



پلی استریفیکاسیون رادیکالی در سیستم های دو جزئی (2K)

روژین علی احمایی*

مهندس فروش، شرکت شیمیایی تاک رزین کاوه، تهران، ایران کدپستی: ۱۴۳۵۸۱۳۵۴۱

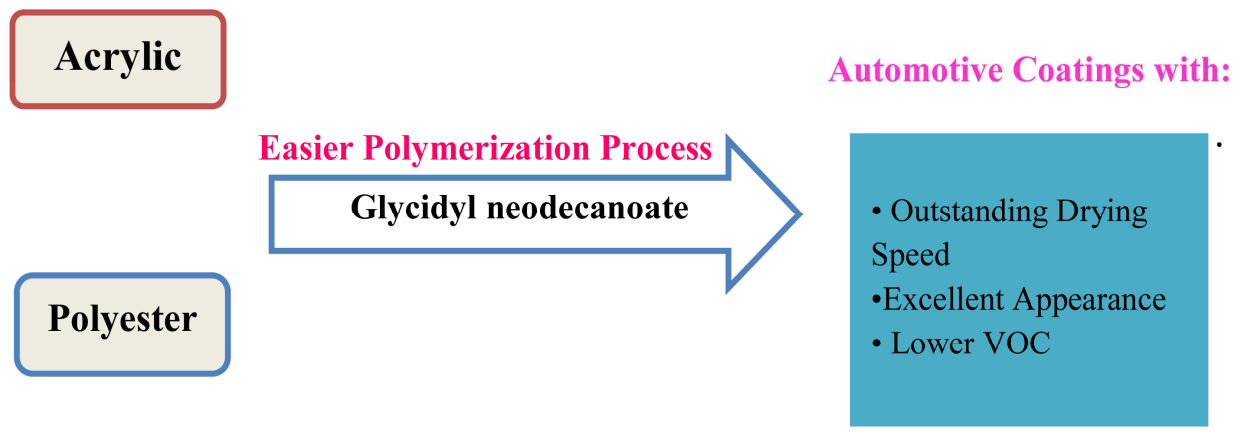
تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۳ بازبینی ۱: ۹۱/۵/۱۴ بازبینی ۲: ۹۱/۷/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۲۳

چکیده

کاهش VOC و بهبود ظاهر نهایی فیلم با استفاده از ترکیب خواص شیمیایی اکریلیک و پلی استر رویکرد اصلی مقاله پیش رو می باشد. بررسی های آزمایشگاهی و همچنین صنعتی بیان گر آن است که از ترکیب خواص شیمیایی اکریلیک و پلی استر می توان به سیستم هایی با VOC پایین دست یافت. همچنین با استفاده از گلیسیدیل نتودکانوئیت به عنوان حلال واکنش پذیر در پلیمریزاسیون، می توان رزین هایی تولید نمود که نتیجه به کارگیری آنها برای تولید پوشش نهایی با سرعت خشک شدن بسیار بالا و خواص ظاهری فوق العاده خواهد بود.

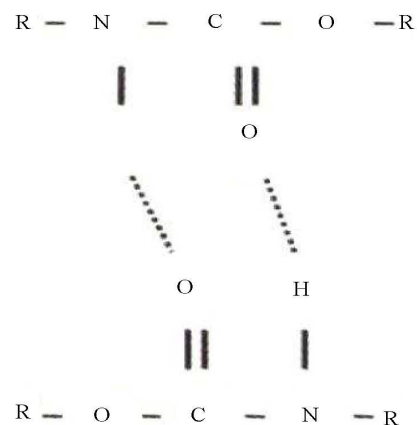
واژه های کلیدی

پلی استری شدن رادیکالی، رزین های اکریلیک پلی ال، رزین های پلی استر، گلیسیدیل نتودکانوئیت.



۱- مقدمه

سیستم‌های دو جزئی پلی یورتان (2K) با توجه به کیفیت بالای محصول نهایی امروزه به صورت گسترده در تولید پوشش نهایی اتومبیل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌طور معمول ایزوسیانات‌های آلیفاتیک که از هگزا متیلن و ایزوفورن دی ایزو سیانات‌ها مشتق می‌شوند، به همراه پلی‌ال‌های اکریلیک و پلی‌استرها به کار می‌روند. این پوشش‌ها علاوه بر مقاومت‌های مناسب شیمیایی و جوی، خواص مکانیکی مناسبی را نیز از خود نمایش می‌دهند. این خواص قابل توجه معمولاً به واسطه وجود پیوندهای هیدروژنی میان گروه‌های یورتانی توجیه می‌گردد (شکل ۱).



