

بررسی سازگاری و خواص آمیخته‌های پلی(وینیل کلرید) - پلی یورتان پایه استری

Investigation of Compatibility and Properties of Polyvinyl Chloride/Ester- based Polyurethane Blends

بهاره رشیدی، نادره گلشن ابراهیمی*

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۱۴۱۱۵/۱۴۳
دریافت: ۸۵/۱/۳۱، پذیرش: ۸۵/۸/۳۰

چکیده

آمیخته‌های پلی یورتانی بر پایه پلی(کاپرولاکتون) و پلی(وینیل کلرید)، به منظور بررسی اثر حافظه شکلی تولید شده‌اند. پلی یورتان مورد نظر شامل فازهای بسیار ریز نرم و سخت است، که فاز نرم یا دیول آن از پلی(کاپرولاکتون) و فاز سخت آن از مجموعه متیلن بیس فنیل دی ایزوسیانات و زنجیرافزای بوتان دیول تشکیل شده است. آمیخته‌های پلی یورتان با پلی(وینیل کلرید) که درصد وزنی PVC آن ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ است، به روش محلول درحلال دی متیل استامید تهیه شده و سازگاری، خواص کششی و مقدار پراکندگی یک فاز در فاز دیگر ارزیابی شده است. وجود یک دمای انتقال در نمودارهای حاصل از آزمونهای دینامیکی - مکانیکی و جابه‌جایی محل پیکها با تغییر ترکیب درصد در طیفهای زیرقرمز، سازگاری دو پلیمر را نشان می‌دهند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی و نوری نیز گویای پراکندگی مناسب دو پلیمر در یکدیگرند. بررسی طیفهای FTIR نشان می‌دهد که شدت جدایی فاز میان فاز نرم و سخت با افزایش درصد PVC افزایش می‌یابد. ارزیابی نتایج نشان می‌دهد، آمیخته‌های یاد شده مستعد داشتن اثر حافظه شکلی اند.

واژه‌های کلیدی

پلی استر یورتان، پلی(وینیل کلرید)،
آمیخته سازی، سازگاری،
خواص دینامیکی-مکانیکی

مقدمه

ویژگیهای آنها از مواد گرماسخت تا الاستومر نرم، بسته به تفاوت در ماهیت شیمیایی، وزن مولکولی و ترکیب درصد اجزای مختلف آنها متغیر است. این کوپلیمرهای بلوکی زیرمجموعه مهمی از الاستومرهای گرمانرم اند که اساسا شامل بلوکهای تکرارشونده نرم و سخت اند. بخش نرم

آمیخته سازی پلیمرها، روشی مؤثر برای تولید موادی جدید با خواص مطلوب و مورد نظر است که در مقایسه با سنتز مستقیم، برای اصلاح پلیمرها و دستیابی به خواص برجسته و مفید اقتصادی تر هستند. پلی یورتانها از جمله پلیمرهای دارای خواص ویژه و برجسته اند که

Key Words

polyester urethane, polyvinyl chloride,
blending, compatibility,
dynamic-mechanical properties

* مؤلف مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: ebrahimn@modares.ac.ir

PCL با PVC بررسی شده که مشخصات و خواص پلی‌یورتان(نوع فازه‌ای نرم و سخت) و نیز وزن مولکولی PVC متفاوت از مطالعات پیشین است.

هدف نهایی از آمیختن این دو پلیمر بررسی اثر حافظه شکلی آمیخته‌های آنهاست، در حالی که هریک از آنها به طور خالص و در شرایط خاص نیز می‌توانند پلیمرهای حافظه‌دار محسوب شوند [۸،۹]. نتایج این بررسی در مقاله بعدی نویسندگان خواهد آمد [۱۰].

