



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش

در دسترس بصورت الکترونیک [@www.jschw.icrc.ac.ir](http://www.jschw.icrc.ac.ir)

نشریه علمی ترویجی
مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jschw.icrc.ac.ir

نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۴، شماره ۴ (۱۳۹۳) ۷۹-۷۱

سازوکارهای کف‌زدایی در سامانه‌های پوششی

حسین یاری^{۱*}، حمیدرضا قاینی^۲

۱- استادیار، گروه پوشش‌های سطح و خوردگی، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴
۲- استادیار، مجتمع دانشگاهی شیمی و مهندسی شیمی، پژوهشکده مواد پراورزی، گروه پژوهشی پیروتکنیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۵۸۷۵-۱۷۷۴

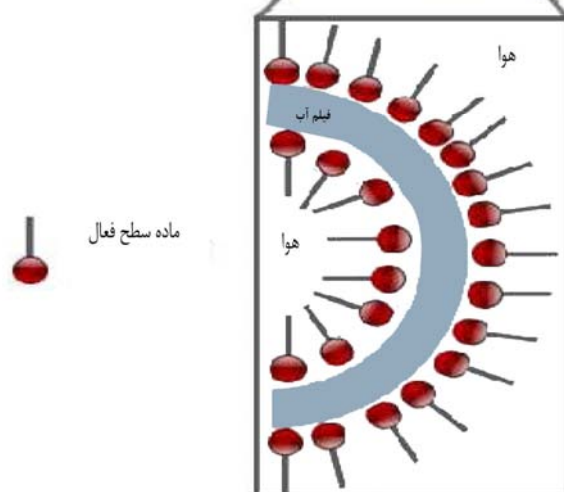
تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۳/۸/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۲۰ در دسترس بصورت الکترونیک: ۹۳/۸/۲۵

چکیده

مشکلات فرآیندی در حین تولید و اعمال و همچنین بروز عیوب سطحی فراوان ناشی از وجود کف در سامانه‌های پوششی، مبارزه با این پدیده را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. در این مقاله سعی شده است پدیده ایجاد کف در سامانه‌های پوششی به‌طور کامل مورد بررسی قرار گیرد. در ابتدا، تعاریف مربوط به کف و تاثیر آن در صنعت پوشش مورد بررسی قرار می‌گیرد. نظر به اینکه مقابله با کف نیازمند دانش کافی درباره چگونگی پایداری کف می‌باشد، ابتدا سازوکارهای پایداری کف بیان می‌شود و در ادامه سازوکارهای حذف کف از سامانه‌های پوششی مطرح و سپس مهم‌ترین مواد و افزودنی‌هایی که این قابلیت را به سامانه‌های پوششی می‌دهند، معرفی می‌گردند.

واژه‌های کلیدی

کف، پایداری کف، کف‌زدایی، کشش سطحی، سامانه پوششی.



* نویسنده مسئول: yari-ho@icrc.ac.ir

De-foaming mechanisms in coating systems

Hossein Yari¹, Hamidreza Ghaieni²

1- Surface coating and Corrosion Department, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765 -654, Tehran, Iran.

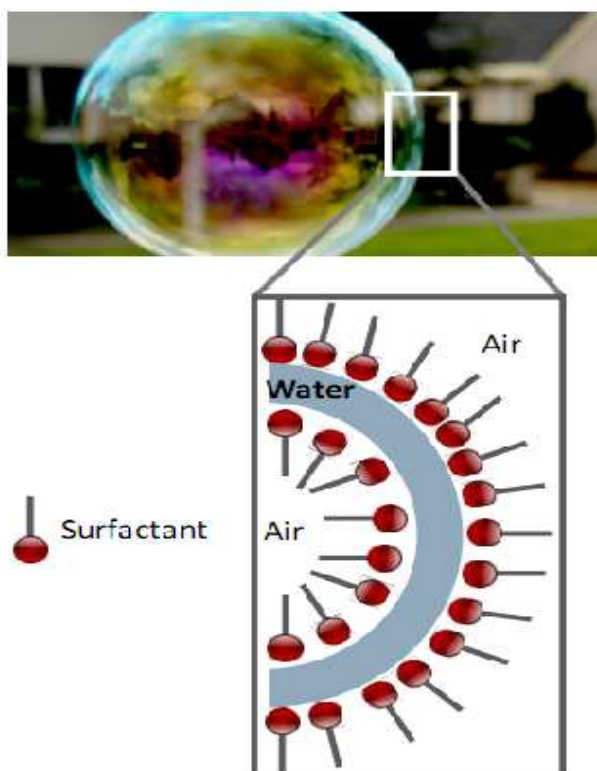
2- Assistant Profssr, Pyrotechnic Group, Energetic materials Department, Chemistry and chemical engineering Complex, Malek Ashtar University of Technology, P. O. Box: 15875-1774, Tehran, Iran.

Abstract

Due to process difficulties during production and application as well as occurrence of undesired surface defects resulted from presence of foam, battling against foam in the coating is inevitable. In this paper, it was attempted to study the foam formation phenomena in the surface coating systems. Firstly, the terminology and some fundamental definitions in the foaming and its importance in surface coating are presented. Since the elimination of foam requires a profound knowledge about how foam is stabilized, the foam stabilizing mechanisms are given. Finally, various mechanisms and materials that are capable to destabilize the foams in the coating formulations are introduced.

Keywords

Foam, Foam stability, Defoaming, Surface tension, Coating systems.