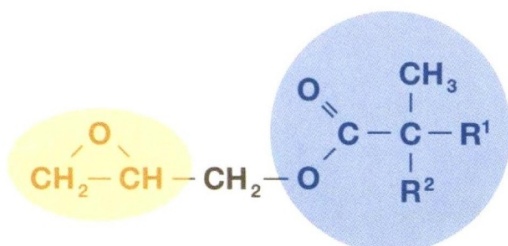
شکل ۱- پیوندهای هیدروژنی در پوشش‌های یورتانی.

در جهت کاهش انتشار حلال (VOC)، تولیدکنندگان ایزوسیانات‌ها و پلی‌ال‌ها پیشرفت قابل توجهی در تولید موادی با گرانیوی پایین‌تر داشته‌اند. تولیدکنندگان ایزوسیانات‌ها با تمرکز بر روی توزیع جرم ملکولی ایزوسیانات‌های تریمر، به فناوری‌های جدیدی دست یافته‌اند. تولیدکنندگان پلی‌ال‌ها نیز با کاهش متوسط جرم ملکولی Mw اکریلیک پلی‌ال‌ها و تولید گونه‌های جدیدی از پلی‌استر پلی‌ال‌ها در این مسیر گام‌های بسیار موثری برداشته‌اند. در اکثر موارد این تغییرات باعث کاهش سرعت خشک‌شدن و لذا افزایش قابل ملاحظه هزینه‌های نیروی انسانی گردیده است. به همین دلیل طراحی پوشش‌هایی با فناوری جدید به حل مشکلات ذکر شده کمک زیادی نموده است. تولید رزین‌های پلی‌استر پلی‌ال با جرم ملکولی پایین از تولید رزین‌های اکریلیک پلی‌ال با جرم ملکولی مشابه آسان‌تر است. به علاوه بر خلاف اکریلیک پلی‌ال‌ها، در رزین‌های پلی‌استر تا حدودی می‌توان توزیع گروه‌های هیدروکسیل را کنترل نمود. به همین دلیل پلی‌استر پلی‌ال‌ها به‌طور گسترده در راستای کاهش VOC با اکریلیک پلی‌ال‌ها ترکیب می‌شوند. این عمل باعث افزایش وضوح تصویر (DOI) در پوشش و بهبود ظاهری فیلم تر و در نتیجه بهبود خواص ظاهری فیلم نهایی می‌گردد. پلی‌استرها در دماهای بالا به واسطه واکنش مرسوم پلیمریزاسیون تراکمی اسید-هیدروکسیل و یا در دماهای پایین‌تر به واسطه واکنش پلیمریزاسیون مرحله‌ای حلقه‌گشا تولید می‌گردند. واکنش پلیمریزاسیون تراکمی اسید-هیدروکسیل قدیمی‌ترین

روش تولید پلی‌استرها مورد مصرف در تولید پوشش‌های صنعتی است. گلیکول‌ها و پلی‌اسیدها یا انیدریدها در واکنش شرکت دارند و فرآیند در دمای °C ۲۵۰ - ۱۸۰ صورت می‌پذیرد. آب تولید شده در جریان واکنش از طریق انجام عمل تقطیر در خلاء و یا تقطیر آزنوتروپیک از سیستم جدا می‌گردد. در این شرایط واکنش استری شدن بین زنجیری به راحتی صورت می‌پذیرد و پلیمرهایی با توزیع جرم ملکولی پهن تولید می‌شوند. رزین‌هایی که از این روش تولید می‌شوند به دلیل دمای بالای واکنش تمایل به زرد شدگی دارند و در صنعت چندان مورد پسند مصرف‌کنندگان نمی‌باشند.