تجربی

مواد

پلی‌یورتان مورد نظر با نام تجاری LPR۲۱۰۲-۸۵AE از شرکت Coim ایتالیا خریداری شد. فاز نرم این پلی‌یورتان، PCL، با وزن مولکولی ۲۰۰۰ g/mol و دمای انتقال شیشه‌ای 32°C - به مقدار ۷۰ درصد وزنی پلیمر را تشکیل می‌دهد. فاز سخت پلی‌یورتان از مجموعه متیلن بیس فنیل دی‌ایزوسیانات و ۴،۱-بوتان دیول (MDI/BD) با دمای ذوب 130°C تشکیل شده است. پلی‌وینیل کلرید (با مقدار K برابر ۷۰) بدون هر نوع افزودنی از قبیل نرم‌کننده از پتروشیمی بندرامام تهیه شد که دمای انتقال شیشه‌ای آن 70°C است.

دستگاهها

در این پژوهش، آزمونهای کشش با استفاده از دستگاه Tensiumetry ساخت Zwick آلمان و خواص دینامیکی به کمک DMA ساخت شرکت Netzsch آلمان ارزیابی شد. برای برداشت طیفهای FTIR دستگاه BIO-RAD ساخت کشور آمریکا، برای بررسی شکل‌شناسی آمیخته‌ها، میکروسکوپ الکترونی ساخت شرکت Phillips هلند و نیز میکروسکوپ نوری ساخت شرکت صا ایران بکار گرفته شد.

روشها

تهیه آمیخته‌های PVC/PU

آمیخته‌سازی دو پلیمر، به روش محلول با کمک حلال دی‌متیل استامید انجام شد. برای تولید هر یک از آمیخته‌ها، ابتدا محلول ۵ درصد وزنی پلی‌یورتان در حلال تهیه شد و در دمای 50°C به مدت ۷ h همزده شد. سپس، PVC به محلول اضافه شده، پس از گذشت زمان کافی برای حل شدن این پلیمر و نیز خروج حبابهای هوای به دام افتاده از درون محلول، آمیخته به قالب شیشه‌ای منتقل شد. سپس، به مدت ۱۲ تا ۲۴ h (بسته

می‌تواند پلی‌اتر، پلی‌استر یا پلی‌آلکیل دیول با دمای انتقال کم و وزن مولکولی در محدوده ۴۰۰ تا ۵۰۰۰ g/mol باشد. بخش سخت، دی‌ایزوسیانات آروماتیک یا آلیفاتیک با وزن مولکولی زیاد است که به مولکولهای کوچک زنجیرافزا متصل می‌شود. زنجیرافزا شامل دیولها یا دی‌آمینهای با وزن مولکولی کم‌اند که به ترتیب پیوندهای یورتان-یورتان یا یورتان-اوره بیشتر تشکیل می‌دهند. وجود ناسازگاری میان بخشهای سخت یورتانی و بخشهای نرم دیولی باعث ناهمگن شدن این پلی‌یورتانها در مقیاس میکروسکوپی و در نتیجه داشتن دو فاز نرم و سخت می‌شود [۱].

پلی (وینیل کلرید)، PVC، پلیمری گرمانرم است که به دلیل کاربردهای متعدد جایگاه ویژه‌ای در صنعت دارد [۲]. این پلیمر به سبب ماهیت اسیدی ضعیف یا وجود هیدروژن پروتون‌دهنده، سازگاری مناسبی با بسیاری از پلیمرها نشان می‌دهد که در میان آنها می‌توان به کوپلیمرهای آکریلونیتریل بوتادی‌ان، کوپلیمرهای پلی‌اتر-پلی‌استر یا پلی (کاپرولاکتون)، PCL، اشاره کرد. از سوی دیگر، بر اساس سازگاری دو فاز نرم یا سخت پلی‌یورتان با پلیمرهای مختلف، می‌توان به آمیخته‌ای سازگار با خواص جدید دست یافت. طبق پژوهشهای انجام شده، پلی‌استرهای آلیفاتیک با PVC، کوپلیمر استیرن-آکریلونیتریل و فنوکسی رزین سازگار است [۳-۵]. بر اساس این ایده، پلی‌یورتانهایی که فاز نرم آنها از پلی‌استر آلیفاتیک مانند پلی (کاپرولاکتون) تشکیل شده باشد را می‌توان با PVC آمیخت.