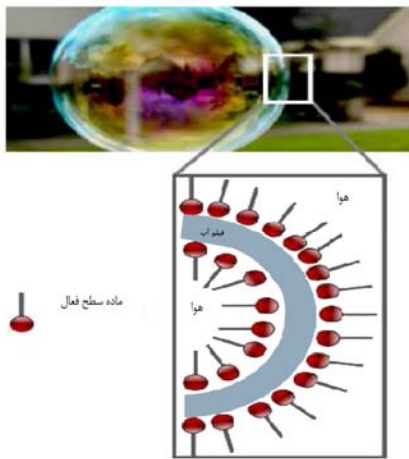
۱- تاثیر کف در صنایع مختلف

کف در همه فرآیندهای تولید مواد صنعتی با کیفیت محصول رابطه تنگاتنگی داشته و بر کیفیت محصول بسیار اثرگذار می‌باشد. به عنوان مثال، یک صابون شستشو دست در صورتی که میزان کف مناسبی تولید نکند، به عنوان یک محصول بی کیفیت تلقی می‌گردد. در بعضی از محصولات نیز کف می‌تواند اثر ناخواسته‌ای داشته باشد و هر چه کف کمتری ایجاد شود، محصول بهتری تلقی خواهد شد. برای نمونه‌ای از این نوع محصولات می‌توان به ماشین‌های آبکشی در ماشین‌های ظرفشویی اشاره کرد. در این ماشین‌های آبکشی هر چه کف کمتری تولید شود، میزان آب کمتری مصرف می‌شود که به لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. صنعت تولید پالپ و کاغذ، صنایع غذایی، رنگرزی منسوجات، صنعت پوشش‌های سطح و صنایع مهمات‌سازی از مهم‌ترین صنایعی هستند که درگیر وجود نامطلوب کف در فرآیند تولید می‌باشند. در صنعت پوشش‌های سطح هوا می‌تواند طی فرآیندهای اختلاط رنگدانه و رزین، آسیاب، پمپ‌کردن حین پرکردن بسته‌بندی و یا طی تنش‌های برشی ناشی از پاشش وارد سامانه رنگ مایع شود. کف در یک سامانه پوششی می‌تواند عوارضی مانند افزایش گرانروی و کاهش بازده فرآیند آسیاب و هدررفت انرژی، افزایش حجم و سرریز کردن طی فرآیند اختلاط، کاهش بازده بسته‌بندی به علت پمپ‌کردن ناکارآمد و از همه مهمتر ایجاد عیوب سطحی روی زمینه پوشش شده و در نتیجه ظاهر نامناسب، کاهش براقیت یا کاهش خواص حفاظت پوشش را در پی داشته باشد [۱].

۲- تئوری کف

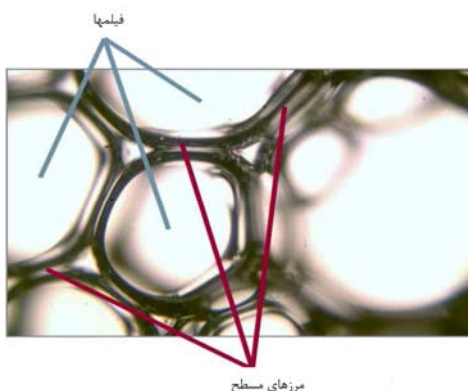
سامانه شامل هوای محبوس شده در یک فیلم مایع که به لحاظ ترمودینامیکی ناپایدار می‌باشد را کف گویند [۲]. از این توصیف می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که:

ناپایداری ترمودینامیکی به معنای ضرورت دادن انرژی به سامانه برای ایجاد کف می‌باشد. این فرآیند نیازمند هوا، یا هر نوع گازی، برای پخش در مایع می‌باشد. این فرآیند نیاز به مایعی دارد که کشش سطحی خاصی داشته تا قابلیت ایجاد فیلم را داشته باشد. آب خالص به علت کشش سطحی بسیار بالایی که دارد، برای تشکیل حباب و کف مناسب نمی‌باشد. قوی بودن نیروهای جاذبه در مایعات با کشش سطحی بالا اجازه پخش و گسترده شدن مایع به صورت یک فیلم نازک در سطح مشترک هوا / مایع را نمی‌دهد. بنابراین برای تولید یک فیلم و در نتیجه تشکیل کف و یا حباب ضروری است تا کشش سطحی کاهش یابد. یک راه معمول برای کاهش کشش سطحی، اضافه کردن ترکیبات سطح فعال^۱ به مایع می‌باشد. شکل ۱ تصویر واقعی و شمایی از جداره یک حباب بوجود آمده از یک مایع حاوی ترکیبات سطح فعال را نشان می‌دهد [۳].



شکل ۱- تصویر واقعی و شمایی از سطح حباب [۳].

حباب‌های کف محفظه‌هایی با شکل چندوجهی از جنس مایع هستند که مولکول‌های گاز را در بر گرفته‌اند. سطوح جداکننده محفظه حباب‌های مجاور را دیواره نازک^۲ گویند. کف از فیلم‌های مایع و سطوح مشترک بین این فیلم‌ها که به عنوان مرزهای مسطح^۳ شناخته می‌شوند، تشکیل می‌شود. شکل ۲ تصویر ۴۰ برابری از کف ناشی از یک محلول حاوی ترکیبات سطح فعال را نشان می‌دهد که در آن فیلم مایع و مرزهای مسطح را نشان می‌دهد. به محل اتصال چند حباب در بخش مرز مسطح قله یا راس^۴ گفته می‌شود. مرزهای مسطح و محل تلاقی راس حباب‌ها، ساختار شبکه لوله‌کشی کف را تشکیل می‌دهند. مرزهای مسطح در ساختار کف بهم پیوسته و متصل می‌باشند و معبر یا کانال تخلیه کف هستند. از این مسیرها مایعات اضافی از ساختار کف تخلیه می‌شود تا اینکه تعادل بین نیروی وزن و نیروی موئینگی لایه‌ها برقرار گردد. انعطاف‌پذیری کف، حاصل حضور مایع در ساختار می‌باشد.



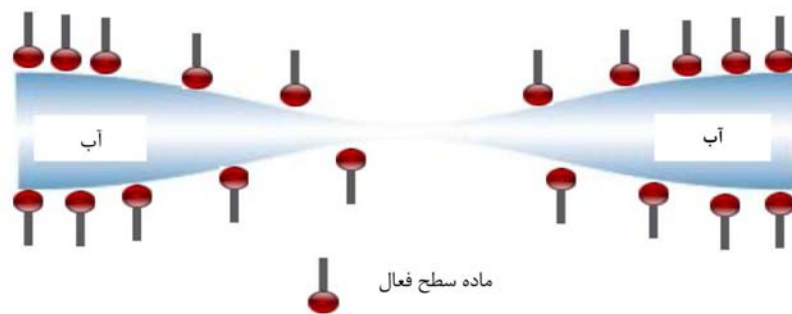
شکل ۲- تصویر ۴۰ برابری از کف ناشی از یک محلول حاوی ترکیبات سطح فعال [۳].

² Lamellae

³ Plateau Borders

⁴ Vertices

¹ Surfactant



شکل ۳- تصویر شمایی از فیلم محلول حاوی ترکیبات سطح فعال هنگامی که کشیده می‌شود [۳].

گردآبایی) از بین می‌روند. امروزه با استفاده از انواع متعددی از ترکیبات سطح فعال می‌توان طول عمر کف‌ها را افزایش داد [۶].

