

Роль силиконового поверхностно-активного вещества в пенополиуретане и структуре ячеек

Введение

Поверхностно-активные вещества являются одними из важных добавок, используемых при производстве пенополиуретана. Они играют важную роль в стабилизации пены, улучшении эмульгирования жидких компонентов и регулировании размера ячеек. Кроме того, поверхностно-активные вещества способствуют улучшению поверхности пены и помогают предотвращать такие дефекты, как эффект «апельсиновой корки» и образование пустот.

Поверхностно-активные вещества могут быть силиконовыми и несиликоновыми. Силиконовые поверхностно-активные вещества способствуют стабилизации пенополиуретана в процессе вспенивания. Снижая поверхностное натяжение, они улучшают однородность жидких компонентов, которые могут иметь ограниченную смешиваемость из-за различий в гидрофильности и гидрофобности.

Поверхностно-активные вещества также помогают контролировать ячеистую структуру пены, регулируя размер и однородность ячеек. Поэтому выбор подходящего ПАВ с учетом типа пены и требуемых конечных свойств имеет большое значение.

Структура и влияние силиконовых ПАВ на пенополиуретан

Для производства пенополиуретана необходимы поверхностно-активные соединения, в том числе стабилизаторы пены. На начальной стадии сферические газовые пузырьки растут вследствие диффузии вспенивающих газов, а силиконовое ПАВ играет важную роль в контроле и стабилизации этой структуры.

Силиконовое поверхностно-активное вещество содержит гидрофильную и гидрофобную части и располагается на границе раздела между этими двумя фазами.

Эффективность силиконовых ПАВ зависит от таких структурных параметров, как длина гидрофобной основной цепи PDMS (полидиметилсилоксана), количество и длина гидрофильных полиэфирных боковых цепей, а также соотношение этиленоксида (EO) и пропиленоксида (PO) в этих цепях.

Структурные параметры, такие как соотношения $EO/(EO + PO)$ и $(EO + PO)/Si$, являются важными факторами при разработке силиконовых ПАВ. Увеличение содержания этиленоксида и длины полиэфирной цепи может повысить стабильность пены. Более длинная силоксановая цепь также способствует повышению стабильности пены.

Роль силиконового поверхностно-активного вещества

- Снижение поверхностного натяжения системы.
- Эмульгирование: снижение поверхностного натяжения способствует смешиванию и распределению воздуха и улучшает совместимость компонентов реакционной смеси.
- Содействие зародышеобразованию пузырьков в процессе смешивания.
- Стабилизация растущей пены за счет снижения напряжения в стенках ячеек.
- Контроль дренажа (Drainage): ПАВ регулирует движение и отток жидкости из стенок пузырьков и помогает предотвращать слияние ячеек в процессе роста пены.

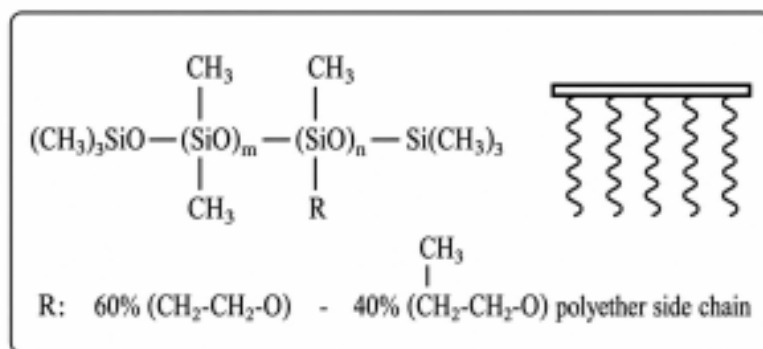


Рисунок 1. Структура силиконового ПАВ в пенополиуретане

Выбор силиконового ПАВ для различных типов пенополиуретана

Традиционные полиэфирные системы (Conventional)

Традиционные полиэфирные системы требуют хорошей стабильности и технологичности. Поэтому молекулярная масса системы полиэфир/силоксан должна быть относительно высокой и может находиться в диапазоне от 20 000 до 80 000 г/моль. Для этих систем также важны длинные привитые полиэфирные цепи и повышенное содержание полиоксипропилена.

Полиэстерные системы

Полиэстерные системы обладают большей стабильностью по сравнению с традиционными системами и поэтому требуют силиконовых ПАВ с меньшей молекулярной массой. Такие ПАВ способствуют формированию подходящей ячеистой структуры и улучшают эмульгирование и смешивание воздуха.

Для мягкого полиэстерного пенополиуретана требуется ПАВ с меньшей активностью, молекулярной массой примерно от 500 до 1500 г/моль и более короткими полиэфирными цепями.

Системы HR и формованный эластичный пенополиуретан

Системы HR обладают хорошей стабильностью благодаря высокой реакционной способности полиолов и наличию сшивающих агентов. Для этих систем особенно важна открытая ячеистая структура. Поэтому подходят силиконовые ПАВ с низкой молекулярной массой силоксановых и полиэфирных сегментов.

Для формованного эластичного пенополиуретана (Flexible Molded Foam) можно использовать низкомолекулярное силиконовое ПАВ с молекулярной массой примерно от 300 до 1500 г/моль.