مطالعه سوابق موجود از آمیخته‌سازی پلی‌یورتان با PVC حاکی از آن است که پلی‌یورتانهای اتری نیز سازگاری مناسبی با PVC نشان می‌دهد، به شرطی که حلال مناسبی برای اختلاط دو پلیمر با یکدیگر انتخاب و سایر شرایط نیز به دقت تنظیم شود [۴]. در بررسی آمیخته‌های مختلف PVC/PU که حاوی پلی‌یورتانهای مختلف با فاز سخت یکسان، ولی فازهای نرم متفاوت پلی (کاپرولاکتون)، پلی (تترامیلن اکسید) و پلی (پروپیلن اکسید) هستند، چنین نتیجه‌گیری شده است که پلی‌یورتانهای استری سازگاری بهتری نسبت به پلی‌یورتانهای اتری با PVC نشان می‌دهند [۶].

پلی‌یورتانهایی که فاز نرم آنها از PCL با وزنه‌های مولکولی بیش از ۲۰۰۰ g/mol و فاز سخت از مجموعه هگزا متیلن دی‌ایزوسیانات (HDI)- دی‌هیدروکسی بی‌فنیل (DHBP) تشکیل شده است، نیز با PVC آمیخته شده و سازگاری آنها با بررسی نمودارهای DSC، طیفهای FTIR و DMA به اثبات رسیده است [۷].

در این پژوهش، سازگاری و خواص آمیخته‌های پلی‌یورتان بر پایه

نیتروژن مایع شکسته شد. سپس، نمونه‌ها به منظور خروج فاز پراکنده، درون حلال مناسب قرار گرفت. زایلن جوشان به عنوان حلال PVC انتخاب شد، نمونه‌هایی که حاوی این پلیمر به عنوان فاز پراکنده بودند، به مدت ۶ تا ۷ h در زایلن جوشان قرار گرفتند [۱۱]. برای آمیخته‌های حاوی فاز پراکنده پلی‌یورتان از حلال دیوکسان استفاده شد که پلیمر را با شدت بیشتری نسبت به PVC حل می‌کند. نمونه‌ها به مدت ۸ h درون این حلال قرار گرفتند [۴]. پس از اطمینان از خروج فاز پراکنده از نمونه‌ها، تصاویری از سطح مقطع شکست آنها گرفته شد. در روشی مشابه، پس از خروج فاز پراکنده آمیخته‌ها، تصاویری از سطح رویی به کمک میکروسکوپ نوری برداشت شد.

نتایج و بحث

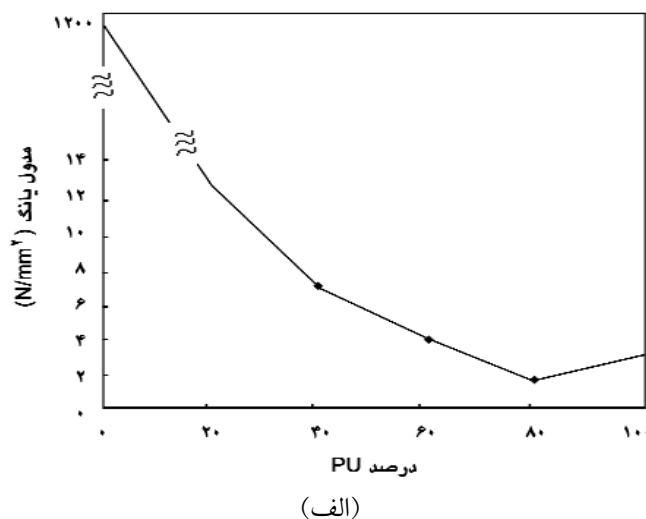
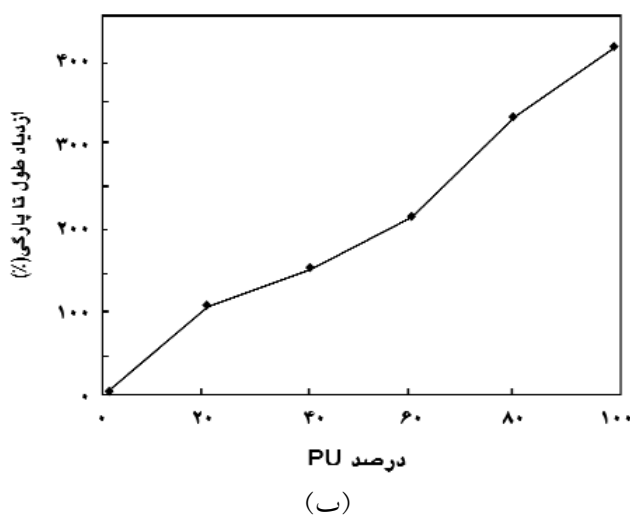
خواص کششی

