

PE-RT – НОВЫЙ КЛАСС ПОЛИЭТИЛЕНОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТРУБ

О КОМПАНИИ DOW

Dow является многоотраслевой химической компанией, которая использует достижения науки и техники в сочетании с «Человеческим Элементом» на благо прогресса человечества. Компания предоставляет широкий ассортимент продукции и услуг заказчикам в 160 странах, объединяя возможности химии и инновационные технологии с принципами устойчивого развития, помогая в обеспечении всем необходимым: от пресной воды, производства продуктов питания и лекарств до лакокрасочных и упаковочных материалов, а также средств личной гигиены. В 2008 г. годовой объем продаж составил 57,5 млрд. долларов США, а штат сотрудников по всему миру – около 46000 человек. 150 производственных площадок компании по производству около 3300 материалов расположены в 35 странах. 1 апреля 2009 г. Dow завершила сделку по приобретению компании Rohm and Haas, международного поставщика специализированных материалов с объемом продаж за 2008 г. в размере 10 млрд. долл. США, 98 производственными площадками в 30 странах и штатом сотрудников, насчитывающим 15000 человек по всему миру. Слова «Dow» или «Компания» далее означают компанию Dow Chemical и ее консолидированные дочерние компании, если не указано иное.

Более подробную информацию о продукции, инновационных разработках и услугах подразделения Dow Plastics можно получить на сайте в Интернете: www.plasticpipes.com.

Представительство Dow Europe GmbH
Россия 119311, Москва
проспект Вернадского, 6
Тел. +7 495 663 78 20
www.dow.com
www.plasticpipes.com



Дополнительные копии этого документа, так же как и прочая литература Dow могут быть бесплатно загружены с нашего сайта в Интернете www.dow.com. Получение и распространение литературы в электронном виде поможет сохранить природу, уменьшить загрязнения и сэкономить Ваши деньги.

Примечание: Фотографии, приведенные в этой брошюре, подразумевают возможное использование конечной продукции, но не обязательно означают существующее коммерческое применение, так же не являются подтверждением использования существующих продуктов Dow. Фотографии являются только иллюстрациями и не отражают спонсорство или соглашение с каким-либо переработчиком на использование материалов для специфического возможного конечного изделия или конечного применения, или специфических продуктов, производимых компанией Dow.

Примечание: Опубликованный материал не дает права использовать патенты Dow или другие патенты. Поскольку условия использования и соответствующие стандарты могут отличаться в различных регионах и меняться со временем, заказчик несет ответственность в определении того, что продукт и представленная в этом документе информация подходит для требуемого использования. Заказчик должен быть уверен в том, что рабочее место и производственные отходы согласуются с соответствующими правительственными законами и постановлениями. Dow не допускает каких-либо обязательств или ответственности за информацию в этом документе. ГАРАНТИИ НЕ ПРЕДОСТАВЛЯЮТСЯ. ВСЕ СВЯЗАННЫЕ ТОРГОВЫЕ ГАРАНТИИ ИЛИ ГАРАНТИИ СООТВЕТСТВИЯ ДЛЯ СПЕЦИФИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КАТЕГОРИЧЕСКИ ИСКЛЮЧЕНЫ.

Примечание: Если материал обозначен как «экспериментальный» или «находящийся в стадии разработки», то: (1) спецификация на материал полностью не определена, (2) необходимо проанализировать возможные меры предосторожности при переработке и использовании, (3) Dow с большей вероятностью может изменить спецификацию на материал или отказаться от его дальнейшего производства.

Медицинская политика компании Dow: Dow не будет сознательно продавать ни один продукт или сервис для конечного применения или использования на стадии разработок в следующих областях:
а. возможный длительный контакт с внутренними тканями или жидкостями организма. Под длительным контактом подразумевается контакт более 72 часов (кроме 30 дней для PELLETHANE™ – полиуретановый эластомер);
б. использование в устройствах кардио-протезах независимо от срока эксплуатации;
в. использование в качестве критических компонентов медицинских устройств поддержания жизни;
г. использование беременными женщинами или применение в специфических областях, связанных с репродукцией человека.