۲- واکنش پلیمریزاسیون حلقه‌گشا به عنوان روش جایگزین

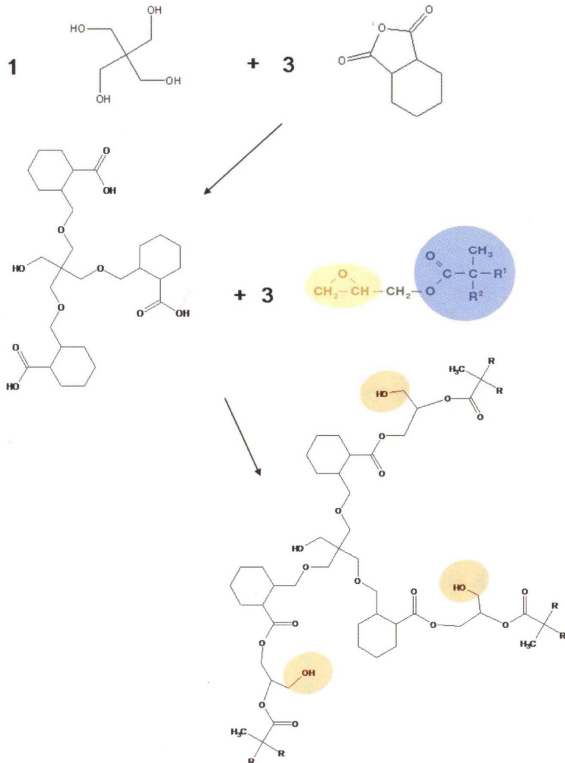
واکنش پلیمریزاسیون مرحله‌ای حلقه‌گشا روشی جایگزین با شرایط آسان برای تولید رزین‌های پلی‌استر پلی‌ال به شمار می‌رود. در این واکنش از یک گلیکول به عنوان مونومر چند عاملی استفاده می‌شود که به عنوان نمونه می‌توان از نفو پنتیل گلیکول و یا پنتا اریتریتول را نام برد. همچنین از پلی‌اسیدها نیز به عنوان جایگزین می‌توان استفاده نمود. مونومرهایی با ساختار حلقه‌ای مانند انیدریدها، گلیسیدیل نفودکانوئیت (شکل ۲) و گاهی اوقات لاکتون‌ها در مرحله بعد برای افزایش طول زنجیر پلیمری و تولید پلی‌ال‌های شاخه‌ای که گروه‌های OH در انتهای هر شاخه قرار گرفته است، تحت شرایط کاملاً کنترل شده به سیستم اضافه می‌شوند.



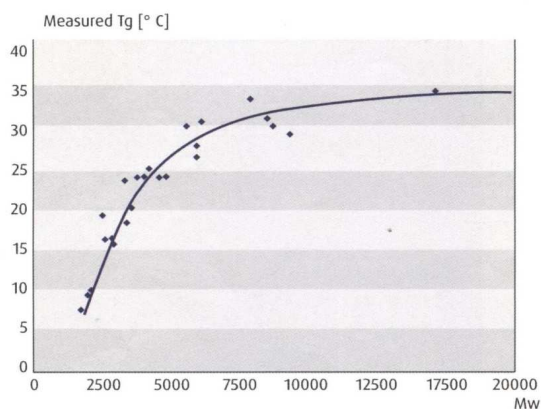
شکل ۲- ساختار گلیسیدیل نفودکانوئیت.

واکنش‌های استری شدن این مونومرهای حلقه‌ای نسبت به واکنش‌های هیدروکسیل-اسید در دماهای پایین‌تری رخ می‌دهد و به این ترتیب دستیابی به واکنش‌هایی با سرعت بالا در دماهای کمتر از °C ۱۵۰ امکان‌پذیر می‌باشد. در این روش تقریباً هیچ واکنش جانبی استری شدن بین زنجیری رخ نمی‌دهد و لذا پلی‌استر ستاره‌ای نهایی دارای توزیع جرم ملکولی بسیار باریکی است. شکل ۳ نشان دهنده واکنش پلیمریزاسیون مرحله‌ای حلقه‌گشا در حضور هگزا هیدرو فتالیک انیدرید، پنتا اریتریتول و گلیسیدیل نفودکانوئیت است. گلیسیدیل نفودکانوئیت پس از اتمام واکنش میان هگزا هیدرو فتالیک انیدرید و پنتا اریتریتول، این وارد محیط واکنش می‌شود و بدین ترتیب هیچ انیدریدی با گروه‌های هیدروکسیل حاصل از حلقه‌گشایی گروه اپوکسی گلیسیدیل نفودکانوئیت وارد واکنش نمی‌گردد و پلیمرهایی با توزیع جرم ملکولی کوچکتر از ۱/۰۴ به دست می‌آید. در دمای °C ۱۴۰ واکنش طی چند ساعت تکمیل می‌شود و در صورت نیاز به کاهش

می‌یابد. اما متاسفانه این محدوده دمایی بالاتر از دمای جوش حلال‌هایی مانند زایلن و بوتیل استات است که معمولاً در تولید اکریلیک پلی‌ال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و این مساله باعث پیچیده‌تر شدن واکنش پلیمریزاسیون می‌شود. به همین دلیل استفاده از گلیسیدیل نئودکانوئیت به عنوان حلال کمکی در پروسه تولید اکریلیک پلی‌ال‌ها راه حلی مناسب و آسان برای حل این مشکل است.