به منظور مقایسه خواص کششی آمیخته‌ها، آزمون کشش روی شش نمونه تهیه شده به روش محلول که مقدار PVC آنها به ترتیب ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد بود انجام شد. پلی‌یورتان خالص و آمیخته دارای ۲۰ درصد وزنی PVC در دمای انجام آزمون یعنی دمای محیط، در ناحیه بالاتر از Tg خود قرار دارند و ویژگی الاستومر گرمانرم را نشان می‌دهند. اما، سایر آمیخته‌ها و PVC خالص در ناحیه قبل از Tg (ناحیه شیشه‌ای) قرار دارند و مانند ماده‌ای سخت و پلاستیک عمل می‌کنند. مقدار مدول هر یک از این آمیخته‌ها در شکل ۱ (الف) آمده است. همان طور که

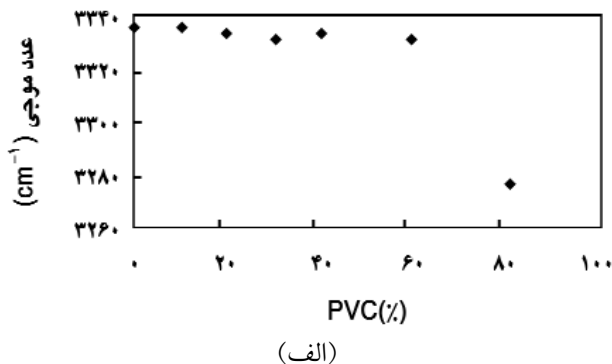
به مقدار حلال موجود در آمیخته) درون گرمخانه با دمای 70°C و فشار جو قرار گرفته و پس از آن به گرمخانه خلأ با فشار 20 mmHg - و دمای محیط انتقال یافت. پس از اطمینان از خروج کامل حلال و خشک شدن آمیخته‌ها، فیلم‌های به ضخامت 0.2 تا 0.4 mm به دقت از قالب شیشه‌ای جدا شدند. با روش یاد شده، آمیخته‌هایی با درصد وزنی PVC برابر ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ و نیز پلیمرهای خالص تهیه و با آزمونهای مختلف بررسی شدند.

