

# دور المواد الخافضة للتوتر السطحي السيليكونية في رغوة البولي يوريثان والبنية الخلوية للرغوة

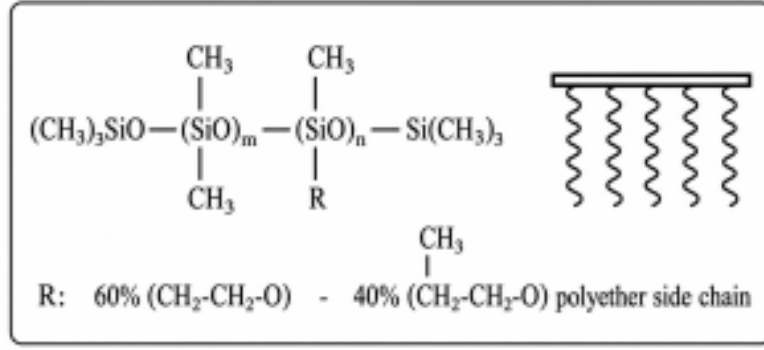
## مقدمة

تُعد المواد الخافضة للتوتر السطحي (Surfactants) من الإضافات المهمة المستخدمة في تحضير رغوة البولي يوريثان. وتؤدي هذه المواد دوراً مهماً في استقرار الرغوة وتثبيتها، وتحسين استحلاب المكونات السائلة، والتحكم في أبعاد الخلايا. كما يمكن أن تساعد على تحسين سطح الرغوة والحد من ظهور عيوب مثل مظهر «قشر البرتقال» وتكون الفراغات. يمكن أن تكون المواد الخافضة للتوتر السطحي من النوع السيليكوني أو غير السيليكوني. ويساعد الخافض السطحي السيليكوني على استقرار رغوة البولي يوريثان أثناء عملية تكون الرغوة. كما يؤدي خفض التوتر السطحي إلى تحسين تجانس المكونات السائلة التي قد لا تتمتع بقابلية امتزاج مناسبة بسبب الاختلاف في درجة محبة الماء وكراهية الماء. وتساهم المواد الفعالة سطحياً أيضاً في التحكم في البنية الخلوية للرغوة من خلال تنظيم حجم الخلايا وتجانسها. لذلك، يُعد اختيار الخافض السطحي المناسب وفقاً لنوع الرغوة والخصائص النهائية المطلوبة أمراً بالغ الأهمية. بنية وتأثير الخافض السطحي السيليكوني في رغوة البولي يوريثان

يتطلب تحضير رغوة البولي يوريثان وجود مركبات فعالة سطحياً مثل مثبتات الرغوة. ففي البداية، تنمو فقاعات الغاز الكروية نتيجة انتشار غازات النفخ، ويؤدي الخافض السطحي السيليكوني دوراً مهماً في التحكم في هذه البنية واستقرارها. يتكون الخافض السطحي السيليكوني من جزء محب للماء وجزء كاره للماء، ويتمركز عند السطح البيني بين هاتين المرحلتين.

يعتمد أداء المواد الخافضة للتوتر السطحي السيليكونية على عوامل بنيوية مثل طول السلسلة الرئيسية الكارهة للماء من PDMS (Polydimethylsiloxane)، وعدد وطول السلاسل الجانبية المحبة للماء من البولي إيثر، ونسبة أكسيد الإيثيلين إلى أكسيد البروبيلين في هذه السلاسل.

وتُعد النسب البنيوية مثل  $EO/(EO + PO)$  و  $Si/(EO + PO)$  من العوامل الرئيسية في تصميم المواد الخافضة للتوتر السطحي السيليكونية. ويمكن أن تؤدي زيادة محتوى أكسيد الإيثيلين وطول سلسلة البولي إيثر إلى زيادة استقرار الرغوة. كما يمكن للسلسلة السيلوكسانيّة الأطول أن تعزز استقرار الرغوة.



الشكل ١. بنية الخافض السطحي السيليكوني في رغوة البولي يوريثان

دور الخافض السطحي السيليكوني

- خفض التوتر السطحي للنظام.
- الاستحلاب: يساعد الخافض السطحي على تحسين اختلاط الهواء وتوزيعه وتعزيز توافق مكونات خليط التفاعل.
- المساعدة على تنوية الفقاعات أثناء عملية الخلط.
- تثبيت الرغوة أثناء نموها من خلال تقليل الإجهاد في جدران الخلايا.
- التحكم في ظاهرة Drainage ومنع اندماج الخلايا أثناء نمو الرغوة.