۳- سازوکارهای کف‌زدایی

در علم مربوط به کف، دو مفهوم یا لغت وجود دارد که برخلاف تفاوت‌هایی که بین آن‌ها وجود دارد بعضاً به صورت هم‌معنی و یکسان به کار گرفته می‌شوند. این دو مفهوم عبارتند از "کف‌زدایی"^۵ و "ضدکفی"^۶. کف‌زدایی به مفهوم تخریب و انهدام کف‌های موجود در یک محیط می‌باشد، در حالیکه خاصیت ضدکفی به معنای بازداشتن یا جلوگیری از تشکیل کف می‌باشد [۳، ۶]. کف‌زدها^۷ غالباً باید هر دو خاصیت مذکور را دارا باشند. قبل از بررسی سازوکارهای کف‌زدایی لازم است که جزئیات بیشتری درباره پایداری کف، بیان گردد.

۳-۱- پایداری کف

سازوکارهای متعددی برای پایداری کف‌ها ارائه شده اند که در اینجا به مهم‌ترین آن‌ها پرداخته می‌شود.

اثر مارانگونی^۸: مهم‌ترین سازوکار پایداری کف اثر مارانگونی می‌باشد [۶]. سال‌های انتهایی قرن نوزدهم بود که مشخص شد وقتی محلول حاوی ترکیبات سطح فعال به هر دلیلی جریان پیدا کنند، ماده حل شونده سطح فعال به علت تغییر در غلظت سطحی اضافی، قادر به خلق گرادبان کشش سطحی می‌باشد (حتی تحت شرایط همدم). این تغییرات ممکن است ناشی از نیروی گرانشی روی یک فیلم مایع و یا مکش لاپلاسی ناسی از اختلاف انحنا مرزهای مسطح باشد. این گرادبان سبب جریانی تحت عنوان اثر مارانگونی می‌شود. اثر مارانگونی بیان می‌دارد که مایع از محل با کشش سطحی کمتر به ناحیه با کشش سطحی بیشتر جریان می‌یابد. شکل شمایی ۳، فیلم محلول حاوی ترکیبات سطح فعال، هنگامی که کشیده می‌شود، را نشان می‌دهد.

هرگاه ساختار کف از مایع تخلیه گردد حباب‌ها از شکل گرد یا کروی به شکل چندوجهی و کمی سفت با اشکال بلوری تغییر شکل می‌دهند. کف در مایعات خالص ناپایدار است. کف به‌وسیله ترکیبات سطح فعال موجود در فرمولاسیون مانند امولسیفایرها، ترکنده‌ها و غلظت‌دهنده‌ها پایدار می‌شود. مواد سطح فعال، کشش سطحی مایع را کاهش می‌دهند و اجازه فیلم‌شدن به آن‌ها می‌دهند. وقتی که هوا وارد یک محلول حاوی مواد سطح فعال شود، حباب‌ها تشکیل می‌شوند و به سمت سطح می‌آیند. اما با رسیدن به سطح، حباب‌ها نمی‌ترکند زیرا با لایه‌ای از مولکول‌های مواد سطح فعال که الاستیسیته^۱ دیواره حباب‌ها را افزایش می‌دهند، احاطه شده‌اند. فیلم‌های پایدار شده با ترکیبات سطح فعال برخلاف ضخامت کمشان که معمولاً از کسری از میلی‌متر تجاوز نمی‌کند، کف‌های بسیار پایداری ایجاد می‌کنند که در برابر ترکیدن بسیار مقاومت می‌کنند [۴]. از نظر اندازه حباب بین بزرگ کف‌ها^۲ و کوچک کف‌ها^۳ تفاوت وجود دارد. بزرگ کف‌ها عمدتاً در سطح محلول وجود دارند و به‌وسیله یک لایه دوگانه از مواد سطح فعال پایدار می‌شوند. کوچک کف‌ها هوای حبس شده‌ای می‌باشند که در سراسر محلول وجود دارند. کوچک کف‌ها به‌وسیله گرانشی بالای محلول مایع و مواد سطح فعال موجود در اطراف آن‌ها پایدار می‌شوند. نیروهای بالابرنده حباب در کوچک کف‌ها به دلیل اندازه کوچک حباب، بسیار کمتر از بزرگ کف‌ها می‌باشند. در نتیجه کوچک کف‌ها در جای خود باقی می‌مانند. برای حذف کف‌های بزرگ از کف‌زدها و برای کف‌های کوچک از هوازدها^۴ استفاده می‌شود. در عمل تمیز دادن کف‌زدها و هوازدها از یکدیگر معمولاً ممکن نیست. بسیاری از کف‌زدها می‌توانند به عنوان هوازدا و برعکس استفاده شوند [۵].

همه کف‌ها از نظر ترمودینامیکی ناپایدار هستند که این موضوع به دلیل انرژی آزاد سطحی بالای آن‌هاست. برای راحتی کار، آن‌ها را به دو دسته طبقه‌بندی می‌کنند.

(الف) کف ناپایدار و گذرا با طول عمر ثانیه

(ب) کف شبه پایدار با طول عمر چند روز

کف‌های شبه پایدار قادر به تحمل اختلالات عادی (نوسانات حرارتی و براونی و غیره) هستند اما در برابر اختلالات غیرعادی (تبخیر و دمای

⁵ Defoaming

⁶ Anti-foaming

⁷ Defoamers

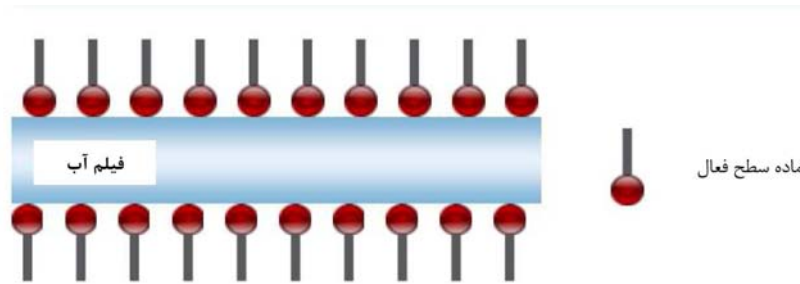
⁸ Marangoni Effect

¹ Elasticity

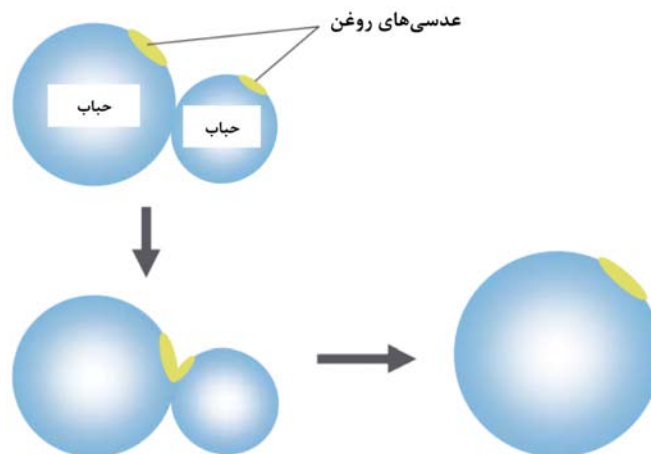
² Macrofoam

³ Microfoam

⁴ Deaerator



شکل ۴- دافعه الکترواستاتیکی بین لایه دوگانه الکتریکی [۳].



