

Табл. 7. Показатели полимерных многослойных пленок.

Пленки для резервного хранения муки		
Состав	ПЭНД-ПЭВД-ПЭНД	ПЭНД-ПП-ПЭНД*
Толщина, мкм	120-150	120-150
Структура	перфорированная	перфорированная
Геометрия перфорации	круг	эллипс
S отверстий на 1 м^2 S поверхности пленки	120×10^{-6}	120×10^{-6}
Способ получения	Плоскощелевая экструзия с последующей двуслойной ориентацией при стандартных режимах	Плоскощелевая экструзия с последующей продольной ориентацией при разнице линейных скоростей до и после ориентации 1.42
Сроки хранения муки	до 12 мес., с последующей реализацией в рознице в течение 5 мес.	до 12 мес., с последующей реализацией в рознице в течение 6 мес.
Газопроницаемость по кислороду, $\text{см}^3/\text{м}^2 \times \text{д} \times \text{Па}$	357×10^{-2}	$3,80 \times 10^{-2}$
Коэффициент газопроницаемости, $\text{см}^3 \times \text{см}/\text{см}^2 \times \text{с} \times \text{см}$ рт ст	$1,69 \times 10^{-10}$	$1,759 \times 10^{-10}$

полиолефинов по схеме ПЭНП-ПЭВП-ПЭНП и ПЭНП-ПП-ПЭНП; для кратковременного хранения муки – монолитные пленки ПЭНП-ПЭВП-ПЭНП; непригодные для хранения – пленки, содержащие ПА.

4. Разработаны и рекомендованы к применению новые упаковочные решения: для расфасовки и хранения муки. Получены акты производственных испытаний и рекомендации по использованию разработанных материалов в условиях резервного складирования для создания стратегических государственных запасов.

Литература

- Каган Д.Ф., Гуль В.Е., Самарина Л.Д. Многослойные и комбинированные пленочные материалы. М.: Химия, 1989. 287с.
- Коулз Р., МакДауэлл Д., Дж.Кирван М., Упаковка пищевых продуктов /пер.с англ.под науч.ред. Махотиной Л.Г.; под ред. Коулза Р., МакДауэлла Д., Дж.Кирвана М.- СПб.: Профессия, 2008. 416с.
- Romani S., Tappi S., Balestra F., Estrada MTR, Siracusa V., Rocculi P., Dalla Rosa M. //Effect of different new packaging materials on biscuit quality during accelerated storage//Journal of the science of food and agriculture. 2015.V.95. №8. P.1736-1746.
- Shemesh R., Krepper M., Goldman D., nin-Poleg Y., Kashi Y., Nitzan N., Vaxman A., Segal E.//Antibacterial and antifungal LDPE films for active packaging // Polymers for Advanced Technologies. 2015. V. 26. № 1. P.110-116.
- Стеле Р., Срок годности пищевых продуктов. Расчет и испытание/ под ред. Р.Стеле; пер. с англ. Широкова В.Д. под общ. ред. Базарновой Ю.Г. - СПб.: Профессия, 2006. 479 с.

УДК 678

Оценка работоспособности материалов для применения в качестве износостойкого слоя полимерных пульпопроводов

В.И. СКРЕБНЕВ, В.В. БИТТ, Е.В. КАЛУГИНА, А.Н. КРЮЧКОВ

ООО "Группа ПОЛИПЛАСТИК", Москва, Россия
Kalugina@polyplastic.ru

В статье рассмотрены способы выбора материалов для применения в качестве внутреннего слоя пульпопроводов. Приведены методы испытаний материалов на стойкость к износу, а также величины эрозии различных материалов. Подчеркнута необходимость оценки эксплуатационных характеристик материалов применительно к условиям эксплуатации.

Ключевые слова: пульпопроводы, износостойкость, эрозия труб

The paper deals with the selection methods of materials intended for use as an internal layer of slurry pipelines. Methods for testing materials wear resistance, as well as erosion values of various materials are given. The necessity to evaluate materials performance depending on operating conditions is stressed.