В дополнение, все продукты, предназначенные для использования в медицинских целях (кроме упаковки) должны пройти тестирование в соответствии с существующими фармацевтическими требованиями.

- Необходимо проводить бизнес оценку, перед предоставлением образцов или реализацией материалов группы Plastics для новых заказчиков.
- Официальные дистрибьюторы и трейлеры будут придерживаться этих существующих фармацевтических требований.
- Dow не декларирует и не подтверждает пригодность использования своих продуктов в специфических медицинских применениях. Это является ответственностью производителя медицинских устройств определить, что материал Dow безопасен и технически совместим в предполагаемом применении. DOW НЕ ДАЕТ ГАРАНТИЙ, ПРЯМЫХ ИЛИ КОСВЕННЫХ, ОТНОСИТЕЛЬНО СОВМЕСТИМОСТИ ЛЮБЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ.

ДЕТЛЕФ ШРАММ ОТДЕЛ ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПЛАСТМАСС THE DOW CHEMICAL COMPANY

Внедрение в практику труб из новых материалов и новых процессов изготовления труб продолжает расти, и полиэтилен повышенной термостойкости (PE-RT), более 20 лет служивший для изготовления труб для систем бытового холодного и горячего водоснабжения, находит все более широкое промышленное применение. Проектировщики и монтажники промышленных систем оценили прочностные характеристики и технологичность полиэтилена повышенной термостойкости, позволяющие изготавливать из него трубы большого диаметра для промышленных применений, в которых обычный полиэтилен не может использоваться или его использование имеет температурные ограничения.

В данной статье рассмотрены технические и механические характеристики полиэтилена повышенной термостойкости, в основном, на примерах бытовых труб из этого материала с привлечением некоторых данных по промышленному использованию.

СИСТЕМЫ ТРУБОПРОВОДОВ БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ОБЗОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Трубопроводы бытового назначения служат обычно для подачи горячей и/или холодной воды по напорным сетям отопления и питьевого водоснабжения в зданиях. К этому же классу применения труб также относятся системы для плавления снега, а

также системы утилизации теплой воды различных классов и областей применения («теплый пол», подводка к радиаторам системы отопления, трубы для санитарно-технического оборудования) описаны в стандарте ISO 10508⁽¹⁾.

Такие трубопроводы обычно рассчитаны на напор воды от 2 до 10 бар и температуру до 70°C, а при сбоях в работе системы температура может достигать 95-100°C. Условия использования труб для горя-

Таблица 1. Определение термина «трубы для бытового применения»

Требования:

- Давление: 2-10 бар
- Температура: 20-110°C (температура при сбое в системе 95-100°C, термоустойчивость системы до 110°C)
- Срок эксплуатации: минимум 50 лет
- Соответствие требованиям к качеству питьевой воды

Традиционно на рынке труб бытового назначения доминировали медные и оцинкованные стальные трубы. За последние 25-30 лет в этом сегменте рынка значительно возросла доля пластмассовых труб. Однако в большинстве регионов мира

преобладающим материалом все еще остается медь. Наибольшую долю пластмассовые трубы завоевали на европейском рынке: около 50%. Мировое потребление пластмасс для изготовления труб для горячей воды оценивается в 120000 ме-

трических тонн в год, причем половина от этого количества приходится на Европу.

Преимуществом пластика является отсутствие коррозии и стойкость ко многим химикатам. Пластмассовые трубы

отличаются гибкостью и легкостью монтажа (в том числе в виде замкнутых труб), а герметизация стыков достигается путем сварки, и легкий вес труб упрощает их транспортировку и работу с ними на месте.