شکل ۵- چگونگی کمک روغن به انعقاد دو حباب کوچک و تشکیل یک حباب بزرگ [۳].

زهدکشی و نیروهای دافعه مواد سطح فعال می‌رسد. بنابراین دیواره‌های کف علیرغم بسیار نازک بودن، بسیار پایدار و الاستیک خواهند بود. **گرانروی^۳**؛ گرانروی نیز به عنوان سومین عامل می‌تواند روی پایداری کف تاثیرگذار باشد. بدین صورت که هر چه گرانروی بالاتر باشد، زهدکشی مایع از فیلم به سمت مرزهای مسطح سخت‌تر شده و در نتیجه کف ضخیم‌تر و پایدارتر می‌ماند [۶].

۳-۲- سازوکارهای کف‌زدایی

در ادامه به مهم‌ترین سازوکارهایی که به کمک آن‌ها می‌توان به از بین بردن کف کمک کرد، پرداخته می‌شود. **انعقاد^۴**: انعقاد یکی دیگر از اساسی‌ترین سازوکارهای انهدام کف می‌باشد. حباب‌های بزرگ نسبت به حباب‌های کوچک آسان‌تر از بین می‌روند. بنابراین انعقاد حباب‌های کوچک به یک حباب بزرگ به کف‌زدایی کمک خواهد کرد. کف‌زداها با کمک به انعقاد دو حباب با یکدیگر سبب تسهیل در از بین رفتن حباب‌ها می‌شوند [۳، ۶] (شکل ۵).

هنگامی که فیلم مایع حاوی ترکیبات سطح فعال کشیده می‌شود، در ناحیه‌ای که فیلم کشیده و نازک‌تر می‌شود، غلظت مواد سطح فعال در آنجا کاهش یافته و در نتیجه کشش سطحی افزایش می‌یابد و با توجه به اثر مارانگونی آب به سمت ناحیه با کشش سطحی بالاتر (که در اینجا نواحی نازک‌تر و کشیده‌تر می‌باشد) جریان می‌یابد و مقاومت در آن ناحیه افزایش می‌یابد. این مهم‌ترین دلیلی است که محلول‌های حاوی ترکیبات سطح فعال می‌توانند به مقدار زیادی کشیده شوند، تا یک فیلم پایدار ایجاد کنند، بدون اینکه پاره شوند [۳].

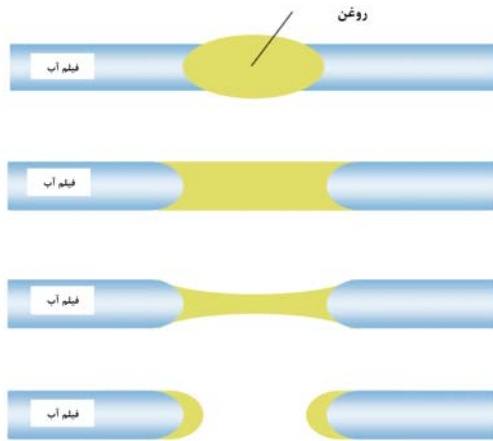
دافعه الکترواستاتیکی^۱: دافعه الکترواستاتیکی نیز می‌تواند دلیل دیگری برای پایداری باشد. دافعه الکترواستاتیکی بین لایه دوگانه الکتریکی به حفظ و پایداری فیلم کشیده شده کمک می‌کند (شکل ۴). انتظار می‌رود که زهدکشی^۲ بتواند سبب برداشت کامل آب از دیواره کف شده که در نهایت ترکیدن حباب را سبب شود [۶]. ولی در عمل زهدکشی تا جایی ادامه پیدا می‌کند که کم‌شدن آب در دیواره به حدی می‌رسد که افزایش غلظت مواد سطح فعال در دیواره چنان بالا می‌رود که نیروهای ممانعت فضایی و دافعه الکترواستاتیکی بین مولکول‌های مواد سطح فعال مانع از متراکم‌شدن بیشتر دیواره می‌شود. در این حالت کف به حالتی از تعادل ترمودینامیکی بین

³ Viscosity

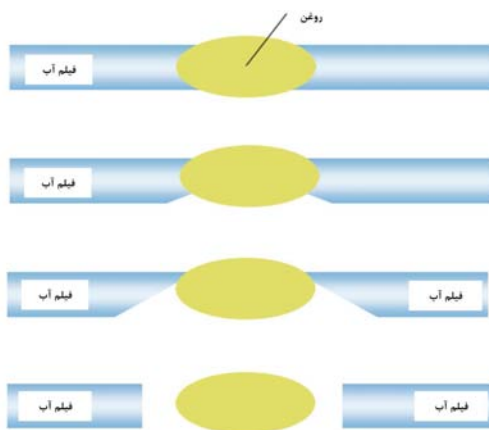
⁴ Coalescence

¹ Electrostatic

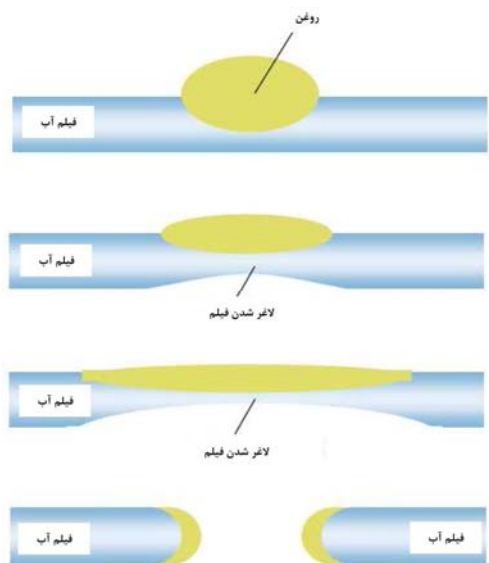
² Drainage



شکل ۶- سازوکار پل سازی-کشش [۳].