آزمونها

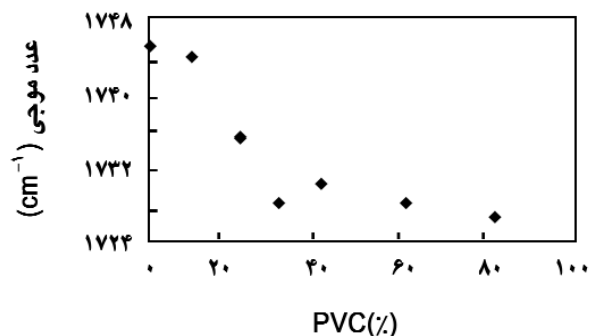
به منظور مطالعه سازگاری، خواص کششی و نیز خواص دینامیکی-مکانیکی آمیخته‌ها، آزمونهای کشش، DMA، طیف‌سنجی زیرقرمز و نیز میکروسکوپی الکترونی و نوری انجام شدند. آزمونهای کشش، روی نمونه‌هایی از آمیخته‌ها به طول 30 mm ، عرض 5 mm و ضخامت تقریبی 0.2 تا 0.4 mm و با سرعت کشش 10 mm/min انجام شد. برای بررسی خواص دینامیکی-مکانیکی پلیمرها در آمیخته‌های تولید شده به کمک دستگاه DMA، نمونه‌هایی از آمیخته‌های مختلف با ابعاد یکسان 16 mm طول، 8 mm عرض و ضخامت تقریبی 0.2 تا 0.4 mm آماده و آزمونها در حالت استاندارد دستگاه و به کمک فکهای یک سرگردار در محدوده دمایی 100°C تا 10°C و بسامد 1 Hz انجام شد. برای سرد کردن آمیخته‌ها از نیتروژن مایع استفاده و سرعت گرم کردن روی 2°C/min تنظیم شد. برای بررسی شکل‌شناسی آمیخته‌ها به کمک میکروسکوپ الکترونی، ابتدا نمونه‌هایی از آمیخته‌های مختلف درون



شکل ۱ نمودار تغییرات: (الف) مدول یانگ و (ب) ازدیاد طول تا پارگی آمیخته‌ها بر حسب درصد PU.



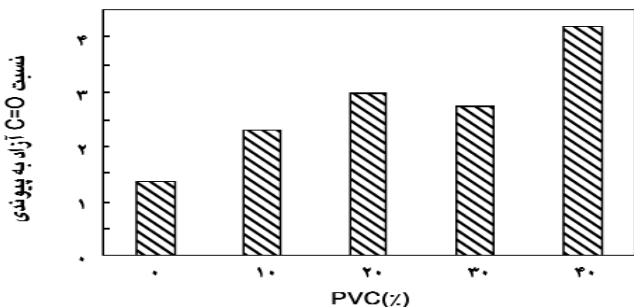
(الف)



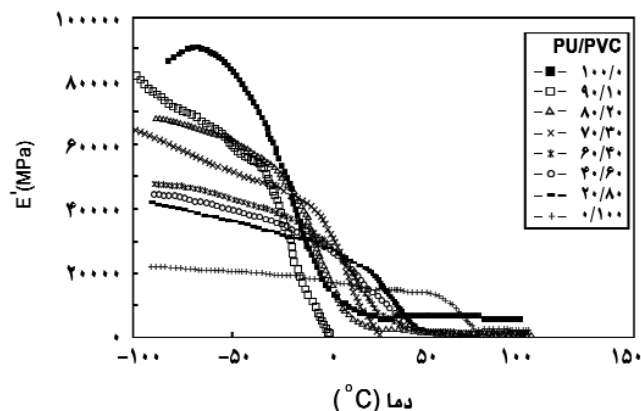
(ب)

شکل ۵ نمودار جابه‌جایی محل پیک با تغییر ترکیب درصد آمیخته‌ها: (الف) N-H و (ب) C=O.

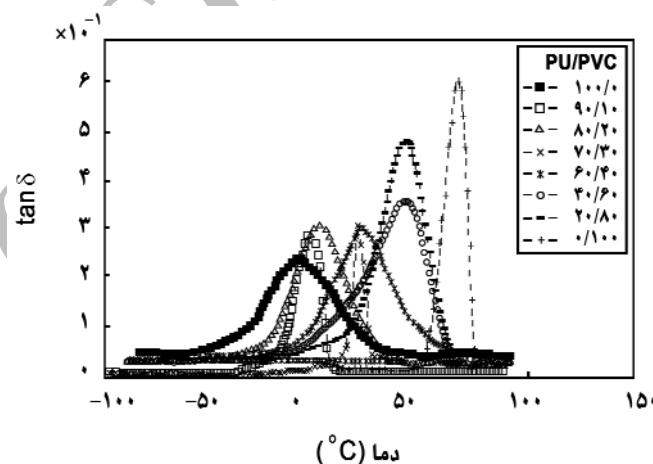
ملاحظه می‌شود، با افزایش درصد PVC (کاهش PU)، مدول در دمای محیط افزایش یافته است. در حقیقت، پلی‌یورتان به عنوان نرم‌کننده باعث کاهش مدول زمینه PVC در آمیخته‌ها می‌شود. همچنین، پژوهشگران ثابت کرده‌اند که استفاده از نرم‌کننده‌هایی چون PU، در مقایسه با سایر نرم‌کننده‌ها، دمای تخریب PVC را افزایش داده و در واقع مقاومت گرمایی PVC را زیاد می‌کند [۱۲].