Наиболее предпочтительным пластиком для изготовления труб бытового назначения является полиэтилен (PE), немного уступают ему статистический сополимер полипропилена (PP-R) и полибутилен (PB), и в меньшей степени используется хлорированный полихлорвинил (С-PVC). В то

время как статистический сополимер полипропилена, полибутилен и хлорированный полихлорвинил отличаются хорошими высокотемпературными свойствами, традиционно полиэтилен был непригоден для этого рынка, так как его верхняя эксплуатационная температура слишком низка. Для достижения желательной длительной гидростатической прочности при высокой температуре требуется сшивка полиэтилена (PEX).

Полиэтилену повышенной термостойкости PE-RT присуща высокая долго-

временная прочность при повышенных температурах без необходимости сшивки в сочетании с легкостью обработки, что позволяет применять его в изготовлении труб большого диаметра, в частности промышленных и многослойных структурированных труб. Такие трубы можно использовать в трубопроводах, рассчитанных на более высокие температуры, чем предельные рабочие температуры применяемых в настоящее время труб из полиэтилена высокой плотности (HDPE).

ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Полиэтилен высокой плотности отличается хорошими прочностными свойствами при повышенных температурах и поэтому часто используется как упаковочный материал в случаях, требующих хороших высокотемпературных свойств. Ползучесть этого материала при длительном воздействии высокой температуры делает его непригодным для долговременной службы, например в трубопроводах с горячей водой. Характеристики ползучести полиэтилена можно улучшить, уменьшив плотность матери-

ала. К сожалению, материалы с более низкой плотностью не обладают достаточно длительной гидростатической прочностью (LTHS).

В понимании зависимости свойств полимеров полиэтилена от их структуры достигнуты большие успехи. Усовершенствование разработки технологического процесса и развитие катализаторов дают возможность управления введением и размещения сомономера в основной цепи полимера. Более высокая

точность в определении микрокристалличности полимера позволяет добиться новой комбинации эксплуатационных характеристик получаемого материала. Теперь доступны полиэтилены, которые при заданной жесткости сочетают в себе хорошие эксплуатационные характеристики при высоких температурах с гибкостью или уменьшенной длительной ползучестью. Главную роль в характеристиках долговременной пластической ползучести полимера играют цепи связи.

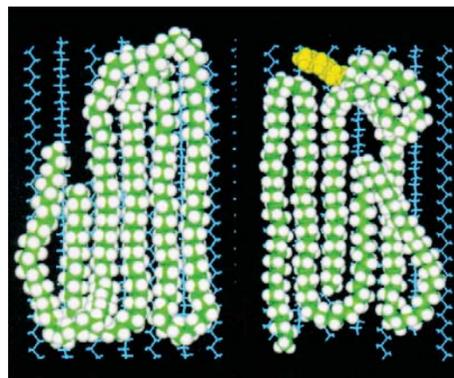
Таблица 2. Новые эксплуатационные характеристики полиэтилена за счет модификации молекулярной архитектуры

- Оптимизация концентрации цепей связи
- Управление способом введения сомономера в основную цепь полимера: кристаллическая микроструктура

Рис. 1. Влияние микроструктуры на процесс кристаллизации⁽²⁾.

Ответвление — гексил:

- Препятствует размещению цепи в кристалле
- Складывание цепи занимает больше времени
- Единичное ответвление влияет на цепь только вблизи точки связывания



Более низкая вязкость DOWLEX 2388 при высоких скоростях сдвига позволяет увеличивать производительность технологических линий при изготовлении труб методом экструзии, особенно в процессах с высокими скоростями сдвига, например при экструзии тонкостенных и композитных труб (PE/Al/PE). Во время испытаний у изготовителей экструзионного оборудования труба диаметром 20 мм и с толщиной стенки 2 мм изготавливалась на технологической линии со скоростью > 60 м/мин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За счет усовершенствования молекулярной архитектуры и возможностей управления процессом полимеризации теперь стало возможным получение полиэтиленов с исключительной длительной гидростатической прочностью при высоких температурах. Эти полимеры стали основой нового класса полиэтиленовых материалов: PE-RT (полиэтилен повышенной термостойкости) для труб, применяемых в промышленных и бытовых системах с горячей водой.