شکل ۷- سازوکار پل سازی- ترنشوندگی توسط یک ترکیب کف‌زدا (مثل قطره روغن) در انهدام فیلم مایع [۳].



شکل ۸- سازوکار گسترش- سیال [۳].

پل سازی-کشش^۱: مطالعه فیلم‌های کف در حضور ترکیبات ضدکف نشان داد که یک پل روغنی دوسو مقعر در دیواره کف تشکیل شد که نازک‌ترین قسمت آن در مرکز پل بود. کشیده شدن این پل در جهت شعاعی، که می‌تواند با فشارهای موئینگی در سطح مشترک آب- روغن و آب-گاز ایجاد شود، به یک فیلم روغن نازک و ناپایدار در مرکز پل منجر می‌شود (شکل ۶). پارگی این فیلم روغن از بین رفتن کف را در پی دارد. یک خاصیت موردنیاز برای این سازوکار، امکان آرایش عدسی شکل ضدکف می‌باشد [۶, ۷].

پل سازی- ترنشوندگی^۲: آب‌گریز بودن یک ترکیب کف‌زدا سبب می‌شود که فیلم آب از ماده کف‌زدا فرار کرده که این سبب از بین رفتن فیلم آب می‌شود (شکل ۷).

گسترش-سیال^۳: گسترش سیال یکی از سازوکارهای کلاسیک انهدام فیلم بر اساس جریان ناشی از اثر مارانگونی می‌باشد که به‌وسیله روغن گسترده شده روی سطح مشترک ایجاد می‌شود. این جریان بیان می‌کند هنگامی که روغن روی سطح گسترده می‌شود، مایع زیر خود را به خود کشیده و با این کار سبب نازک شدن موضعی فیلم و در نهایت پارگی آن می‌شود [۳, ۶] (شکل ۸).

۴- الزامات یک ضدکف

بازده ضدکفی توسط سه عامل کلیدی تعیین می‌شود: نامحلول بودن ماده ضدکف در محیط ایجاد کف (بستر)، کشش سطحی پایین به طوری که بتواند در سراسر فرمول‌بندی پخش شود و قابلیت نفوذ به دیواره کف [۳]. ابتدائی‌ترین و مهم‌ترین ویژگی برای یک ضدکف این است که بتواند به سطح مشترک گاز- آب وارد شود. بدین منظور درجاتی از نامحلول بودن برای یک کف‌زدا ضروری به نظر می‌رسد. از طرف دیگر نامحلول بودن کامل کف‌زدا در محلول ممکن است به وقوع عیوب سطحی مانند دهانه آتشفشان^۴ منجر شود. انتخاب کف‌زدایی مناسب همیشه به صورت یک مصالحه‌ای از خواص کف‌زدایی و نامحلول بودن / ناسازگاری نمود پیدا می‌کند. ضریب ورود، E، کمیت کلیدی ترمودینامیکی برای بررسی شرایط لازم برای امکان ورود کف‌زدا به سطح مشترک گاز- آب می‌باشد. ضریب ورود بسیار شبیه ضریب پخش، S، می‌باشد. هر دو این کمیت‌ها از کشش‌های بین سطحی قابل محاسبه هستند (رابطه ۱ و ۲).

$$E = \sigma_{gw} + \sigma_{ow} - \sigma_{go} \quad (1)$$

$$E = \sigma_{gw} - \sigma_{ow} - \sigma_{go} \quad (2)$$

¹ Bridging-Stretching

² Bridging-Dewetting

³ Spreading-fluid

⁴ Crater

کفزدایی ترکیبات بر پایه سیلیکون آغاز شد. روغن‌های سیلیکون (پلی دی متیل سیلوکسان) به خوبی کار خود را انجام می‌دادند اما باعث اختلالات سطحی در رنگ و امثال آن می‌شدند. در سال ۱۹۶۳ میلادی اولین کفزدا با قابلیت آب‌گریزی (سیلیس آب‌گریز در روغن‌ها) اختراع شدند. این نوع از کفزداها بسیار کارآمد بودند. کفزداهای مبتنی بر سیلیکون توسعه داده شدند و با استفاده از امولسیون‌های مختلف بهینه‌سازی شدند. در سال ۱۹۹۰ میلادی کفزدای امولسیون سیلیکونی در صنعت خمیر چوب به کار رفت که بسیار موفقیت‌آمیز بود.

ضدکفها یا کفزداهای کارا معمولاً مخلوط‌هایی از ترکیب روغن‌ها یا ذرات جامد آب‌گریز یا مخلوطی از هر دو می‌باشند [۴]. دسته‌بندی بر اساس ساختار اصلی شامل:

- ۱- روغن‌های غیرقطبی: مواد معدنی و سیلیکون‌ها.
- ۲- روغن‌های قطبی: الکل‌های چرب، اسیدهای چرب، الکیل آمین‌ها و الکیل آمیدها، تری بوتیل فسفات‌ها، تیواترها و بسیاری دیگر.
- ۳- ذرات جامد: ذرات جامد می‌توانند ذرات معدنی (سیلیس تصفیه شده، سیلیکا، آلومینا و تیتان) و اکس (مانند استئارات منیزیم) یا ترکیبات پلیمری (مانند پلی‌آمید و پلی پروپیلن) باشند [۴].

ذرات جامد: بازده کفزدایی ذرات جامد به میزان آب‌گریزی آنها بستگی دارد [۸]. انهدام فیلم با ذرات جامد توسط سازوکار پل‌سازی- ترنشوندگی توضیح داده می‌شود. ابتدا ذره جامد بین هر دو سطح فیلم یک پل ایجاد می‌کند. اگر ذره به اندازه کافی آب‌گریز باشد (زاویه تماس بالاتر از یک مقدار مشخص) مایع خود را پس کشیده و خطوط تماس فاز در نهایت در تماس با یکدیگر درآمده و فیلم کف در سطح ذره سوراخ می‌شود. هر چه که ذره آب‌گریزتر باشد، فیلم مایع را بیشتر دفع خواهد کرد و در نتیجه در سطح بیشتر نفوذ کرده و آنرا بیشتر سوراخ خواهد کرد (شکل ۹). معمولاً غلظت‌های پایین و ذرات بزرگتر خواص ضدکفی موثرتری از خود نشان می‌دهند.

