

نقش سورفکتانت سیلیکونی در فوم پلی‌یورتان و ساختار سلولی فوم

مقدمه

یکی از مواد افزودنی مهم در تهیه فوم پلی‌یورتان، سورفکتانت یا عامل فعال سطحی است. این مواد نقش مهمی در پایداری و تثبیت فوم، بهبود امولسیون مواد مایع و کنترل ابعاد سلول‌ها دارند. همچنین سورفکتانت‌ها می‌توانند با اصلاح سطح، از ایجاد عیوبی مانند «پوست پرتالی» و تشکیل حفرات جلوگیری کنند.

سورفکتانت‌ها می‌توانند از نوع سیلیکونی یا غیرسیلیکونی باشند. سورفکتانت سیلیکونی به پایداری فوم پلی‌یورتان در طول فرایند فوم شدن کمک می‌کند. کاهش کشش سطحی به واسطه استفاده از سورفکتانت سیلیکونی، سبب یکنواختی بهتر مواد مایعی می‌شود که در برخی موارد به دلیل تفاوت در میزان آبدوستی و آبگریزی، امتزاج‌پذیری مطلوبی ندارند.

همچنین مواد فعال سطحی با تنظیم اندازه و یکنواختی سلول‌ها، به کنترل ساختار سلولی فوم کمک می‌کنند. به همین دلیل، انتخاب سورفکتانت با توجه به کاربرد فوم و خواص نهایی مورد انتظار اهمیت زیادی دارد.

ساختار و تأثیر سورفکتانت سیلیکونی در فوم پلی‌یورتان

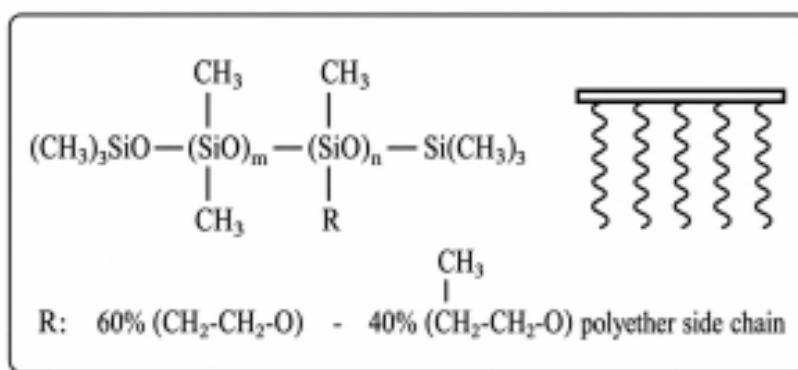
برای تهیه فوم پلی‌یورتان، حضور ترکیبات فعال سطحی مانند تثبیت‌کننده‌های فوم اهمیت زیادی دارد. حباب‌های کروی گاز در ابتدا به دلیل انتشار گازهای پفزا رشد می‌کنند و سورفکتانت سیلیکونی در کنترل و پایداری این ساختار نقش مهمی ایفا می‌کند.

نقش‌های اصلی سورفکتانت سیلیکونی شامل کاهش کشش سطحی سیستم، بهبود امولسیون‌سازی، کمک به هسته‌زایی حباب‌ها در حین اختلاط، پایدار کردن فوم در حال رشد از طریق کاهش تنش در دیواره سلولی و کنترل پدیده Drainage است.

سورفکتانت سیلیکونی دارای یک بخش آبدوست و یک بخش آبگریز است و در ناحیه بین‌سطحی میان این دو فاز قرار می‌گیرد.

عملکرد سورفکتانت‌های سیلیکونی به پارامترهایی مانند طول زنجیر اصلی آبگریز (PDMS پلی‌دی‌متیل‌سیلوکسان)، تعداد و طول زنجیرهای جانبی پلی‌اتر آبدوست و نسبت اتیلن اکساید به پروپیلن اکساید در این زنجیرها بستگی دارد.

پارامترهای ساختاری مانند نسبت‌های $(EO + PO)/Si$ و $EO/(EO + PO)$ از عوامل اصلی در طراحی و ساخت سورفکتانت‌های سیلیکونی هستند. مقدار بیشتر اتیلن اکساید در زنجیر پلی‌اتری و افزایش طول زنجیر پلی‌اتر می‌تواند موجب افزایش پایداری فوم شود. زنجیر سیلوکسانی طولانی‌تر نیز می‌تواند پایداری فوم را افزایش دهد.