Уникальность этих материалов заключается в том, что для них не требуется сшивка для получения желаемой длительной гидростатической прочности при высокой температуре. Благодаря этому они значительно более технологичны, чем сшитые полиэтилены (PEX). Трубы из PE-RT под-

ходят для всех областей применения труб с горячей водой. Материал DOWLEX 2388 соответствует требованиям стандарта ISO 10508 для всех классов применения труб в бытовых и промышленных системах с горячей водой. Целевое предназначение полиэтилена DOWLEX 2388, к которому стремились при его разработке, — эффективно конкурировать с материалами, используемыми для изготовления монолитных водопроводных труб (относящихся к классу 2 стандарта ISO 10508), поскольку DOWLEX 2388 превосходит эти материалы по длительной гидростатической прочности при высоких

температурах. Другая область применения, где DOWLEX 2388 также имеет преимущества, — высокоскоростная экструзия композитных (металлопластиковых) труб PE/Al/PE.

Для промышленных применений полезна выдающаяся долговременная термостойкость DOWLEX 2388 (например, при 70 °C срок эксплуатации труб больше 73 лет, а при 80 °C — больше 25 лет), а также превосходная свариваемость, позволяющая устанавливать трубы большого диаметра, используя сварку встык или электрическую сварку плавлением.

Еще одно преимущество полиэтилена DOWLEX 2388 - его великолепная технологичность, дающая возможность использования высокоскоростной экструзии, особенно при изготовлении композитных труб PE/Al/PE.

Достоинства полиэтилена повышенной термостойкости PE-RT позволяют применять его для изготовления труб большого диаметра, в частности, промышленных и многослойных структурированных труб. Такие трубы можно использовать в трубопроводах, рассчитанных на более высокие температуры, чем предельные рабочие температуры применяемых в настоящее время труб из полиэтилена высокой плотности (HDPE).

ССЫЛКИ

1. ISO 10508, дата публикации: 1995-10 Thermoplastics pipes and fittings for hot and cold water systems
2. Seguela, F. Rietsch, J. Mater. Sci., 23, 415 (1988).
3. Butterworth Scientific (1983).
4. ISO/DIS 9080, дата публикации: 1998-02 Plastics piping and ducting systems - Determination of the long-term hydrostatic strength of thermoplastics material in pipe form by extrapolation (пересмотр стандарта ISO/TR 9080: 1992)
5. ISO 1043-1, дата публикации: 1997-03 Plastics - Symbols and abbreviated terms - Part 1: Basic polymers and their special characteristics
6. DIN 16833, дата публикации: 2001-06 Polyethylene pipes of raised temperature resistance - General quality requirements, testing
7. DIN 4721, дата публикации: 2001-06 Plastic piping systems for warm water floor heating systems and radiator connecting - Polyethylene of raised temperature resistance (PE-RT)
8. KIWA: BRL K-536/03 часть G, Plastic Piping Systems of PE/Al Composites for Transport of Cold and Hot Drinking Water. (ISO 10508, класс 2)BRL-5602, Plastics Piping System of PE for Underfloor Heating: High Load (ISO 10508, класс 4). BRL-5607, Plastics Piping Systems of PE or PE/Al Composite for Heating Installation: Radiator Connections (ISO 10508, класс 5).
9. Перечень PPI, TR4/2001, HD/PDB/MRS перечисленные материалы
10. ASTM F 1282, дата публикации: 2001 Standard Specification for Polyethylene/Aluminum/Polyethylene (PE-AL-PE) Composite Pressure Pipe
11. ISO 10146 Crosslinked Polyethylene (PE-X) pipes - effect of time and temperature on the expected strength.