روغن‌ها: اثر هم‌افزایی ضدکفی مخلوط روغن و ذرات جامد آب‌گریز روی محلول‌های آبی از ابتدای دهه ۵۰ میلادی در اختراع‌های مختلف به خوبی مستند شده است. چنین مخلوط‌هایی تحت عنوان ترکیبات ضدکف مصطلح شدند. روغن‌های استفاده شده به عنوان کفزدا می‌توانند هم روغن‌های غیرقطبی (مانند روغن‌های معدنی و روغن‌های سیلیکونی) و هم روغن‌های قطبی (الکل‌های چرب، اسیدهای چرب، الکیل آمین‌ها، الکیل آمیدها و بسیاری دیگر) باشند [۹]. کفزداهای بر پایه روغن بر اساس سازوکارهایی که قبلاً بیان شد، کف را از بین می‌برند. همه این سازوکارها در مرحله اول یکسان هستند و به این صورت است که با برخورد قطره روغن با یک حباب هوا، قطره روغن به صورت یک شکل عدسی‌مانند در می‌آیند (شکل ۱۰). در ادامه نازک شدن فیلم سبب ناپایداری فیلم می‌شود.

که در آن σ کشش‌های سطحی یا بین سطحی می‌باشد و زیرنویس‌های ۰، w و g به ترتیب مربوط به کفزدا (مثل روغن)، آب و گاز می‌باشد. برای اینکه ضدکف به خوبی عمل کند ضرایب ورود و پخش باید مثبت باشند. با توجه به روابط بالا، اگر کشش بین سطحی محمل کف‌کننده (σ_{gw}) ثابت فرض شود، برای اینکه ضریب پخش مثبت شود باید تا حد امکان کشش سطحی کفزدا (σ_{go}) کوچک باشد. این روابط همچنین نشان می‌دهند که کشش سطحی فصل مشترک (σ_{ow}) نیز باید پایین باشد. پس از ورود کفزدا به دیواره فیلم کف، اگر چنانچه ضریب پخش مثبت باشد، کفزدا ترکیبات سطح فعال را کنار زده و به صورت یک عدسی در سطح آرایش پیدا می‌کنند. در نتیجه، این تغییرات ممکن است در انعطاف‌پذیری و پایداری کف خلل ایجاد کرده و سبب متلاشی شدن کف شوند. مایع در زیر عدسی تشکیل شده به علت اثر مارانگونی به سمت عدسی جریان پیدا کرده و در نتیجه فیلم به صورت موضعی نازک و ناپایدار می‌شود. کفزداهایی که قدرت پخش‌شوندگی کافی ندارند، نیز ممکن است از طریق سازوکار "پل‌سازی" وارد عمل شوند. پیش شرط اساسی برای این کفزداها این است که یک ضریب ورود مثبت داشته باشند تا به راحتی به دیواره کف وارد شوند و بتوانند به دیواره روبرویی فیلم نیز نفوذ کنند. غالباً این وضعیت زمانی رخ می‌دهد که دیواره کف به علت تداوم زهکشی به اندازه کافی نازک شده باشد. اگر قطره کفزدا به هر دو دیواره کف نفوذ کند، دیواره کف از طریق سازوکارهای ترنشوندگی یا کشیدگی دچار پارگی خواهند شد. شرط اساسی برای وقوع هر کدام از این سازوکارها، ضریب پل‌سازی مثبت می‌باشد. ضریب پل‌سازی (B) نیز مطابق رابطه زیر معرفی می‌شود:

$$B = (\sigma_{gw})^2 + (\sigma_{ow})^2 - (\sigma_{go})^2 > 0 \quad (3)$$

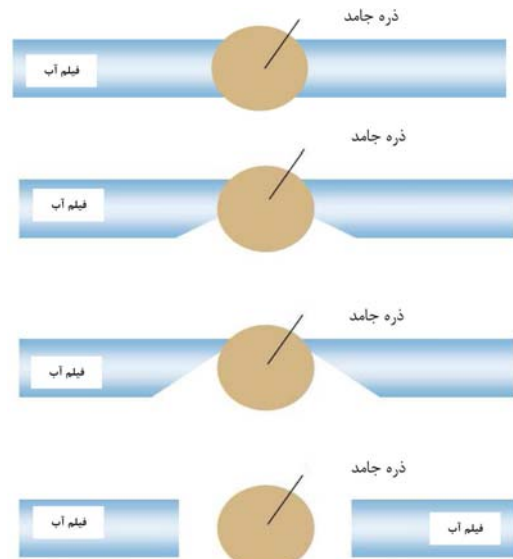
ضرایب پل‌سازی زمانی می‌توانند مثبت باشد که کشش بین سطحی کفزدا/ هوا به اندازه کافی کوچک باشد. در کنار قدرت ورود و پخش، گرانروی و سازگاری ضدکف با محمل اهمیت ویژه‌ای دارد. ضدکف‌های با گرانروی کم به توزیع یکنواخت کمک می‌کنند. ناسازگاری ضدکف این اطمینان را حاصل می‌کند که ضدکف در سطح مشترک هوا و مایع قرار می‌گیرد. این شرایط زمانی ایجاد می‌شود که چگالی ضدکف از چگالی مایع محمل کمتر باشد [۴].

غلظت ضدکف: نتایج آزمایشگاهی نشان داد که یک ضدکف مشخص معمولاً وقتی در محدوده یا زیر حد حلالیتش اضافه شود، کف‌شدن را افزایش می‌دهد (در این غلظت‌ها، کاهش کشش سطحی از اثر ضدکفی شدن مهم‌تر است). همین ضدکف وقتی که در غلظت‌های بالاتر اضافه شود، خواص ضدکفی قابل توجهی از خود نشان خواهد داد [۴].