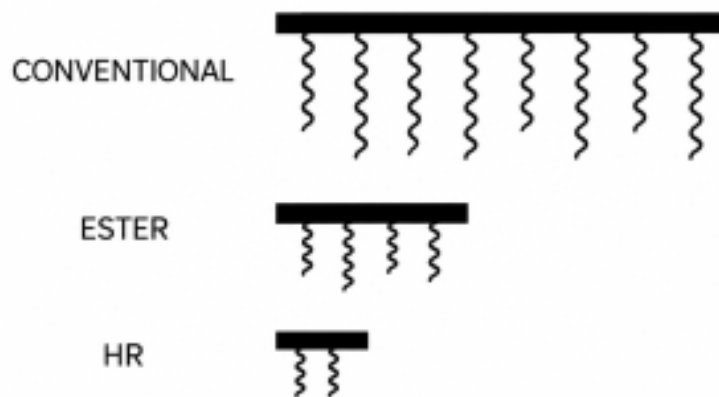


Рисунок 2. Структура силиконового ПАВ для эластичного пенополиуретана

Силиконовые ПАВ в жестком пенополиуретане

Силиконовые ПАВ, используемые в жестком пенополиуретане, должны обладать более высокой поверхностной активностью по сравнению с ПАВ для мягких пен. Их молекулярная масса может находиться в диапазоне от 1500 до 15 000 г/моль. Они могут содержать гидрофильные полиоксиэтиленовые полиэфирные цепи, привитые к гидрофобному PDMS.

Роль силиконового ПАВ в процессе дренажа (Drainage)

Утончение общей стенки между пузырьками под воздействием температуры, дренажа и капиллярных сил может привести к разрыву стенки ячейки. Этот процесс может распространяться на соседние ячейки и в конечном итоге вызывать образование трещин или даже полное разрушение пены.

Силиконовое ПАВ должно способствовать перемещению жидкости к истонченному участку и восстановлению необходимой толщины стенки ячейки. Оно также способствует стабилизации или уменьшению градиентов поверхностного натяжения в стенках ячеек, повышая стабильность пленки.

При этом поверхностный слой может перемещаться из областей с более низким поверхностным натяжением в области с более высоким поверхностным натяжением, помогая пленке восстановить необходимую толщину.

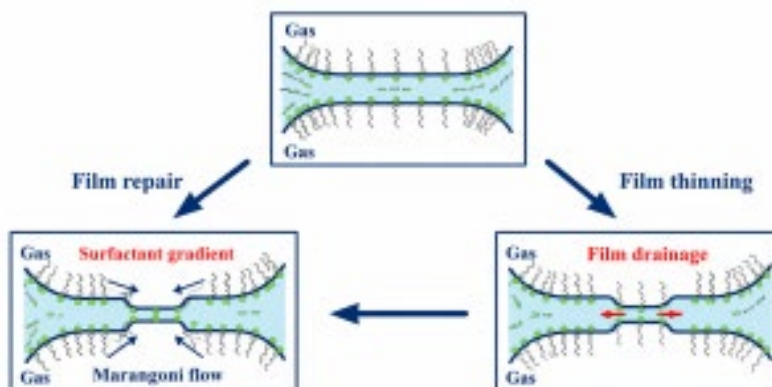


Рисунок 3. Роль силиконового ПАВ в процессе дренажа

Температура помутнения силиконового ПАВ (Cloud Point)

Чем ниже температура помутнения ПАВ, например около 25 °С или ниже, тем выше может быть его способность к зародышеобразованию пузырьков. Напротив, более высокая температура помутнения, например около 90 °С, может указывать на лучшие эмульгирующие и диспергирующие свойства.

Поскольку испытание на температуру помутнения проводится в воде, оно позволяет получить информацию о взаимодействии ПАВ с водой и степени его гидрофильности.

Если помутнение происходит при высокой температуре, близкой к 90 °С, разделение фаз между ПАВ и водой происходит при более высокой температуре. Это указывает на более высокую гидрофильность и большую долю эфирных сегментов, что может улучшить смешиваемость компонентов системы.

Если температура помутнения ниже и составляет около 25 °С, ПАВ является более гидрофобным и содержит меньшую долю эфирных сегментов. В результате оно имеет большую склонность располагаться на границе раздела воздушного пузырька и может действовать как агент зародышеобразования. При таком сравнении также следует учитывать тип эфирных звеньев EO или PO.

Таким образом, температура помутнения силиконового ПАВ позволяет оценить его способность к зародышеобразованию, эмульгированию и промежуточные свойства, что облегчает выбор подходящего силиконового ПАВ для конкретной системы.

Заключение

Силиконовые поверхностно-активные вещества являются важными компонентами для контроля образования и стабильности пенополиуретана. Их химическая структура, длина силоксановых и полиэфирных цепей, а также соотношение EO/PO могут влиять на зародышеобразование, эмульгирование, стабильность пены и структуру ячеек.

Требования к силиконовым ПАВ различаются для полиэфирных, полиэстерных, HR-систем, формованного эластичного и жесткого пенополиуретана. Поэтому подходящее силиконовое ПАВ следует выбирать с учетом типа пены, производственного процесса и требуемых конечных свойств.