Длительность испытания при 110°C существенно более года позволяет провести экстраполяцию до периода более 50 лет для получения эксплуатационных характеристик трубы при 70°C, используя коэффициенты экстраполяции из стандарта ISO 9080⁽⁴⁾. Этот материал обладает расчетным напряжением, сравнимым с характе-

ристиками сшитых полиэтиленов, но его преимуществом является устранение необходимости сшивки. Расчетное напряжение служит основой для расчета толщины стенок труб для различных условий, определенных в стандарте ISO 10508 и национальных классах давления.

В таблице 7 сравниваются расчетные напряжения для бытовых труб из полиэтиленов DOWLEX 2388, PEX и PE-RT (классы 1-5 стандарта ISO-10508). Ввиду близости значений расчетных напряжений DOWLEX 2388 и PEX необходимая толщина стенок труб из этих материалов будет одинакова для всех диаметров труб.

Таблица 7. Расчетное кольцевое напряжение для DOWLEX 2388 и PEX

ISO 10508	Область применения	PE-X DIN 16892* [МПа]	CUAP для DOWLEX 2388, тип II [МПа]	DOWLEX 2388 (PE-RT тип II)** [МПа]
Класс 1	Водоснабжение при 60°C	3,86	3,81	4,17
Класс 2	Водоснабжение при 70°C	3,55	3,54	3,95
Класс 4	Теплый пол и низкотемпературные радиаторы	4,01	3,84	4,02
Класс 5	Высокотемпературные радиаторы	3,25	3,10	3,41

* Минимальные требования по нормам DIN
** Данные получены в компании Borealis Polymer AB

В таблице 8 приведены расчетные сроки эксплуатации труб, изготовленных из DOWLEX 2388, при повышенных температурах. Эти значения основаны на экстраполяции данных, полученных при 110°C, с использованием методов расчета из стандарта ISO 9080. Коэффициенты экстраполяции K_e определены в стандарте ISO 9080 с учетом принципов Аррениуса, и с их помощью можно экстраполировать полученные данные для сроков эксплуата-

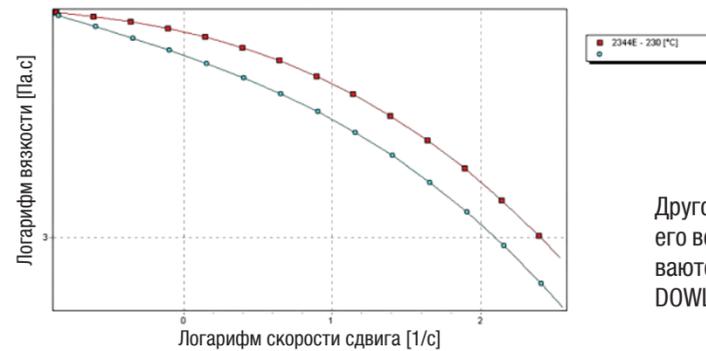
ции при более низких температурах. Так, для разницы температур 40°C коэффициент K_e равен 50. Практически это означает, что результаты испытаний в течение одного года при 110°C экстраполируются на 50 лет эксплуатации при 70°C. Обычно в качестве базиса экстраполяции берется логарифмическое среднее от пяти самых длинных интервалов времени испытания при самой высокой температуре испытания.

Таблица 8.

Температура [°C]	Расч. срок службы [годы]
20	>100
30	>100
40	>100
50	>100
60	>100
70	73,28
80	26,38
90	8,79
95	5,86
100	3,66
110	1,46*

* Логарифмическое среднее пяти результатов при 110°C

Рис. 9. Кривые вязкости DOWLEX 2388 и DOWLEX 2344



Другое достоинство полиэтилена DOWLEX 2388 — его великолепная технологичность. На рис. 9 сравниваются кривые вязкости материалов DOWLEX 2388 и DOWLEX 2344.