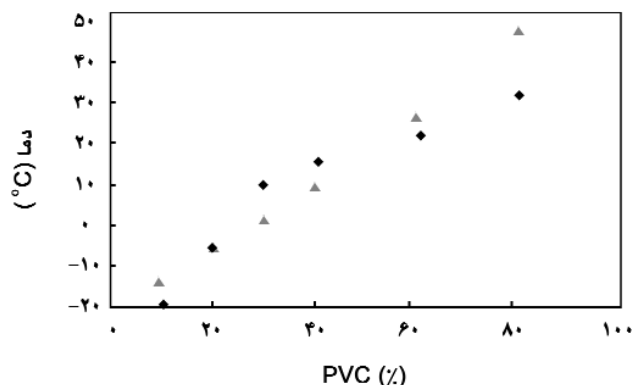
شکل ۶ نمودار نسبت C=O آزاد به C=O پیوندی با تغییر ترکیب درصد آمیخته‌ها.



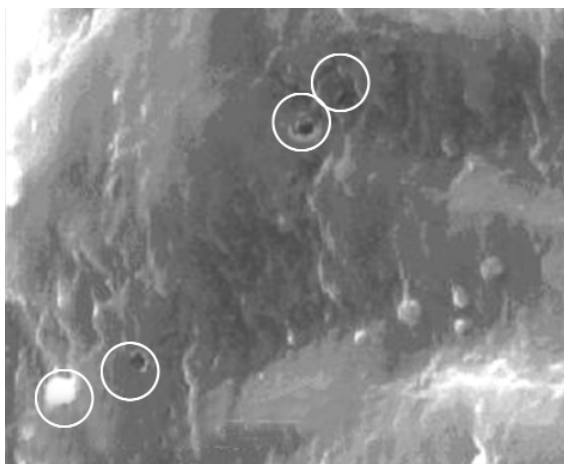
شکل ۲ نمودار E' بر حسب دما برای آمیخته‌های پلی‌یورتان در PVC.



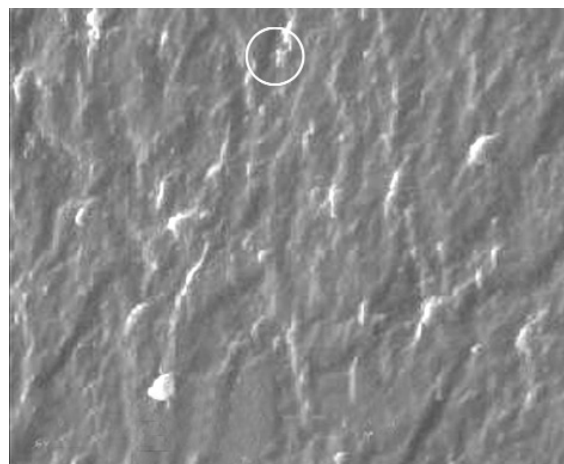
شکل ۳ نمودار $\tan \delta$ بر حسب دما برای آمیخته‌های پلی‌یورتان و PVC.