شکل ۳- آماده‌سازی پلی‌استر ستاره‌ای بر پایه گلیسیدیل نئودکانوئیت در طی واکنش پلیمریزاسیون مرحله‌ای حلقه‌گشا.



شکل ۴- اثر جرم ملکولی پلیمر (Mw) بر دمای شیشه‌ای شدن (Tg) آن در اکریلیک پلی‌ال‌ها.

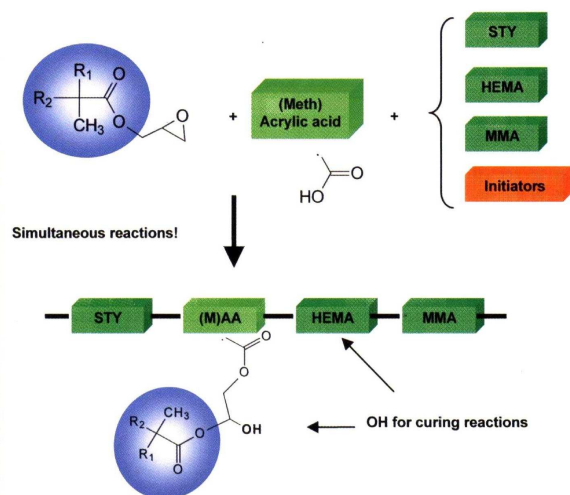
زمان واکنش، می‌توان از اسیدهای لوئیس مانند دی‌بوتیل تین دی‌لورئات (DBTL) به عنوان کاتالیزور استفاده نمود. در این واکنش هیدروکسیل‌های ایجاد شده از نوع اول هستند و این امر به دلیل تولید پلی‌ار تواسترها از ماده واسطه نئودکانوئیک اسید، قبل از واکنش با کربوکسیلیک اسید می‌باشد [۱۰، ۲]. جدول شماره ۱ تفاوت‌های اصلی بین روش واکنش استری شدن مرسوم و استری شدن به روش پلیمریزاسیون مرحله‌ای حلقه‌گشا نشان می‌دهد. کاهش Mw روش رایجی برای کم کردن مصرف حلال در تولید رزین‌های اکریلیک پلی‌ال است. از طرفی با ثابت در نظر گرفتن مقدار عدد هیدروکسیل به ازای یک گرم از پلیمر، با کاهش Mw، مقدار متوسط عدد هیدروکسیل در هر شاخه پلیمری و دمای شیشه‌ای شدن (Tg) آن کاهش می‌یابد. شکل ۴ رابطه بین Mw و Tg در یک سری از اکریلیک پلی‌ال‌ها با ترکیبات شیمیایی یکسان را نشان می‌دهد. همان طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، در Mw کمتر از ۶۰۰۰ دالتون^۱، Tg رزین‌ها به شدت کاهش می‌یابد. در نتیجه پوشش‌های صنعتی تولید شده از چنین پلیمرهایی با این جرم ملکولی مدت زمان زیادی پس از اعمال نرم و چسبناک باقی خواهند ماند و تنها پس از واکنش‌های شبکه‌ای شدن، مقدار سختی و در نتیجه Mw و Tg افزایش خواهد یافت. به علاوه با کاهش مقدار متوسط عدد هیدروکسیل در یک زنجیر، سرعت واکنش شبکه‌ای شدن پایین آمده و زمان لازم برای دستیابی به دانسیته شبکه‌ای شدن مناسب افزایش خواهد یافت. به همین دلیل Mw و مقدار عدد هیدروکسیل این پلی‌ال‌ها باید با توجه به مقدار حلال مورد نیاز بهینه‌سازی شوند تا بتوان سرعت واکنش‌های شبکه‌ای شدن را بیشتر نمود. [۳، ۴]. کاهش Mw اکریلیک پلی‌ال‌ها (APO) به یک مقدار بهینه معمولاً چالشی اساسی برای تولیدکنندگان این رزین‌ها محسوب می‌شود. همان طور که می‌دانیم Mn تابعی از تعداد شاخه‌های پلیمر است که طی واکنش پلیمریزاسیون رشد می‌کنند و به مقدار پراکسید مصرفی که شروع کننده واکنش است نیز وابسته است. به عنوان یک قاعده کلی می‌توان این گونه در نظر گرفت که برای نصف نمودن Mw مقدار شروع کننده باید چهار برابر گردد. البته لازم به ذکر است که این رابطه خطی نیست. امروزه رزین‌ها با استفاده از ۴٪ وزنی از میزان شروع کننده تولید می‌شوند و این میزان هزینه قابل توجهی از مواد اولیه را در بر می‌گیرد. به همین دلیل کاهش Mw به واسطه افزایش غلظت شروع کننده‌ها باعث افزایش غیر قابل قبول هزینه مواد اولیه می‌گردد. راه حل دیگر آن است که یک عامل انتقال به زنجیر مانند دودسیل مرکاپتان برای کاهش طول زنجیر پلیمر و در نتیجه کاهش Mw مورد استفاده قرار گیرد. اگرچه بررسی‌ها نشان می‌دهد که نسبت هزینه به کارآیی محصول این روش تفاوت چندانی با محصول ناشی از روش افزایش غلظت شروع کننده ندارد. همچنین مرکاپتان‌ها معمولاً باعث افزایش بوی نامطبوع رزین می‌گردند. لذا باید توجه داشت که افزایش غلظت شروع کننده و یا استفاده از مرکاپتان‌ها به عنوان عامل انتقال به زنجیر، باعث افزایش رنگ رزین می‌گردد. به همین دلیل به نظر می‌رسد که بهترین و اقتصادی‌ترین راه حل برای کاهش Mw در رزین‌های اکریلیک پلی‌ال، افزایش دمای پلیمریزاسیون به دمای ۱۵۰ °C تا ۱۷۰ °C باشد، زیرا دمای بالا باعث تسهیل واکنش‌های رادیکالی انتقال به زنجیر می‌گردد و در نتیجه کاهش