На рис. 1 показано, как образуются цепи связки. Слева изображена кристаллическая структура линейного полиэтилена без боковых цепей или коротких ответвлений. Длинная полимерная цепь складывается, и формируется слоистая кристаллическая структура.

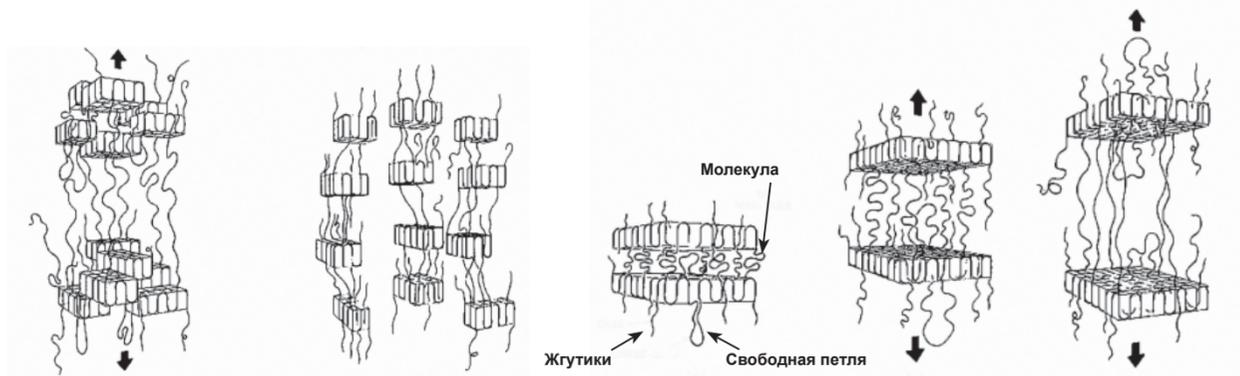
При введении коротких боковых цепей путем введения сомономеров создаются дефекты структуры полимера. Боковая группа гексила от вве-

денного в цепь сомономера октена слишком велика, чтобы уместиться в слоистой кристаллической структуре, и полимерная цепь «выталкивается» за пределы кристалла. При введении этой цепи в другой кристалл образуется цепь связки.

Это проиллюстрировано на рисунке ниже. Слоистые кристаллические структуры связаны аморфными сегментами полимерной цепи: цепями связки. Вероятность образования

цепей связки возрастает с увеличением длины полимерной цепи. Известно, что молекулы цепей связки повышают ударопрочность полимера и стойкость к растрескиванию под действием напряжения окружающей среды (ESCR) или свойства длительной ползучести за счет связывания между собой нескольких кристаллов. Цепи связки обладают растяжимостью и подвижностью, благодаря чему они способны поглощать и рассеивать энергию.

Рис. 2. Молекулы цепей связки повышают ударопрочность полимера⁽³⁾.

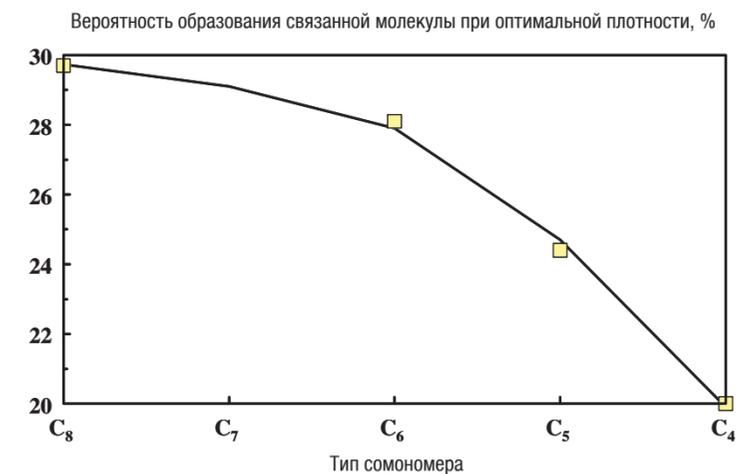


Стадии вязкой деформации (деформации ползучести) полиэтилена (© Butterworth Scientific, 1983 г.)