Keywords: slurry pipelines, wear properties, pipes erosion

Полимерные трубы уже давно зарекомендовали себя в мире и в последние 50 лет активно применяются в системах водо-, газоснабжения и канализации. В настоящее время напорные трубопроводные системы можно разделить на несколько типов в зависимости от транспортируемой среды: водо-, теплопроводы, газопроводы и технологические трубопроводы (индустриальные). Одним из видов индустриальных трубопроводов являются пульпопроводы, применяемые для транспортировки взвесей минеральных абразивных частиц, образующихся в результате технологических процессов на горно-обогатительных предприятиях. В настоящее время практически все ГОКи в России и странах постсоветского пространства применяют стальные пульпопроводы, но в связи с низкой износостойкостью стальные трубы достаточно бы-

стро выходят из строя. Для увеличения срока службы пульпопроводов применяют армированные резиновые шланги, а также трубы, футерованные термопластичными полиуретанами и резинами. Все эти материалы характеризуются высокой эластичностью. Производство резины – дорогой и энергозатратный процесс, а термопластичные полиуретаны (ТПУ) имеют высокую стоимость и практически на производятся в РФ. Решением проблемы может быть применение полиэтиленовых труб с внутренним соэкструзионным слоем из недорогих термопластичных эластомеров (ТЭП), которые зарекомендовали себя как ближайший аналог резин. НИИ Группы ПОЛИПЛАСТИК проведены исследования по разработке индустриальных многослойных полимерных труб для пульпопроводов.

Важнейшим вопросом при разработке износостойких изделий является правильный выбор методов оценки износостойкости материалов применительно к условиям эксплуатации.

Известно, что процесс износа сопровождается не только изменением геометрических характеристик изделия, но и изменением механических и структурных свойств материала, что, в свою очередь, влияет и на интенсивность изнашивания. Износ происходит в результате воздействия внешних сил, и в зависимости от характера воздействия меняется интенсивность изнашивания; то есть материал, являющийся стойким к износу в одних условиях, может быть совершенно непригоден в других. Соответственно, для выбора методов оценки материалов необходимо понимать, какие виды нагружения действуют на материал и механизм изнашивания в конкретных условиях эксплуатации.

В случае пульпопроводов, внутренняя стенка труб подвергается износу гидроабразивным потоком. Наиболее подробно данный вид износа рассмотрен в работе [1] на примере эластомеров. Автор подчеркивает, что изнашивание эластомеров потоком частиц в условиях ударного нагружения поверхности отличается от простого скольжения, а характер нагружения определяется как контактно-динамический. Отмечается отличие механизмов изнашивания в разных средах, влияние на износ угла атаки частиц, скорости потока и эластичности материала. Изнашивание гидроабразивным потоком представляется, как изнашивание в результате контактно-динамического взаимодействия тел в жидкой среде, при котором механизм разрушения имеет выраженный усталостный характер. В отличие от других видов изнашивания, в гидроабразивном потоке разрушение материала происходит вследствие размывания жидкостью микрповреждений различного происхождения: микротрещины усталостного происхождения, микропорезы частицами т.п.

Исходя из вышеперечисленных аспектов, тестирование материалов на стойкость к истиранию проводили в условиях

гидроабразивного воздействия. Применяли два наиболее распространенных способа:

1. Метод определения износа материалов при высокоскоростном воздействии абразивных суспензий на основе требований ISO 15527 [2].

2. Метод определения износа труб под действием водопесчаных суспензий, известный как "Дармштадтский метод" [3].

В качестве объектов исследования были выбраны различные типы термоэластопластов, выпускаемые Группой ПОЛИПЛАСТИК; резина на основе СКЭПТ; полиолефины разных фирм-производителей.

Сущность испытания при высокоскоростном воздействии абразивной суспензии заключается в измерении величины потери массы образца за единицу времени. Образец установленной формы помещают в емкость со смесью песка и воды. Вал с образцом приводится во вращение со скоростью не менее 1200 об/мин. Износ определяют по отношению к эталонному образцу, в качестве которого применяли ПЭВП. Показатель степени истирания рассчитывается как отношение потери массы/объема образца к потере массы/объема эталона.

В Дармштадтском методе измеряют потери толщины стенки трубы. Образец в виде половины трубы, разрезанной пополам вдоль оси, заполняется водной суспензией с абразивными частицами. Движение абразивного материала обеспечивается за счет изменения наклона образца от горизонтали на $\pm 22,5^\circ$ с частотой колебаний 20 циклов в минуту. Испытание проводится до достижения 100 тысяч циклов.

Результаты испытаний на износостойкость представлены в таблицах 1 и 2. Также в данных таблицах представлен показатель твердости по Шору [6, 7] как характеристики жесткости (эластичности) исследованных материалов.

