муку и прежде всего гидрат оксида алюминия (АТН).

Очень дешевый, и используемый в виде тонкого помола мел (карбонат кальция), не применяется в виду нестабильной химической устойчивости.

Если говорить о добавках, используемых для управления технологическим процессом, то это полимерные субстанции, активные на пограничных поверхностях, которые улучшают сшивку стекловолокна, синтетических волокон и наполнителей, и вентиляционных аддитивах, облегчающих выход воздуха из текстильных слоев и войлока, а также ускоряющих этот процесс.

В группу других добавок входят:

- Аддитивы, улучшающие тиксотропные свойства смол. Они используются для регулировки вязкости смолы при хранении;
- Ускорители для повышения реакционной способности температурных инициаторов при низких температурах.
- Небольшие добавки стирола, которые добавляются в смолу для понижения вязкости (облегчение пропитывания).
- Загустители MgO или Mg(OH)₂ переводят жидкие ненасыщенные полиэфирные смолы (с помощью медленной кислотнo-щелочной реакции) в материал, напоминающий кожу.

Сегодня ремонт трубопроводов трудно представить без специальных полимерных пленок и рукавов.

Эти материалы призваны решать следующие задачи:

- Защита рукава от внешних воздействий (Preliner).
- Облегчение протягивания рукава в старый трубопровод.
- Наружное и внутреннее обрамление рукава.

Везде, где пленка вступает в непосредственный контакт со смолой, используется полиамид-полиэтиленовая пленка или полиэтилен – полиамид – полиэтилен пленка.

Обычно толщина пленки колеблется в интервале 80 – 250 мкм. В качестве альтернативы полиамиду в качестве изолирующего от стирола слоя в пленке может использоваться полиуретан.

Часто рукава на основе стекловолокна выпускаются с двумя изолирующими слоя-

ми пленки: сначала полиамид-полиэтиленовая, а затем механически прочная защитная пленка, которая в случае рукавов, отверждаемых ультрафиолетовым излучением обеспечивает дополнительную защиту от проникновения излучения и которая может иметь дополнительный отражающий экран.

Очевидно, что большая часть ноу-хау производителей рукавов лежит в плоскости выбора материалов, рецептур и технологии монтажа.

Важнейшие аспекты технологии:

- Выбор и согласование инициаторов.
- Выбор и согласование рецептуры.
- Производство и выбор стеклотканевого комплекса.
- Выбор различных пленок, а также технологии пропитки и производства рукава.
- Оптимизация рукава в части скорости прокладки, скорости затвердевания, герметичности, разгрузки-погрузки на стройплощадке и т.д.
- Разработка технологических карт применительно к конкретному объекту.



Технологии отверждения полимерного рукава

Полимерные рукава на основе синтетического войлока практически всегда оснащены термическими инициаторами. Раньше отверждение полимерных рукавов производилось почти всегда с использованием горячей воды температурой 80-85°C. Сначала вода выполняет функцию нагревания, а после начала экзотермической реакции – функцию охлаждения – тем самым она управляет реакцией отверждения. В последние годы отверждение рукавов на основе синтетического войлока все чаще используется водяной пар (максимальная температура пара около 110-115°C). Для этого разрабатывают специальные комбинации инициаторов. Целью этих мероприятий является сокращение времени затвердевания. При использовании горячей воды на затвердевание требуется более 24 ч, а с помощью пара это время можно сократить до нескольких часов.

Для отверждения рукавов с использованием ультрафиолетового излучения сегодня используют (пока) исключительно ртутные газоразрядные лампы (легированные железом или галлием, чтобы сместить длинноволновый спектр излучения). В большинстве случаев отдельные лампы имеют мощность 400 Вт или 1000Вт.