شکل ۱. ساختار سورفکتانت سیلیکونی در فوم پلی‌یورتان

انتخاب سورفکتانت سیلیکونی برای انواع فوم پلی‌یورتان

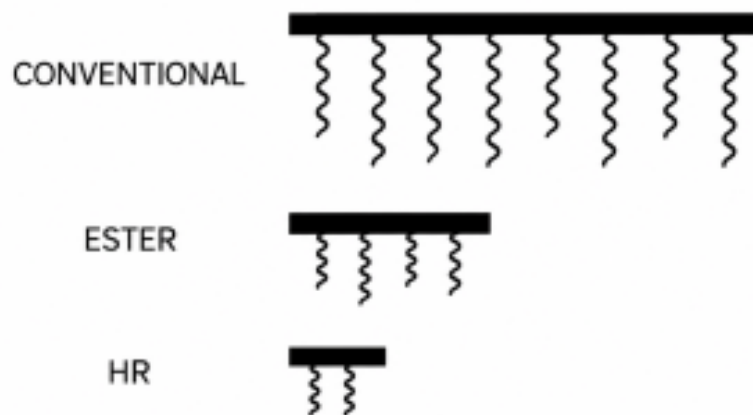
سیستم‌های پلی‌اتر Conventional به پایداری و فرایندپذیری مناسب نیاز دارند. بنابراین، وزن مولکولی سیستم پلی‌اتر/سیلوکسان باید بالا باشد و می‌تواند در محدوده ۲۰۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰ گرم بر مول قرار گیرد. همچنین استفاده از زنجیرهای پلی‌اتری گرافت‌شده بلند و میزان بالاتر پلی‌اکسی‌پروپیلن در این سیستم‌ها اهمیت دارد.

سیستم‌های پلی‌استری نسبت به سیستم‌های Conventional پایداری بیشتری دارند و به سورفکتانت سیلیکونی با وزن مولکولی پایین‌تری نیاز دارند. این سورفکتانت‌ها به ایجاد ساختار سلولی مناسب و بهبود امولسیون و اختلاط هوا کمک می‌کنند. فوم نرم پلی‌استری به سورفکتانتی با فعالیت کمتر، وزن مولکولی حدود ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ گرم بر مول و زنجیر پلی‌اتری کوتاه‌تر نیاز دارد.

سیستم‌های HR به دلیل واکنش‌پذیری بالای پلی‌ال‌ها و حضور کراس‌لینکرها از پایداری مناسبی برخوردارند. در این سیستم‌ها، ایجاد ساختار سلول باز اهمیت زیادی دارد. بنابراین، استفاده از سورفکتانت با وزن مولکولی سیلوکسانی پایین و وزن مولکولی پلی‌اتری پایین مناسب است.

برای فوم نرم قالبی (Flexible Molded Foam) نیز می‌توان از سورفکتانت سیلیکونی با وزن مولکولی پایین، در محدوده ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ گرم بر مول، استفاده کرد.

سورفکتانت سیلیکونی مورد استفاده در فوم سخت باید فعالیت سطحی بالاتری نسبت به سورفکتانت مورد استفاده در فوم نرم داشته باشد. این سورفکتانت‌ها می‌توانند دارای وزن مولکولی بین ۱۵۰۰ تا ۱۵۰۰۰ گرم بر مول باشند و از زنجیرهای پلی‌اتر پلی‌اکسی‌اتیلن آبدوست گرفت شده روی PDMS آب‌گریز تشکیل شوند.



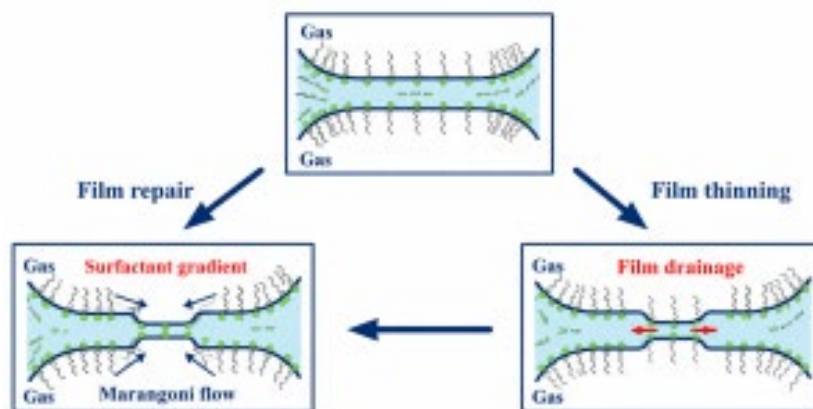
شکل ۲. ساختار سورفکتانت سیلیکونی برای فوم نرم پلی‌پورتان