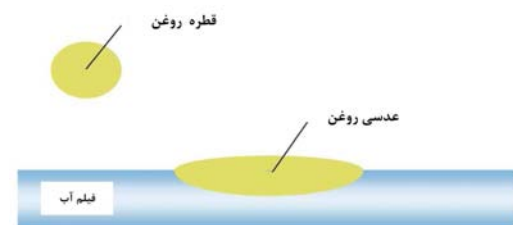
۵- کفزداها

هر ماده‌ای که اثرات بی‌ثبات‌کنندگی روی کف ایجاد کند ضدکف می‌باشد و کارایی آن به خواص شیمیایی محلول، شرایط عملیاتی و عوامل سطح فعال بستگی دارد. در طول سال‌های ۱۹۵۰ اولین آزمایش‌ها برای بررسی

کمک گرفته می‌شود. سیلیکونی‌ها ویژگی‌های پخش‌شوندگی بسیار بالایی دارند و به همین دلیل در فرمولاسیون سامانه‌های پوششی پایه آبی، پوشش‌های ساختمانی و صنعتی و جوهرهای چاپ، که کف بسیار ناخوشایند است، بسیار رایج می‌باشند. کف‌زداها پلیمری نیز خانواده دیگری از کف‌زداها می‌باشند که شامل بر روغن‌های چرب اصلاح شده، پلی اترها یا آمیدهای اصلاح شده می‌باشند. کارآیی کف‌زداها پلیمری نسبت به دیگر خانواده کف‌زداها پایین‌تر می‌باشد. با این حال گستردگی زیاد این کف‌زداها این قابلیت را به آن‌ها می‌دهد که بتوان کارآیی و سازگاری آن‌ها را تعدیل کرد. بر این اساس کف‌زداهای پلیمری در سامانه‌هایی می‌تواند به کار گرفته شود که دیگر کف‌زداها ناسازگار هستند [۱۴]. در ارتباط با استفاده از کف‌زداهای مذکور همانطور که پیشتر بیان شد، سازوکار آنها بر ناسازگاری با سامانه پوششی استوار است. این ناسازگاری خود می‌تواند باعث بروز وقوع عیوب سطحی مانند دهانه آتشفشانی، کاهش جریان‌پذیری، کاهش قابلیت پوشش‌دهی^۱ و کاهش بازده کف‌زدایی در درازمدت را در پی داشته باشد. برای غلبه بر این مشکلات نیز ترکیبات سطح فعال کاهش‌دهنده کشش سطحی توصیه می‌شود. از طرف دیگر حضور بیشتر ترکیبات سطح فعال به پایدارتر شدن کف در محیط می‌شود. بنابراین استفاده از کف‌زداهای سنتی مذکور و ترکیبات سطح فعال دچار یک چرخه ناخواسته و ناخوشایند می‌گردد. برای غلبه بر این مشکل، کف‌زداهای مولکولی^۲ توسعه یافتند [۱۵]. این ترکیبات به علت ساختار دوقلویی خود قادر به کاهش کشش سطحی و خاصیت کف‌زدایی به‌طور هم‌زمان می‌باشند. این خواص هم‌زمان سبب ساده‌شدن نسخه پوشش (به علت استفاده از یک جزء با قابلیت چندگانه به جای چند جزء با خواص متفاوت) و کاهش قیمت می‌شود. سازوکار اصلی کف‌زدایی آنها به عملکرد مولکولی آنها در ایجاد اختلال در سازوکارهای پایدار شدن کف برمی‌گردد. در مقایسه با ساختارهای سطح فعال سنتی که عموماً دارای یک سر آب‌دوست متصل به یک گروه هیدروکربنی آب‌گریز می‌باشد، کف‌زداهای مولکولی دارای دو سر آب‌دوست متصل به دم‌های آب‌گریز هستند که توسط یک بخش مولکولی به هم متصل شده‌اند. این ترکیبات دو قلو به علت ماهیت غیر یونی که دارند، امکان پایدار شدن کف از طریق دافعه الکترواستاتیکی را فراهم نمی‌آورند. از طرفی دیگر ساختار دوقلو و شاخه‌ای کف‌زداهای مولکولی از نزدیک شدن بیش از حد این ترکیبات در دیواره کف جلوگیری کرده و در نتیجه فشردگی مولکول‌های سطح فعال در دیواره کاهش می‌یابد. ترکیبات سطح فعال سنتی که قابلیت آرایش یافتگی بسیار فشرده‌ای در دیواره کف ایجاد می‌کنند، سبب افزایش الاستیسیته دیواره و گرانشی موضعی می‌شوند که به ترتیب از طریق افزایش مقاومت دیواره و کاهش زهکشی سبب پایدار شدن کف می‌گردند. بنابراین کاهش فشردگی در دیواره ناشی از ساختار دوقلویی کف‌زداهای مولکولی، شانس پایدار شدن کف کاهش پیدا می‌کند. امروزه این کف‌زداها به‌طور وسیع در سامانه‌های آب پایه



شکل ۹- سازوکار کف‌زدایی توسط ذرات جامد [۳]



شکل ۱۰- تصویر شمایی قطره روغن پس از برخورد با فیلم آب [۳]

قطرات روغن دقیقاً مشابه ذرات جامد می‌توانند بین دو طرف فیلم مایع یک پل تشکیل دهند. این سازوکار مشابه سازوکار ارائه شده برای ذرات جامد آب‌گریز می‌باشد. در مغایرت با ذرات جامد، از آنجایی که گویچه ضدکف قابلیت تغییر شکل دارد، به محض ورود به یکی از صفحات فیلم کف ساختار عدسی شکل به خود می‌گیرد. روغن‌های معدنی به علت خواص پخش‌شوندگی و ناسازگاری بسیار بالایی که ایجاد می‌کنند، به مدت طولانی است که به عنوان کف‌زدا کاربرد دارند. امروزه روغن‌های معدنی آلیفاتیک در فرمولاسیون‌های ضدکف استفاده می‌شوند ولی نوع آروماتیک آن‌ها به علت ملاحظات فیزیولوژیکی و زیست محیطی به ندرت استفاده می‌شوند. روغن‌های معدنی در سامانه‌های مواد نقاشی ساختمانی و جوهرهای چاپ به وفور یافت می‌شود ولی در فرمولاسیون‌های آب پایه ای که نیاز به براقیت بالا دارند، استفاده نمی‌شوند که علت آن لطمه به براقیت و وقوع عیوب سطحی می‌باشد [۱۰، ۱۱]. ساختارهای سیلیکونی گسترده‌ترین خانواده ترکیبات کف‌زدا برای کاربرد پوشش‌های سطح می‌باشند [۱۲، ۱۳]. برای اینکه ساختارهای سیلیکونی بهترین عملکرد کف‌زدایی را در ساختار پوشش‌های سطح مختلف ایفا کنند، نیاز دارند تا سازگاری آن‌ها با توجه به ساختار شیمیایی پوشش تعدیل شود. بدین منظور از پلیمرهای مختلفی مانند پلی اترها برای اصلاح ساختار سیلیکونی

¹ Recoatability

² Molecular defoamers

میزان کف استفاده شود. تکرار آزمون بعد از انبارداری نیز ضروری است. معمولاً ضدکفها طوری فرموله می‌شوند که سازگاری محدودی با پوشش‌نگ داشته باشند. در نتیجه احتمال جدا شدگی یا جذب وجود دارد. معمولاً پوشش‌نگ به مدت ۴ هفته در دمای 50°C نگهداری می‌شود. آزمایش در سامانه‌های پایه حلالی غالباً دشوار است زیرا مقدار کف در مقایسه با سامانه‌های پایه آبی بسیار کمتر است. بهترین روش سنجش عملکرد ضدکف در سامانه‌های پایه حلالی، بررسی کف در هنگام اعمال با پاششی بدون هوا، غوطه‌وری یا غلتک می‌باشد که شدیدترین شرایط برای ایجاد کف می‌باشند [۱۶].