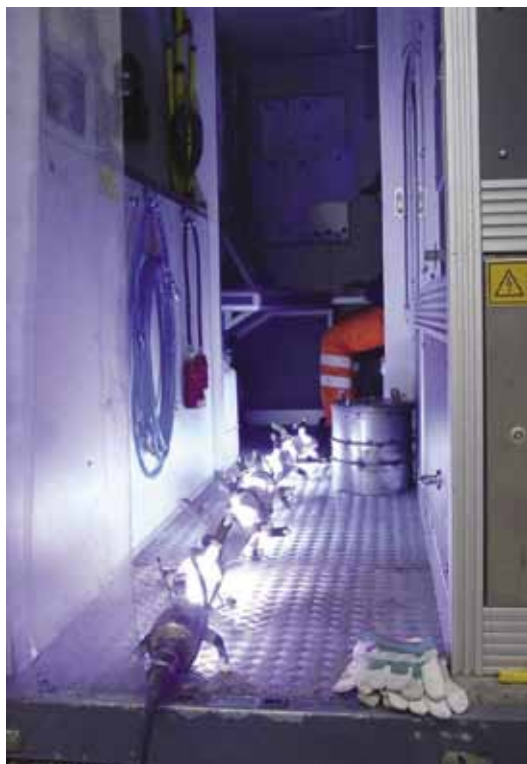
Новые системы управления лампами позволяют адаптировать облучение к конкретному рукаву.

г. Гамбург. Монтаж полимерных рукавов на основе искусственного войлока (пропитка – эпоксидная смола)

В течение последних лет проводятся обширные исследования со светодиодами, излучающими в ультрафиолетовом диапазоне спектра (длины волн 365 нм или 395 нм).

Одним из преимуществ этих источников излучения является то, что они излучают холодный свет и благодаря этому термические нагрузки на внутреннюю пленку, а также энергозатраты источника электрического тока уменьшаются.

Кроме того, светодиоды позволяют производить модули источников излучения по индивидуальному заказу. С появлением на рынке этих модулей в ближайшее время можно будет рассчитывать на их использование в областях, где не требуется использования высоких и очень высоких мощностей



Цепь источников
УФ-излучения

излучения, поскольку в этих областях еще долго будут использоваться ртутные газоразрядные лампы.

Отверждение с использованием ультрафиолетового излучения имеет целый ряд преимуществ по сравнению с температурным воздействием:

- Высокая скорость затвердевания, в особенности при малых и средних толщинах рукава. Так канализация аэропорта г. Дюссельдорф была отремонтирована во время ночных пауз в полетах.
- Затвердевание рукава без возникновения статических напряжений. Затвердевание производится от одного конца к другому, а поэтому большая часть аксиальной усадки, обусловленной затвердеванием, (в осевом направлении рукава), за счет растяжения или «подтягивания» еще не отвержденной части рукава выравнивается. При температурном затвердевании это не возможно, поскольку затвердевание рукава почти всегда производится по всей длине.
- Относительно меньше помех отверждению при искривлении трубопровода относительно линии горизонта. При отверждении с использованием горячей воды воздух может собираться в местах верхних изгибов трубопровода (местах, где трубопровод или часть трубопровода находится выше всей остальной трубы). В результате передача тепла затрудняется. При затвердевании паром аналогичный эффект наблюдается в нижней точке трубопровода

(там собирается конденсат и вызывает охлаждение пара, чем замедляет затвердевание). Тем не менее, следует отметить, что предприятия, имеющие опыт монтажа рукавов с термическим затвердеванием разработали ряд технологических приемов, используя которые можно существенно снизить негативное воздействие данного эффекта.

- Технологическое оборудование размещается чаще всего на одном грузовике, на котором монтируется источник ультрафиолетового излучения, автономный источник бесперебойного питания и система управления излучением.
- При ультрафиолетовом отверждении к цепи источников излучения присоединяется, как правило, ТВ-камера, которая протягивается внутри рукава, проверяет наличие складок и позволяет внести коррективы в процесс.
- При ультрафиолетовом затвердевании не сопровождается образованием дополнительных сточных вод, поскольку для транспортировки тепла вода не требуется.
- Пропитанные смолой «чистые» рукава, отверждаемые ультрафиолетовым излучением, в течение нескольких месяцев могут храниться на складе. Это облегчает экспорт морским путем. Рукава, отверждаемые в результате температурных воздействий, до монтажа необходимо постоянно охлаждать до определенной температуры (0 — 15°C) и хранить, как правило, не более 3 недель.