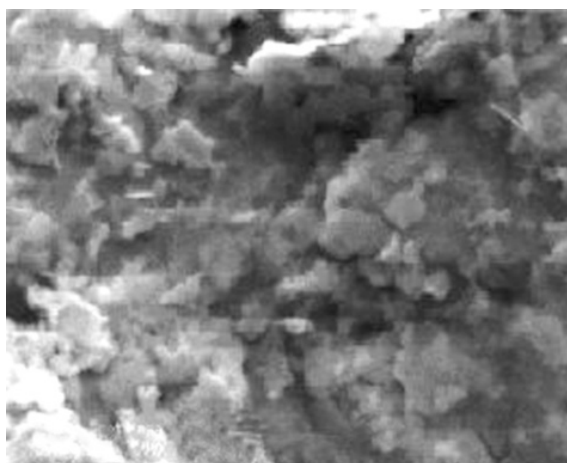
شکل ۴ مقایسه دماهای انتقال آمیخته‌ها: (♦) واقعی و (▲) بر حسب معادله فاکس.



(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۷ تصاویر SEM از سطح مقطع شکست با بزرگنمایی ۲۰۰۰ در آمیخته‌های دارای مقادیر مختلف PVC: (الف) ۱۰ درصد، (ب) ۲۰ درصد، (ج) ۳۰ درصد و (د) ۴۰ درصد (محل خروج فاز پراکنده در تصاویر (الف) تا (ج) با دایره سفید مشخص شده و در تصویر (د) حفره‌ها به وضوح دیده می‌شوند).

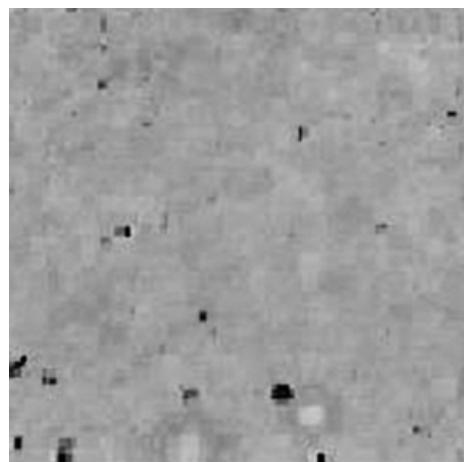
۲ و ۳ آمده است.

وجود یک پله کاهش مدول در نمودار E' و نیز وجود یک پیک انتقال در نمودار $\tan\delta$ ، سازگار بودن آمیخته‌ها را نشان می‌دهد. چنانچه دمای انتقال آمیخته‌ها با توجه به دمای اوج $\tan\delta$ و نیز دماهای انتقال محاسبه شده بر حسب معادله فاکس (Fox equation) بر حسب ترکیب درصد آمیخته‌ها ترسیم شود، شکل ۴ حاصل می‌شود. این نمودار نشان می‌دهد که دو مقدار واقعی دماهای انتقال و نیز دماهای محاسبه شده به یکدیگر نزدیک هستند و دماهای انتقال شیشه‌ای با تغییر ترکیب درصد به طور یکنواخت تغییر می‌کند. دماهای انتقال بین دمای انتقال فاز نرم PU یعنی $PCL (-32^{\circ}C)$ و دمای انتقال PVC خالص $(70^{\circ}C)$ هستند، بنابراین

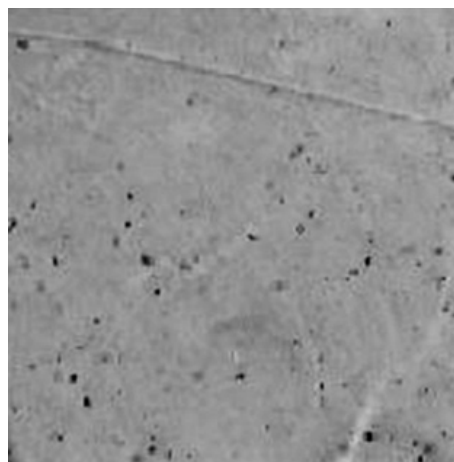
همان طور که در شکل ۱ (ب) مشاهده می‌شود، افزایش درصد PVC باعث کاهش ازدیاد طول تا پارگی آمیخته‌ها شده است که این اثر را می‌توان به کاهش مقدار پلی یورتان و کم شدن اثر آن به عنوان ماده‌ای الاستیک نسبت داد. به بیان دیگر، با ورود PVC به فاز زمینه پلی یورتان، می‌توان آمیخته را تقویت کرد و اثری مشابه اثر پرکننده داشت. برعکس، با ورود پلی یورتان به فاز زمینه PVC می‌توان خواصی چون شکنندگی و مدول زیاد PVC را کمتر کرد.