نقش سورفکتانت سیلیکونی در پدیده Drainage

نازک شدن ناحیه دیواره مشترک بین حباب‌ها در اثر عواملی مانند دما، پدیده Drainage و عملکرد مویرگی می‌تواند منجر به پارگی دیواره سلولی شود. این اثر ممکن است به سلول‌های مجاور نیز گسترش پیدا کند و در نهایت موجب ایجاد شکاف در فوم یا حتی فروپاشی کامل آن شود.

سورفکتانت باید به‌گونه‌ای عمل کند که مایع به سمت ناحیه نازک‌شده حرکت کرده و به بازیابی ضخامت دیواره سلولی کمک کند. سورفکتانت همچنین با تثبیت یا کاهش گرادیان‌های کشش سطحی در دیواره سلولی، به پایداری فیلم کمک می‌کند.

در این شرایط، لایه سطحی می‌تواند از نواحی با کشش سطحی پایین‌تر به سمت نواحی با کشش سطحی بالاتر حرکت کند و در نتیجه فیلم به ضخامت مناسب خود بازگردد.



شکل ۳. نقش سورفکتانت سیلیکونی در پدیده Drainage

نقطه ابری سورفکتانت سیلیکونی (Cloud Point)

هرچه دمای ابری شدن سورفکتانت پایین‌تر باشد، برای مثال نزدیک به ۲۵ درجه سانتی‌گراد یا کمتر، نشان‌دهنده خاصیت هسته‌زایی قوی‌تر سورفکتانت سیلیکونی است. در مقابل، هرچه دمای ابری شدن بالاتر و برای مثال نزدیک به ۹۰ درجه سانتی‌گراد باشد، می‌تواند نشان‌دهنده خاصیت امولسیون‌سازی و پراکنده‌سازی بهتر سورفکتانت باشد.

با توجه به اینکه آزمون نقطه ابری شدن سورفکتانت در آب انجام می‌شود، این آزمون اطلاعاتی درباره برهم‌کنش سورفکتانت با آب و میزان آبدوستی آن ارائه می‌دهد.

اگر نقطه ابری شدن در دمای بالا و نزدیک به ۹۰ درجه سانتی‌گراد رخ دهد، جدایی فازی سورفکتانت و آب در دمای بالاتری اتفاق می‌افتد. بنابراین سورفکتانت آبدوست‌تر بوده و بخش اتری آن بیشتر است و در نتیجه امتزاج‌پذیری آن در سیستم افزایش می‌یابد.

در مقابل، اگر نقطه ابری شدن در دمای پایین و نزدیک به ۲۵ درجه سانتی‌گراد رخ دهد، سورفکتانت آب‌گریزی بیشتری داشته و بخش اتری آن کمتر است. در نتیجه، تمایل بیشتری برای قرارگیری در سطح مشترک حباب هوا دارد و می‌تواند به‌عنوان عامل هسته‌زا عمل کند. در این مقایسه باید به نوع واحدهای اتری EO یا PO نیز توجه شود.

بنابراین، بر اساس نقطه ابری شدن هر سورفکتانت سیلیکونی می‌توان خواص هسته‌زایی، امولسیون‌ی یا خواص بینابینی آن را ارزیابی کرد. این ویژگی می‌تواند شناسایی و انتخاب سورفکتانت سیلیکونی مناسب برای یک سیستم مشخص را تسهیل کند.

نتیجه‌گیری

سورفکتانت سیلیکونی یکی از اجزای مؤثر در کنترل فرایند تشکیل و پایداری فوم پلی‌پورتان است. ساختار شیمیایی سورفکتانت، طول زنجیرهای سیلوکسان و پلی‌اتر و نسبت EO و PO می‌تواند بر هسته‌زایی، امولسیون‌سازی، پایداری فوم و ساختار سلولی تأثیر بگذارد.

همچنین نوع سورفکتانت مورد نیاز در سیستم‌های پلی‌اتر، پلی‌استر، HR، فوم نرم قالبی و فوم سخت متفاوت است. بنابراین، انتخاب سورفکتانت سیلیکونی مناسب باید با توجه به نوع فوم، فرایند تولید و خواص نهایی مورد انتظار انجام شود.