На основании всех этих фактов использование полимерных рукавов с ультрафиолетовым затвердеванием для ремонта канализации стало технологией, которой отдают предпочтение. Эта технология все чаще используется, нежели другие технологии затвердевания.

Свойства композитных материалов

Коротко о механических свойствах:

Полимерные рукава на основе синтетического войлока:

- Модуль упругости (в зависимости от наполнителя и его процентного содержания): 3500 – 4000 Н/мм²;
- Коэффициент редуции: 2;
- Прочность на изгиб: обычно 36 – 38 Н/мм²;
- Склонность к текучести через 24 часа: 8-12%.

При сравнении рукавов на основе стекловолокна разных производителей их механические характеристики рукавов можно сравнивать только тогда, если содержание стекловолокна в рукаве одинаково или близко.

Рукава с 35% содержанием стекловолокна:

- Модуль упругости минимум 7000 Н/мм²
- Коэффициент редукации: 1,8;
- Прочность на изгиб: мин.60 Н/мм²
- Склонность к текучести через 24 часа: 6 – 7%;
- Рукава с 48% содержанием стекловолокна:
- Модуль упругости минимум 12000 Н/мм²
- Коэффициент редукации: 1,35;
- Прочность на изгиб: мин.250 Н/мм²
- Склонность к текучести через 24 ч: 4,4 %;

Контроль качества

Современный процесс восстановления трубопровода на всех этапах производства работ сопровождается контролем качества:

- При закупке сырья (стекловолокно или стеклоткань, смола, наполнители, пленки, холсты и вспомогательные материалы).
- Во время изготовления (герметичность, вес единицы площади, содержание стекловолокна).
- Проверка готовой продукции (длина рукава, толщина стенки, вес единицы площади, характеристики процесса затвердевания, кольцевая жесткость, модуль упругости, твердость по Барколу, герметичность, визуальная оценка).
- Кроме того, производятся стандартные отраслевые испытания рукава после монтажа.

Актуальные аспекты исследований и разработок

Усилия исследователей и разработчиков во всех предприятиях направлены преимущественно на постоянное улучшение компонентов и деталей изделия и технологии.

К ним относятся:

- Повышение скорости затвердевания и ускорение монтажных работ.
- Упрощение и облегчение исполнения технологических операций и монтажа на стройплощадке.
- Улучшение герметичности рукава.
- Улучшение надежности используемых пленок.
- Улучшение соотношения цена/качество.

Кроме того существует большее количество стратегических задач, которые в связи с их комплексным характером могут быть решены только в долгосрочной перспективе и которые должны решаться не на уровне предприятий, а на уровне отрасли.



Монтаж рукава
фирмой KMG

- Здесь можно выделить следующие темы:
- Рукава на основе полимерных волокон демонстрируют большое количество волосяных трещин, что является следствием осевых напряжений при отверждении и отсутствия упрочняющего действия искусственного войлока. При использовании для отвердевания пара этот эффект усиливается. За счет оптимизации рецептуры и технологического процесса количество трещин можно существенно уменьшить.
 - Отверждаемые ультрафиолетовым излучением рукава больших диаметров хорошо затвердевают внутри и в середине ламината, но не на краях рукава. Поскольку туда доходит меньше излучения, старый трубопровод охлаждает рукав, кислород воздуха воздействует на механизм отверждения с помощью радикалов как ингибитор, если воздух через складки проникает вовнутрь рукава.
 - Для устройства примыканий незаменимы эпоксидные смолы, поскольку обладают отличными склеивающими свойствами. Две системные проблемы еще не преодолены: уже озвученная проблема с аллергией персонала и срок службы/эксплуатации этих соединений, который существенно меньше, чем срок службы инсталлируемого рукава.

Современные рукава – это тщательно продуманные и детально проработанные строительные продукты. Отрасль уже более 40 лет стремится к упрощению технологии, снижению временных затрат и снижению стоимости при санации трубопроводов.