Начальные стадии деформации полиэтилена (© Butterworth Scientific, 1983 г.)

Концентрация цепей связки зависит также от типа введенного сомономера. Октен-1 эффективнее, чем более короткие α -олефины (см. рис. 3).

Рис. 3. Влияние типа сомономера на вероятность образования цепей связки



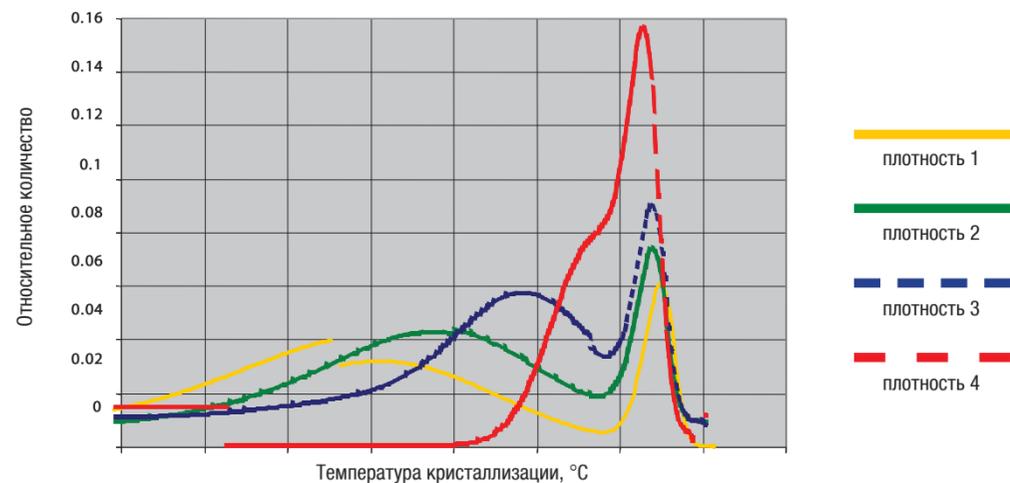
Это объясняется тем, что более длинным боковым ответвлениям введенной в цепь молекулы октена труднее разместиться в растущем кристалле. В результате вероятность образования ими цепей связки выше при одинаковой концентрации сомономера в каждом случае.

Важным аспектом разработки является управление количеством сомономера и способом его введения в полимерную цепь. На рис. 4 показаны кривые кристаллизации сополимеров этилена-октена разной плотности, полученных патентованным

способом компании Dow. Кривые сняты методом Crystaf (метод анализа фракционного состава полимера по температурам кристаллизации фракций). При направленном введении сомономера в полимерную цепь можно получить полимеры с различной морфологией и разным балансом свойств. Кривые, приведенные на рисунке, по сути отображают молекулярную архитектуру, созданную в процессе гетерогенной полимеризации. Линейные молекулы с самой высокой степенью кристалличности кристаллизуются при наиболее высо-

кой температуре. Так как гетерогенный полимер состоит из молекул с варьирующейся концентрацией сомономера, приведенные кривые, полученные методом Crystaf, представляют распределение сомономера. При одинаковом молекулярном весе самые высокие шансы на образование цепей связки имеют молекулы, кристаллизующиеся в среднем интервале температур. Управляя распределением сомономера и молекулярным весом полимера, можно управлять концентрацией цепей связки.

Рис. 4. Распределение разных сополимеров этилена-октена по химическому составу



С применением этих концепций проектирования молекул было разработано новое семейство полиэтиленовых смол DOWLEX™ для рынка труб, предназначенных для горячего и холодного водоснабжения.