۷- نتیجه‌گیری

چگونگی ایجاد و پایدارشدن کف در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که کف می‌تواند از طریق سازوکارهای متعددی مانند اثر مارنگونی، دافعه الکترواستاتیک و گرانیروی در یک سامانه پوششی پایدار گردد. در ادامه سازوکارهای متعددی مانند انعقاد، پل سازی - کشش، گسترش سیال و پل‌سازی - ترنشوندگی برای کف‌زدایی معرفی شد. همچنین مهم‌ترین موادی که کاربرد کف‌زدایی داشتند، که عمدتاً ترکیبی از روغن‌ها و درات جامد آب‌گریز بودند، معرفی گردیدند. روش‌های سنجش کف‌زدایی نیز در پایان تشریح شد.

در صنایع پوشش‌های تابش‌پز چوب، مبلمان، خودرویی و چسب‌های حساس به فشار به کار می‌روند [۱۵].

۶- روش سنجش بازده یک ضدکف

روش‌های مختلفی برای تعیین کارایی ضدکف‌ها وجود دارد. انتخاب کاربردی‌ترین روش، اهمیت زیادی دارد. تمام روش‌ها با بررسی لحظاتی که خطر تشکیل کف بیشینه است، آغاز می‌شوند. معمولاً فرآیند پراکنده کردن پودرها در بستر پلیمری با ایجاد کف همراه است. بسته به مرحله‌ای که احتمال تشکیل کف در آن بیشتر است، بهترین روش آزمایشگاهی انتخاب می‌شود. ماشین تکان‌دهنده^۱ اغلب برای همانندسازی تشکیل کف در حین اختلاط استفاده می‌شود. برای این کار ضدکف‌ها با ۲ یا ۳ غلظت مختلف اضافه می‌شوند و مخلوط به مدت ۳ دقیقه در دستگاه تکان‌دهنده قرار می‌گیرد. سپس وزن مخصوص اندازه‌گیری می‌شود. هر چه وزن مخصوص بالاتر باشد کف کمتری در محصول وجود دارد [۱۶]. روش دیگر بررسی محصول نهایی می‌باشد. وجود کف و کوچک کف‌ها با استفاده از میکروسکوپ بهتر قضاوت می‌شود. در مورد ضدکف‌های به کار رفته در صنعت پوشش‌های سطح براقیت یا ماتی و فام نیز می‌تواند در ارزیابی

¹ Shaker

۸- مراجع

1. A. A. Tracton, "Coatings technology handbook", Third Ed., Publisher: CRC Press, 3 Ed. **2005**.
2. S. Ross, "The inhibition of foaming. II. A mechanism for the rupture of liquid films by anti-foaming agents" J. Phys. Chem. 54 (3), 429-436, **1950**.
3. "The foam, clariant", IHC News, Issue 4, January 2009, [www.clariant.com/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/2009_01_IHC_Newsletter_Defoaming.pdf/\\$FILE/2009_01_IHC_Newsletter_Defoaming.pdf](http://www.clariant.com/C12575E4001FB2B8/vwLookupDownloads/2009_01_IHC_Newsletter_Defoaming.pdf/$FILE/2009_01_IHC_Newsletter_Defoaming.pdf), viewed July **2014**.
4. Technical Background Defoamers - TEGO. "Defoamers". <http://passthrough.fwnotify.net/download/043850/http://www.tego.de/sites/dc/Downloadcenter/Evonik/Product/Tego/en/Technical-Background/defoamers-tego-foamex.pdf>, viewed August **2014**.
5. D. Perry, J. Zeng, V. O'Neil, "Foam control in aqueous coatings", http://www.dowcorning.com/content/publishedlit/26-1231-01_Foam_Control_Aq_Coatings_WP.pdf, viewed July **2014**.
6. R. J. Pugh, "Foaming, foam films, antifoaming and defoaming" Adv. Coll. Interf. Sci. 64, 67-142, **1996**.
7. F. Abdolahi, M. A. Moosavian, A. Vatani, "The mechanism of action of Antifoams", J. Appl. Sci., 5, 1122-1129, **2005**.
8. S. K. Bindal, G. Sethumadhavan, A. D. Nikolov, D. T. Wasan, "Foaming mechanisms in surfactant free particle suspensions" AIChE J., 48, 2307-2314, **2002**.
9. N. D. Denkov, "Mechanisms of foam destruction by oil-Based antifoams", Langmuir, 20, 9463-9505, **2004**.
10. J. W. Rawlins, R. F. Storey. "Waterborne: Environmentally friendly coating technologies, proceedings of the fortieth annual international waterborne, high-solids, and powder coatings symposium", Publisher: TPG Limited, **2013**.
11. J. Schwartz, "Foam (de)stabilization: Mechanism and application in waterborne coating", In: "Handbook Of Coating Additives", Edited by John J. Florio, Daniel J. Miller. 2 Ed. Publisher: CRC Press, **2004**.
12. E. Hollands, I. Ewart P. Murray, "Cast explosive composition", U.S.pat 20110168306, **2011**.
13. Z. Nemeth, G. Racz, K. Kocz, "Foam control by silicone polyethers—mechanisms of cloud point antifoaming", J Coll. Interf. SCI. 207, 386-394, **1998**.
14. K. G. Marinova, L. M. Dimitrova, R. Y. Marinov, N. D. Denkov, A. Kingma, "Impact of the surfactant structure on the foaming/defoaming performance of nonionic block copolymers in Na Caseinate Solutions", Bulg. J. Phys. 39 53-64, **2012**.
15. E. C. Galgoci, S. Y. Chan, K. Yacoub, "Innovative, gemini-type molecular defoamer technology for improved coating aesthetics", JCT Research, 3, 77-85, **2006**.
16. P. R. Garrett, "The mode of action of antifoams", In: defoaming: theory and industrial applications, Garrett P R, Ed., Taylor & Francis Group, LLC, Boca Raton, FL, , Surfactant Science Series 45, 1-117, **1992**.