¹ Dalton

جدول ۱- مقایسه واکنش پلیمریزاسیون مرحله‌ای حلقه‌گشا و واکنش مرسوم استری شدن اسید- هیدروکسیل.

واکنش پلیمریزاسیون مرحله‌ای حلقه‌گشا	واکنش استری شدن اسید- هیدروکسیل	دمای واکنش
۱۸۰- ۲۵۰ °C	۱۲۰- ۱۵۰ °C	دمای واکنش
بسیار آهسته	سریع	سرعت انجام واکنش
استری شدن جانبی	ندارد	واکنش‌های جانبی
آب	ندارد	محصولات جانبی واکنش
تقطیر در خلاء و یا تقطیر آزنوتروپیک	در فشار اتمسفر	فرآیند انجام واکنش
پهن	احتمالاً بسیار باریک	توزیع جرم ملکولی
تصادفی	پلیمرهایی با گروه‌های انتهایی هیدروکسیل	توزیع گروه هیدروکسیل

خواص ظاهری، افزایش طول عمر و کاهش VOC^۱ پوشش رویه نهایی ساخته شده از این گروه از رزین‌ها می‌گردد. اکریلیک و پلی‌استر پلی‌ال‌ها بر پایه گلیسیدیل نفودکانوئیت معمولاً در تولید پوشش‌های رویه 2K با یکدیگر مخلوط می‌گردند. این عمل به دلیل بهینه‌نمودن سرعت خشک‌شدن، خواص ظاهری و VOC انجام می‌شود.

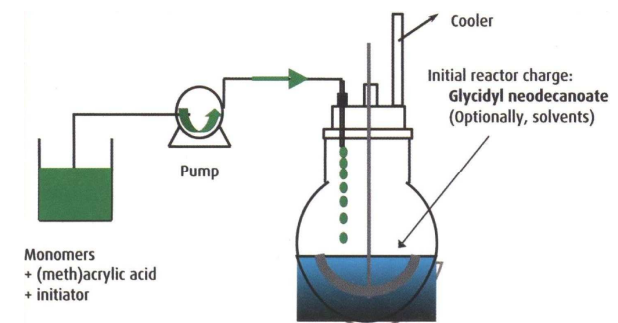


شکل ۶- سنتز اکریلیک پلی‌ال‌ها بر پایه گلیسیدیل استر، انجام هم‌زمان واکنش‌های پلیمریزاسیون رادیکالی و تراکم.

نسبت مخلوط پلی‌استر پلی‌ال به اکریلیک پلی‌ال به طور معمول از ۱۰ به ۹۰ تا ۳۰ به ۷۰ متغیر است. به جای مخلوط کردن دو رزین اکریلیک و پلی‌استر پلی‌ال ذکر شده در بالا با یکدیگر، می‌توان این رزین‌ها را به راحتی در یک راکتور تولید نمود. ابتدا در یک واکنش پلیمریزاسیون مرحله‌ای حلقه‌گشا و مقادیر اضافی از گلیسیدیل نفودکانوئیت یک پلی‌استر ستاره‌ای در راکتور تولید می‌شود. سپس مونومرهای متااکریلیک و متااکریلیک اسید برای تولید رزین اکریلیک پلی‌ال وارد محیط واکنش می‌گردند. رزین‌های تولید شده از این روش جرم ملکولی پایین‌تری دارند و پوشش ساخته شده از آنها دارای ظاهر بسیار مناسب مانند پوشش‌های ساخته شده از مخلوط دو رزین است و علاوه بر این VOC پایین‌تری نیز دارد. روش‌های رایج تولید