Эти разработки явились основой для создания нового класса полиэтиленовых материалов для высокотемпературных применений. В стандарте ISO-1043-1⁽⁶⁾ эти материалы определены как полиэтилен повышенной термостойкости (PE-RT). Полиэтилен PE-RT имеет великолепную длительную гидростатическую прочность без необходимости сшивки. Это обеспечивает изготовителям труб значительные преимущества в технологических свойствах по сравнению с

сшитым полиэтиленом PEX. Трубы из полиэтиленов PE-RT могут использоваться во всех системах с горячей водой, описанных в стандарте ISO 10508.

Первым представителем полиэтиленов DOWLEX для труб этой категории является DOWLEX 2344, сополимер этилена с октеном, получаемый патентованным способом компании Dow. При разработке этого продукта ставилась задача добиться сочетания очень хорошей длительной гидростатической прочности и исключительной гибкости.

Полиэтилены DOWLEX успешно использовались в системах горячего водоснабжения и отопления в те-

чение почти 20 лет. Их длительная гидростатическая прочность в сочетании с очень высокой гибкостью сделали DOWLEX 2344 наиболее предпочтительным материалом для труб отопительных систем.

Сводка характеристик DOWLEX 2344 приведена в таблице 5. Трубы, изготовленные из полиэтилена DOWLEX 2344, отличаются исключительной длительной гидростатической прочностью без необходимости сшивки полимера. Благодаря этому они получили одобрение во многих странах и широко применяются для горячего водоснабжения и отопления. В частности, полиэтилен DOWLEX 2344 одобрен в Германии (стандарт DIN 16833⁽⁶⁾ для PE-RT и соответствующий

стандарт по применению DIN 4721), в Нидерландах (стандарты KIWA⁽⁶⁾ — одобрение для всех областей применения с горячей водой); в США (перечень PPI⁽⁶⁾ для 80°C, DOWLEX 2344 как единственный несшитый полиэтилен; и для многослойных труб — стандарт ASTM1282-01A⁽¹⁰⁾; и стандарт ISO 24033 (PE-RT) и соответствующий стандарт для систем — стандарт ISO DIS 22391 части 1-5 (трубы из PE-RT

для холодного и горячего водоснабжения).

Трубы, изготовленные из полиэтилена DOWLEX 2344, обладают исключительной гибкостью, что облегчает их монтаж в бытовых и промышленных системах. Трубы могут изготавливаться быстро, без сшивки, что позволяет в дальнейшем для стыковки труб использовать сварку плавле-

ем. Трубы из DOWLEX 2344 имеют гладкую поверхность с обеих сторон, благодаря чему снижаются потери давления и образование отложений. Устранение этапа сшивки удешевляет технологический процесс изготовления полимера PE-RT по сравнению с полиэтиленами, которым требуется сшивка. Для многослойных композитных труб это главное преимущество.

Таблица 5. Характеристики полиэтилена DOWLEX 2344 как материала для труб горячего и холодного водоснабжения

- Одобрен для систем горячего водоснабжения и отопления во многих странах:
 - DIN 16833 (PE-RT); KIWA для всех применений труб для горячей воды
 - перечень PPI для 80°C; ASTM F 1282 (многослойные трубы)
 - ISO/FDIS 24033 — системный стандарт для пластиковых трубопроводных сетей
 - ISO/FDIS 22391 части 1-5 — стандарты для пластиковых трубопроводных сетей горячего и холодного водоснабжения
- Рентабельный процесс изготовления труб: 1 стадия, без сшивки
- Высокая гибкость = легкость установки однослойных труб
- Великолепная свариваемость
- Наиболее предпочтительный материал в быстрорастущем сегменте композитных труб благодаря значительным преимуществам в технологических свойствах

Самый новый представитель семейства полиэтиленов DOWLEX для труб — DOWLEX 2388, материал, сочетающий превосходную длительную гидростатическую прочность (рис. 6) с великолепной технологичностью.

Рис. 6. Испытание DOWLEX 2388 на кольцевое напряжение, метод в соответствии со стандартом ISO 9080