Материалы, близкие по своим характеристикам к резине, такие как термопластичные вулканизаты (TPV), показали высокую стойкость к гидроабразивному износу, значительно превосходящую стойкость полиэтиленов и стали (табл. 1). В свою очередь, ПЭВП немного уступает ст20 по данному по-

Таблица 1. Характеристики материалов и степень истирания.

Материал	Степень истирания, %	Твердость по Шору А	Твердость по Шору Д	Состав
TPV	4	55	10	ТЭП на основе СКЭПТ. Получен методом динамической вулканизации
TPV 2	7	60	13	ТЭП на основе СКЭПТ. Получен методом динамической вулканизации
TPV/HDPE 70/30	9	90	25	Экструзионная смесь
TPV/HDPE 50/50	24	95	38	Экструзионная смесь
TPE-S 1	28	62	14	ТЭП на основе СПЛ стирола и бутадиена
TPE-S 2	36	95	45	ТЭП на основе СПЛ стирола и бутадиена
LLDPE 1	40	97	46	Линейный полиэтилен низкой плотности
TPE-S 3	41	78	19	ТЭП на основе СПЛ стирола и бутадиена
Steel	43*	-	-	Сталь 20
LLDPE 2	58	97	49	Линейный полиэтилен низкой плотности
HDPE	100	97	60	Полиэтилен высокой плотности (ПЭ 100)
PP	204	97	68	Блок-сополимер
TPE-S 4	270	74	17	ТЭП на основе СПЛ стирола и бутадиена

*Расчет степени истирания проведен через объемные потери образцов

Таблица 2. Средний гидроабразивный износ трубных образцов за 100 000 циклов.

Материал внутреннего слоя трубы	Изменение толщины стенки, мм	Твердость по Шору А	Твердость по Шору Д	Состав
TPV	0,03	55	10	ТЭП на основе СКЭПТ. Получен методом динамической вулканизации
LLDPE 1	0,07	97	46	Линейный полиэтилен низкой плотности
HDPE	0,13	97	58	Полиэтилен высокой плотности (ПЭ 63)
HDPE	0,26	97	63	Полиэтилен высокой плотности (ПЭ 100)

казательно, что коррелирует с результатами испытаний ряда известных зарубежных фирм. Но, учитывая малые отличия в степени истирания, разница в долговечности труб из этих материалов будет определяться, в первую очередь, толщиной стенки.

Прослеживается взаимосвязь износостойкости и эластичности полимерных материалов. Безусловно, высокая эластичность является необходимым, но не достаточным показателем при выборе износостойких материалов (табл. 1, 2), так как материал должен обладать определенным набором свойств для обеспечения работоспособности изделия в конкретных условиях эксплуатации. Поскольку под действием гидрорабразивного потока материал подвергается многократным кратковременным деформациям, приводящим впоследствии к снижению его усталостной прочности, то для понимания проблемы гидрорабразивного износа важно также знать его динамические характеристики. При динамических измерениях можно определять энергию, запасаемую в полимере и обратно отдаваемую им в каждом цикле. Мерой этой энергии служит модуль упругости E' . Одновременно определяется сопротивление полимера деформированию, обусловленное диссипацией энергии – переходом некоторой части работы деформирования в тепло. Эта часть сопротивления тела деформированию характеризуется модулем потерь E'' [4].

Методом динамического механического анализа [5] получена зависимость модуля механических потерь от температуры для различных типов термоэластопластов, а также базовых полимеров. Испытания проводили на ротационном вискозиметре AR2000ex ф. TA Instruments (США) в диапазоне температур минус 100 – плюс 100°C при частоте колебаний 1 Гц в режиме "torsion".

Как правило, температура эксплуатации пульпопровода ограничивается плюс 60°C. В области температур 0–100°C на графике температурной зависимости модуля динамических потерь полиолефинов (полипропилен, полиэтилены) наблюдается пик (температурный переход) – отклик материала на механическое воздействие (рис. 1). Данные материалы характеризуются низкой стойкостью к гидрорабразивному износу (табл. 1).

Модуль динамических потерь резины (EPDM) и термопластичных вулканизатов, в состав которых входит СКЭПТ, в данном диапазоне температур приближается к нулю. А в диапазоне температур минус 70 – минус 40°C на термограмме резины и TPV обнаруживается интенсивный пик (рис. 1, 2). С увеличением содержания ПЭВП в смеси с термопластичными вулканизатами, в диапазоне отрицательных температур интенсивность пика снижается симбатно изменению концентрации, при этом интенсивность пика увеличивается в диапазоне положительных температур, причем величины этих пиков коррелируют с составом композиции – содержанием ПЭВП (рис. 2).