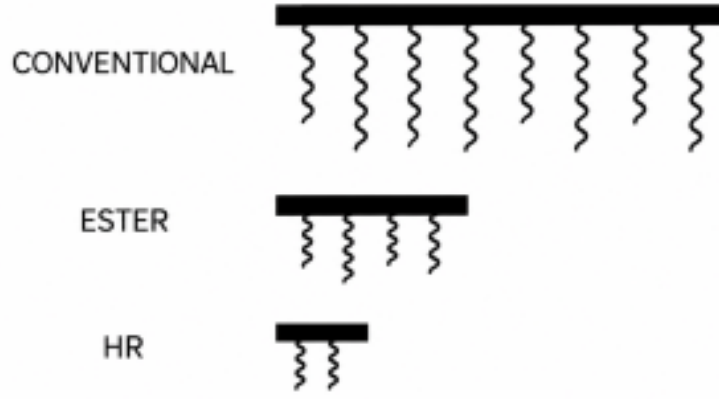
اختيار الخافض السطحي السيليكوني لأنواع رغوة البولي يوريثان

تحتاج أنظمة البولي إيثر التقليدية (Conventional) إلى استقرار جيد وقابلية معالجة مناسبة. لذلك، ينبغي أن يكون الوزن الجزيئي لنظام البولي إيثر/السيلوكسان مرتفعاً، ويمكن أن يتراوح بين ٢٠٠٠٠ و ٨٠٠٠٠ غرام/مول، مع سلاسل بولي إيثر مطعّمة طويلة ومحتوى أعلى من البولي أوكسي بروبيلين.

تتميز أنظمة البوليستر باستقرار أعلى مقارنة بالأنظمة التقليدية، ولذلك تحتاج إلى خافض سطحي سيليكوني ذي وزن جزيئي أقل. وتحتاج رغوة البوليستر المرنة إلى خافض سطحي ذي نشاط أقل ووزن جزيئي يتراوح تقريباً بين ٥٠٠ و ١٥٠٠ غرام/مول، مع سلاسل بولي إيثر أقصر.

تتمتع أنظمة HR باستقرار مناسب نتيجة التفاعلية العالية للبوليولات ووجود عوامل الربط المتقاطع. ويُعد الحصول على بنية خلوية مفتوحة أمراً مهماً في هذه الأنظمة.

بالنسبة إلى الرغوة المرنة المصبوبة (Flexible Molded Foam)، يمكن استخدام خافض سطحي سيليكوني ذي وزن جزيئي منخفض يتراوح بين ٣٠٠ و ١٥٠٠ غرام/مول.



الشكل ٢. بنية الخافض السطحي السيليكوني للرغوة المرنة

الخافض السطحي السيليكوني في رغوة البولي يوريثان الصلبة

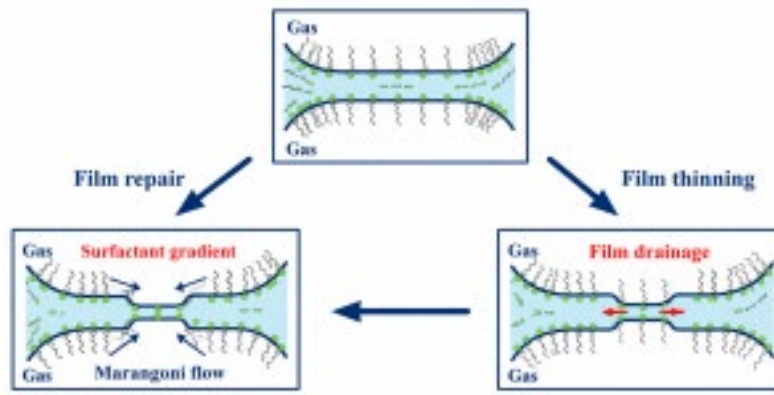
يجب أن يتمتع الخافض السطحي السيليكوني المستخدم في الرغوة الصلبة بنشاط سطحي أعلى من ذلك المستخدم في الرغوة المرنة. ويمكن أن يتراوح الوزن الجزيئي لهذه المواد بين ١٥٠٠ و ١٥٠٠٠ غرام/مول، مع سلاسل بولي إيثر من البولي أوكسي إيثيلين المحب للماء والمطعمة على PDMS الكاره للماء.