۲- روش آسان پلیمریزاسیون

فرآیند تولید اکریلیک پلی‌ال‌ها با استفاده از گلیسیدیل نفودکانوئیت با روش مرسوم تولید این رزین‌ها متفاوت است. در روش مرسوم ابتدا راکتور توسط حلال پر می‌شود، در حالی که در روش جدید تمام و یا بخشی از حلال با گلیسیدیل نفودکانوئیت جایگزین می‌گردد و سپس دمای راکتور تا دمای مورد نظر برای انجام واکنش بالا برده می‌شود. استفاده از سایر حلال‌ها در واکنش اختیاری است و دمای جوش بالای گلیسیدیل نفودکانوئیت (۲۵۰ °C) انجام واکنش پلیمریزاسیون در دماهای بالا بدون ایجاد فشار را ممکن می‌سازد (شکل ۵).

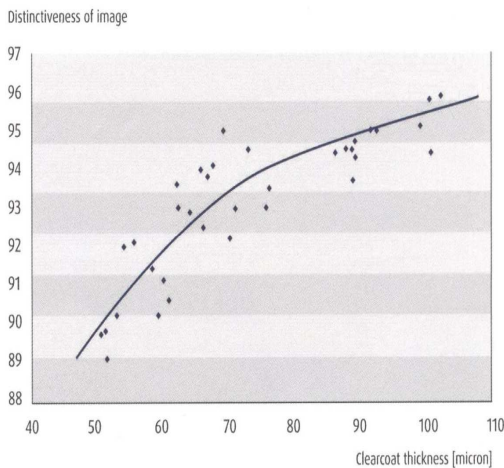


شکل ۵- کوپلیمریزاسیون اکریلیک پلی‌ال با استفاده از گلیسیدیل نفودکانوئیت به عنوان حلال فعال.

زمانی که محتوی اولیه راکتور به دمای مورد نظر رسید، مونومرهای اکریلیکی و پراکسید در مقادیر مشخص و با دبی معلوم وارد راکتور می‌گردند و واکنش آغاز می‌شود. این عمل باعث به دست آوردن اکریلیک پلی‌ال‌هایی با جرم ملکولی پایین در درصد جامدهای بالا تا ۱۰۰٪ می‌گردد. این روش به عنوان مثال برای تولید دیسپرسیون‌های بدون حلال و پایه آب رزین‌های اکریلیک پلی‌ال ایده‌آل است. دو واکنش شیمیایی به صورت هم‌زمان در طی واکنش پلیمریزاسیون انجام می‌شود: واکنش پلیمریزاسیون رادیکالی و واکنش گلیسیدیل نفودکانوئیت با اکریلیک یا متااکریلیک اسید که به همراه سایر مونومرهای اکریلیکی به محیط واکنش وارد می‌گردند. به این ترتیب گلیسیدیل استر به عنوان حلال فعال عمل می‌کند و به تدریج وارد ساختار پلیمر می‌گردد، (شکل ۶). علاوه بر این، گلیسیدیل نفودکانوئیت باعث بهبود

¹ Volatile organic compound

روش‌هایی زمان خشک و سخت شدن لاک‌های اتومبیلی را افزایش داد و خواص ظاهری پوشش را بهبود بخشید. هر چند که این عمل باعث افزایش زمان اجرا و هزینه در خط‌های اعمال پوشش می‌گردد و به همین دلیل کاربردی نیستند. روش دیگر برای بهبود DOI افزایش ضخامت پوشش است، (شکل ۷). البته این روش نیز میزان مصرف لاک را بالا می‌برد و همچنین خطر شره نمودن پوشش نیز وجود خواهد داشت.



شکل ۷- اثر ضخامت پوشش بر روی خواص ظاهری آن

۱-۳ بهبود چشمگیر DOI در لاک‌های بر پایه اکریلیک پلی‌ال‌ها

جدول شماره ۲ خواص کاربردی دو سیستم پلی یورتانی را بر پایه گلیسیدیل نتودکانوئیت نشان می‌دهد. سیستم اول بر پایه رزین اکریلیک پلی ال خالص و سیستم دوم بر پایه ترکیب یک رزین اکریلیک پلی ال و یک پلی‌استر ستاره‌ای به نسبت ترکیب ۲۵/۷۵ است. هر دو فرمولاسیون لاک‌ها گرانروی و زمان کاربری برابر دارند و این برابری به واسطه تنظیم سیستم‌های حلالی و مقدار کاتالیزورهای هر دو سیستم حاصل گردیده است.