В рамках данного исследования также протестировали серию маслonaполненных стирольных ТЭП. Эти материалы различаются содержанием минерального наполнителя и масла в рецептуре и разработаны для уплотнительных элементов бытовых приборов на рабочие температуры минус 20 – плюс 20°C. Для этой серии образцов зависимость между величиной модуля механических потерь в интервале температур 20–100°C и степенью истирания – не наблюдается (рис. 1 и табл. 1).

Анализ результатов, представленных в табл. 1 и на рис. 2, позволил построить зависимость между величиной модуля механических потерь в диапазоне температур 20–100°C и степенью истирания образцов, которая имеет линейный харак-

тер (рис. 3). Отношение E''/E' называется тангенсом угла механических потерь, так как именно вследствие диссипативных потерь в каждом цикле происходит сдвиг деформации относительно напряжения на определенный фазовый угол, притом тем больший, чем больше потери. Отношение модуля потерь к круговой частоте $E''/\omega = \eta$ называется динамической вязкостью (сопротивление сдвигу) [4]. При этом динамический модуль упругости E' не зависит от частоты и амплитуды деформации. Если предположить, что $\omega = \text{const}$, то динамическая вязкость образца при E'' , стремящемся к нулю, будет мала или неизменна, что в свою очередь и сказывается на степени изнашивания материала.

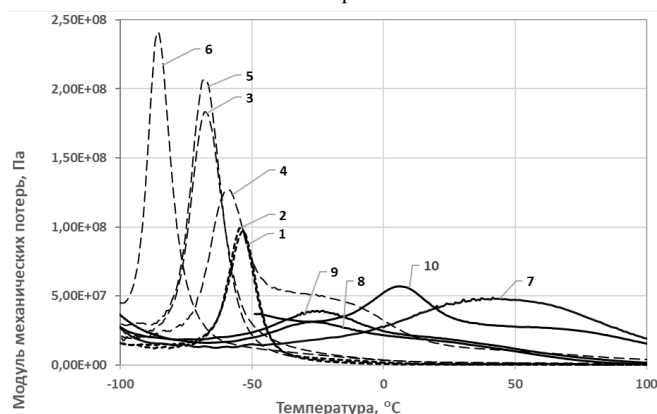


Рис. 1. Зависимость модуля механических потерь от температуры для материалов: TPV (1), TPV 2 (2), TPE-S 1 (3), TPE-S 2 (4), TPE-S 3 (5), TPE-S 4 (6), HDPE (7), LLDPE 1 (8), LLDPE 2 (9), PP (10).

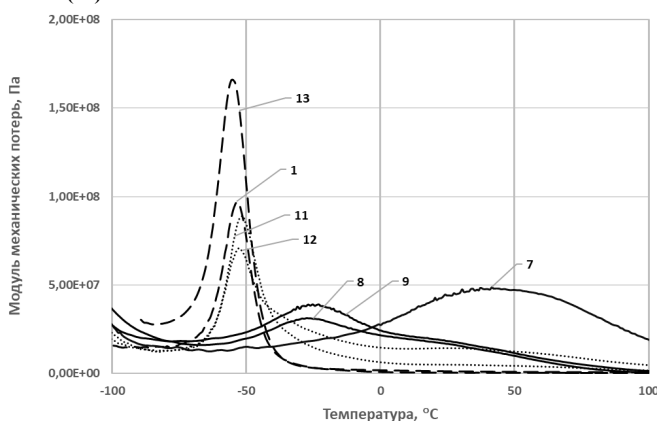


Рис. 2. Зависимость модуля механических потерь от температуры для чистых полимеров и смесей TPV/HDPE: TPV (1), HDPE (7), LLDPE 1 (8), LLDPE 2 (9), TPV/HDPE 70/30 (11), TPV/HDPE 50/50 (12), EPDM (13).