دور الخافض السطحي السيليكوني في ظاهرة Drainage

يمكن أن يؤدي ترقق المنطقة المشتركة بين جدران الفقاعات نتيجة عوامل مثل درجة الحرارة وظاهرة Drainage والتأثير الشعري إلى تمزق جدار الخلية. وقد يمتد هذا التأثير إلى الخلايا المجاورة، مما يؤدي في النهاية إلى حدوث تشققات في الرغوة أو حتى انهيارها بالكامل.

يجب أن يساعد الخافض السطحي على انتقال السائل نحو المنطقة الرقيقة لاستعادة السماكة المناسبة لجدار الخلية. كما يعمل على تثبيت أو تقليل تدرجات التوتر السطحي في جدران الخلايا، مما يساعد على استقرار الغشاء.

وفي هذه الحالة، يمكن للطبقة السطحية أن تنتقل من المناطق ذات التوتر السطحي المنخفض إلى المناطق ذات التوتر السطحي الأعلى، مما يساعد الغشاء على استعادة سماكته المناسبة.



الشكل ٣. دور الخافض السطحي السيليكوني في ظاهرة Drainage

نقطة التعكر للخافض السطحي السيليكوني (Cloud Point)

كلما انخفضت درجة حرارة نقطة التعكر للخافض السطحي، على سبيل المثال إلى نحو ٢٥ درجة مئوية أو أقل، دل ذلك على قدره أقوى على تنوية الفقاعات. وفي المقابل، يمكن أن تشير نقطة التعكر الأعلى، مثل القيم القريبة من ٩٠ درجة مئوية، إلى خصائص أفضل من حيث الاستحلاب والتشتت.

وبما أن اختبار نقطة التعكر للخافض السطحي يُجرى في الماء، فإنه يوفر معلومات عن تفاعل المادة الخافضة للتوتر السطحي مع الماء ودرجة محبة الماء لديها.

إذا حدثت نقطة التعكر عند درجة حرارة مرتفعة وقريبة من ٩٠ درجة مئوية، فإن انفصال الطور بين الخافض السطحي والماء يحدث عند درجة حرارة أعلى. وهذا يشير إلى أن الخافض السطحي أكثر محبة للماء ويحتوي على نسبة أكبر من الجزء الإيثري، مما يحسن قابليته للامتزاج داخل النظام.

أما إذا حدثت نقطة التعكر عند درجة حرارة منخفضة وقريبة من ٢٥ درجة مئوية، فإن الخافض السطحي يكون أكثر كراهية للماء ويحتوي على جزء إيثري أقل. ونتيجة لذلك، تزداد قابليته للتمركز عند السطح البيني لفقاعات الهواء، ويمكن أن يعمل كعامل تنوية. كما ينبغي مراعاة نوع وحدات الإيثر EO أو PO.

وبالتالي، يمكن استخدام نقطة التعكر لتقييم خصائص التنوية والاستحلاب والخصائص الوسيطة للخافض السطحي السيليكوني، مما يساعد على اختيار المادة المناسبة لنظام معين.

الخلاصة

يُعد الخافض السطحي السيليكوني أحد المكونات المؤثرة في التحكم في عملية تكوين رغوة البولي يوريثان واستقرارها. ويمكن أن تؤثر البنية الكيميائية للخافض السطحي، وطول سلاسل السيلوكسان والبولي إيثر، ونسبة EO و PO في التنوية والاستحلاب واستقرار الرغوة والبنية الخلوية.

كما يختلف نوع الخافض السطحي المطلوب بين أنظمة البولي إيثر والبوليستر و HR والرغوة المرنة المصبوبة والرغوة الصلبة. لذلك، ينبغي اختيار الخافض السطحي السيليكوني المناسب وفقاً لنوع الرغوة وعملية الإنتاج والخصائص النهائية المطلوبة.