برای حصول اطمینان از این که مقایسه بین سیستم‌ها به درستی صورت گرفته است، تمام اطلاعات کاربردی پوشش‌ها به علت انحراف از ضخامت ۶۰ میکرون لاک هدف، اصلاح گردیدند. همان طور که از داده‌های جدول مشخص است، میزان VOC سیستم ترکیبی (اکریلیک پلی‌ال و پلی‌استر) به میزان قابل توجهی پایین‌تر است و از قوانین اروپا (کمتر از ۴۲۰ g/l) پیروی می‌نماید. نکته قابل توجه دیگر یکسان بودن سرعت سخت شدن هر دو پوشش است. اگر چه گلیسیدیل نتودکانوئیت باعث بهبود شایان توجه DOI در سیستم اول گردیده است، اما در سیستم ترکیبی با پلی‌استر ستاره‌ای، DOI باز هم افزایش یافته است. این بهبود DOI باعث کاسته شدن هزینه‌ها در تولید پوشش‌های اتومبیل، کارخانه‌ای و تعمیراتی، می‌گردد، زیرا مصرف لاک پوششی را به حداقل می‌رساند. جدول شماره ۲ نشان می‌دهد که در هنگام استفاده از سیستم ترکیبی با پلی‌استر ستاره‌ای ضخامتی که در آن می‌توان به DOI ۹۵ دست یافت، ۱۱ میکرون کمتر است. این مساله باعث ۱۵٪ کاهش مصرف لاک می‌گردد.

اکریلیک پلی‌ال‌ها برای ساخت پوشش‌های رویه آب پایه، معمولاً شامل یک مرحله پلیمریزاسیون در حضور حلال است که در نتیجه مرحله جداسازی حلال با استفاده از روش تقطیر در خلاء و دماهای بالا را نیز به دنبال خواهد داشت. سپس پلیمرهای به دست آمده به وسیله هم‌زدن مکانیکی در آب پراکنده می‌گردند. در هنگام مرحله تقطیر، به دلیل شرایط سخت محیط، گرانروی پلیمرها بالا می‌رود. همچنین جرم ملکولی پلیمرها به دلیل واکنش‌های جانبی استری شدن بالا می‌رود و این مساله باعث پیچیده‌تر شدن مرحله پراکنش می‌شود و به دنبال آن روانی پلیمر در هنگام تشکیل فیلم تحت تاثیر قرار می‌گیرد. به علاوه مرحله تقطیر زمان‌گیر و با مصرف بالای انرژی همراه است. دو روش پلیمریزاسیون ذکر شده بر پایه گلیسیدیل نتودکانوئیت، که برای تولید اکریلیک پلی‌ال‌ها و پلی‌ال‌های ترکیبی از آنها استفاده می‌شود، امکان تولید رزین‌هایی با جامد نزدیک به ۱۰۰٪ را فراهم می‌سازد و بدین ترتیب دیگر نیازی به مرحله حذف حلال نخواهد بود.

۳- خصوصیات ظاهر و وضوح تصویر^۱ (DOI)

دارا بودن خواص ظاهری با استانداردهای بالا در پوشش‌های رویه اتومبیل‌ها از اهمیت فراوانی برخوردار است. پوشش‌های نهایی اتومبیل‌ها باید دارای رنگ جذاب، براقیت بالا و خواص بالای ظاهری باشند. همچنین تصاویر منعکس شده از آنها نیز باید از کیفیت بالایی برخوردار باشد. در سال‌های اخیر در صنعت تولید اتومبیل تلاش‌های بسیار زیادی در ابداع روش‌های اصولی اندازه‌گیری خواص ظاهری پوشش‌ها، صورت گرفته است. در همین راستا علاوه بر اندازه‌گیری براقیت و رنگ پوشش، وضوح تصویر (DOI) به یک آزمون اساسی برای پوشش‌های نهایی اتومبیلی بدل گردیده است. براقیت یک مقدار عددی از میزان نور منعکس شده توسط پوشش است، در حالیکه DOI کیفیت تصویر منعکس شده را بررسی می‌نماید. پوششی که تصویری با وضوح بسیار بالا ارائه می‌دهد، بالاترین مقدار DOI را دارا است. DOI به میزان بسیار زیادی به هم‌تراز بودن لاک رویه اتومبیلی بستگی دارد و این هم‌ترازی نیز از یک سو به خصوصیات ویسکوالاستیک پوشش در هنگام خشک شدن و از سوی دیگر به نیروهای سطحی که عمل تشکیل فیلم را پیش می‌برند، وابسته است.