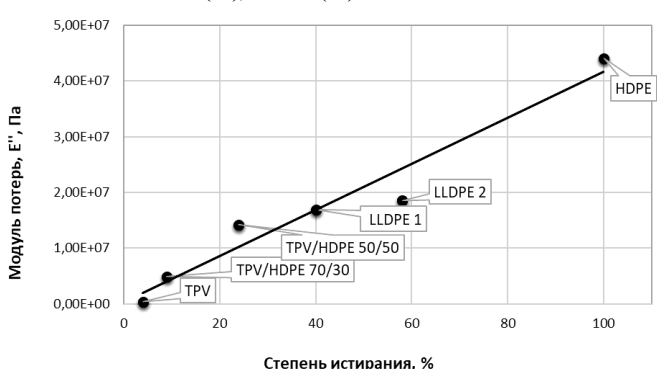


Рис. 3. Зависимость степени истирания от модуля потерь.

Полученная корреляция подтверждает ранее выдвинутое предположение об информативности динамического механи-

ческого анализа ДМА при выборе материалов для работы в динамическом режиме нагружения – гидроабразивный износ является частным случаем. Метод позволяет оценить работоспособность материала в определенном диапазоне температур. Проведенные исследования показали, что термопластичные вулканизаты можно применять в качестве аналога резин для пульпопроводов. Подчеркнута важность вопроса выбора методов оценки материалов применительно к условиям нагружения (эксплуатации), что подтверждается успешным опытом применения труб с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу МУЛЬТИПАЙП ИС производства Группы ПОЛИПЛАСТИК.

Литература

1. Копченков В.Г. Трение и изнашивание эластомеров в условиях контактно-динамического нагружения: диссертация на соискание

ученой степени доктора технических наук (05.02.04); Северо-Кавказский государственный технический университет. - Ставрополь, 2004. - 424 с.

2. ISO 15527:2010 Пластмассы. Листы из полиэтилена, полученные методом прямого компрессионного формования. Требования и методы испытания

3. EN 295-3:2012 Системы глазированных керамических труб для дренажа и канализации. Часть 3: Методы испытаний.

4. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. Издание второе. - М: Химия, 1968. - 536 с.

5. ИСО 6721-7:1996. Пластмассы. Определение механических свойств при динамическом нагружении. Часть 7. Крутильные колебания. Нерезонансный метод.

6. ГОСТ 24621-91. Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору).

7. ГОСТ 263-75. Резина. Метод определения твердости по Шору А.

УДК 678

Изменение прочности материала сварных соединений полиэтилена по мере удаления от линии сварки

Д.А. ЧЕРНИКОВ², А.С. ВАСИЛЬЕВА¹, Е.И. ЗАЙЦЕВА², В.В. КОВРИГА¹

¹ ООО "Группа Полимертепло" ² ООО "Группа Полипластик"
kovriga@polyplastic.ru

На трубах двух различных диаметров изучены изменения прочности материалов сварных соединений по мере удаления от линии сварки, оцененные по показателю сопротивления раздиру. Показано, что вблизи линии сварки на расстоянии 1-1,5 мм существует зона пониженной прочности, значения сопротивления раздиру в которой могут быть на 25% ниже, чем в среднем по материалу. Картина изменения прочности сохраняется при переходе с одного диаметра труб на другой.

Ключевые слова: сварной шов полиэтилена, прочность при раздире, зона падения прочности.

The change in material strength of welded joints of polyethylene as the distance from the welding line.

With using different diameter polyethylene pipes was studied tier strength near the welding line. Tier properties was detailed of different distance between welding line and point of measurement tier properties. Existence low properties zone was establish on resistance 1–1,5 mm. Between line on welding and point of measurement tier properties. In this zone level of tier properties may be minus 25%. Picture exchange of properties in plastic pipe different diameter is the same.

Keywords: welding zone of polyethylene, tier strength, low properties zone

Анализ прочностных свойств в зоне сварки полиэтиленов, представляет большой интерес. Для оценки характера изменений прочностных характеристик в зоне шва были разработаны специальные методики оценки сопротивления раздиру в зоне между двумя отверстиями. Методика и установка для определения показателя сопротивления раздиру раздирающим элементом первоначально была описана в СТО 73011750-009-2012 "Пластмассы. Метод определения сопротивления раздиру армирующим элементом при различных

температурах на раздвоенных образцах". [1] Определение сопротивления раздиру (H) выполняют путём измерения нагрузки (F), приложенной к раздирающему элементу, и отнесения её к толщине раздираемого участка образца. Установка включает разрывную машину, работающую при постоянной скорости движения траверсы, и снабжена нижним зажимом для крепления образца и верхним зажимом для крепления ветвей раздирающего элемента, выполненным в виде жесткой пластины с зажимными винтами.