مطالعات آزمایشگاهی بر روی لاک‌های دو جزئی (2K) بیان‌گر آن است که DOI به عوامل زیر بستگی دارد:

- مقدار گلیسیدیل نتودکانوئیت در فرمولاسیون رزین مورد استفاده در تولید لاک
- میزان سختی پوشش
- سرعت تبخیر حلال‌های پوشش
- شرایط و محیطی که پوشش در آن خشک می‌گردد.
- جنس و ضخامت لاک نهایی

به عنوان یک قاعده کلی، لاک‌هایی که با سرعت بالا خشک می‌شوند، خواص ظاهری نامناسبی دارند، [۶]. زیرا پوشش زمان کافی برای هم‌تراز شدن و رسیدن به سطحی صاف در لاک رویه اتومبیل ندارد. می‌توان با استفاده از

^۱ Distinctiveness of image

جدول ۲- خواص لاک‌های بر پایه اکریلیک پلی‌ال و ترکیب اکریک پلی‌ال و پلی‌استر.

مخلوط اکریلیک و پلی‌استر پلی‌ال	کریلیک پلی‌ال خالص	
۴۳٪	۱/۴٪	عدد اسیدی
۴/۶	۳/۳	عدد هیدروکسیل (mg KOH/g)
۴۱۵	۴۴۰	VOC
۱/۱	۱/۱	نسبت NCO/OH
۴۹	۵۱	و گرانیوی ابتدایی mPas
۱/۲	۱/۵	زمان کاربری
پوشش‌های سخت شده در دمای محیط		
۱۰	۸	زمان خشک شدن سطحی (min)
۵	۵	سختی در واحد کونینگ (s) بعد از ۶ ساعت
۱۵	۱۸	بعد از ۱۲ ساعت
۹۵/۰	۹۳/۹	(DOI) وضوح تصویر
۶۰	۷۲	ضخامت مورد نیاز در DOI ۹۵ (μm)
پوشش‌های سخت شده در دمای ۶۰ °C به مدت ۲۰ دقیقه		
۱۳	۱۳	سختی در واحد کونینگ (s) بعد از خارج شدن از آون
۱۴	۱۴	بعد از ۶ ساعت
۲۳	۲۳	بعد از ۲۴ ساعت
۹۳/۸	۹۲/۸	DOI در ضخامت ۶۰ μm
۷۲	۸۳	ضخامت مورد نیاز DOI ۹۵ (μm)

۴- نتیجه‌گیری

پلی‌ال گردد. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که پلی‌استرهای ستاره‌ای بر پایه گلیسیدیل نئودکانوئیت که از طریق واکنش پلیمریزاسیون مرحله‌ای حلقه‌گشا تولید می‌شوند، پوشش‌های پلی‌یورتانی با VOC به مراتب کمتری را فراهم می‌کند، که علاوه بر سرعت خشک شدن بالا، دستیابی به خواص ظاهری فوق‌العاده‌ای را در تولید پوشش‌های پلی‌یورتانی رویه اتومبیل‌ها ممکن می‌سازد.

بررسی‌های انجام شده بیان‌گر آن است که ترکیب خواص شیمیایی اکریلیک و پلی‌استر منجر به کاهش چشمگیر VOC در رزین‌های اکریلیک پلی‌ال می‌گردد. همچنین می‌توان از گلیسیدیل نئودکانوئیت به عنوان حلال فعال استفاده نمود که این ماده در طی واکنش استری شدن که هم‌زمان با واکنش پلیمریزاسیون رادیکالی در راکتور رخ می‌دهد، وارد ساختار رزین اکریلیک

۵- مراجع

- H. Petit, N. Henry, A. Krebs, "Ambient cure high solids acrylic resins for automotive refinish clear coat applications", Prog. Org. Coat., 43, 1-3, **2001**.
- De Jong Feike in WO 01/25225 A₂, Int. Filing 29.09.**2000**.
- D. Heymans, G. Uytterhoeven, N. Henry, FATIPEC congress, Budapest. **2006**.
- D. Mestach, A. Van Gaans, P. Vandevoorde, "Polyurethanes for High Performance Coatings", Berlin, **2004**.
- Gertzmann., US 200610348 (A1) Polyester – Polyacrylate dispersions with reactive diluents based on hydroxyl-functional esters.
- J. Wang, D. Heymans, C. Steinbrecher, "Cardura uses in ambient cured fast drying automotive clearcoats with superior appearance", FATIPEC congress, Genoa. **2010**.