بررسی خواص دینامیکی-مکانیکی

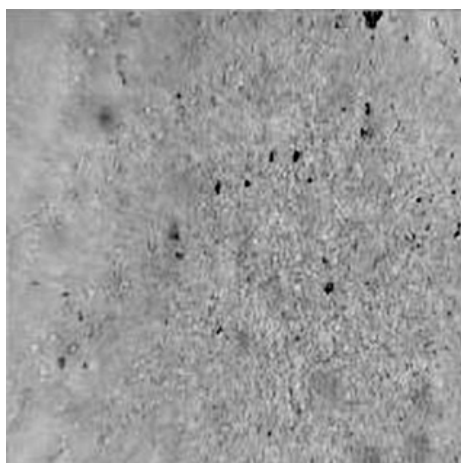
خواص دینامیکی-مکانیکی آمیخته‌های پلی یورتان و PVC در تصاویر



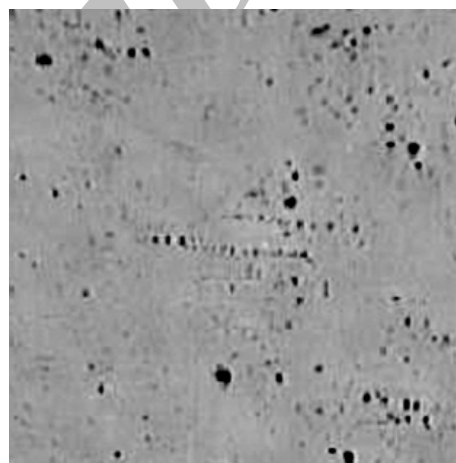
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۸ تصاویر میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ۱۰۰ از سطح آمیخته‌های دارای مقادیر مختلف PU: (الف) ۲۰ درصد، (ب) ۴۰ درصد، (ج) ۶۰ درصد و (د) ۸۰ درصد.

شیشه‌ای به لاستیکی است که در آمیخته‌های مورد نظر نیز نسبتاً صادق است، نکته دیگر آنکه تفاوت زیاد میان مدول ناحیه لاستیکی و شیشه‌ای سبب می‌شود که ماده به راحتی در دمای بیشتر از T_g تغییر شکل یافته و همچنین مقاومت در برابر تغییر شکل در دماهای زیر T_g زیاد باشد. این عامل نیز برای اثر حافظه شکلی مطلوب است [۱۳].

بررسی طیفهای FTIR

در طیفهای FTIR آمیخته‌های PVC/PU معمولاً دو ناحیه مورد توجه ویژه قرار می‌گیرد. یکی مربوط به ناحیه پیک جذب $N-H$ ، که در بسامد 3000 تا 3300 cm^{-1} ظاهر می‌شود، دیگری مربوط به ناحیه پیک جذب $C=O$ گروه که از 1640 تا 1800 cm^{-1} است. در هر دو ناحیه نام برده

می‌توان نتیجه گرفت که فاز نرم PU با PVC یک فاز را تشکیل داده و فاز دیگر مربوط به فاز سخت PU است.

وجود ناحیه مسطح لاستیکی در نمودار E' ، وجود اتصالات عرضی و تشکیل شبکه کشسان را نشان می‌دهد. این شبکه تا پیش از رسیدن به دمای انتقال فاز سخت و از میان رفتن پیوندهای موجود در آنها پایدار است [۷]. به دلیل محدودیتهای موجود، افزایش دما و رسیدن به دمای ذوب فاز سخت پلی یورتان (مطابق با گزارش شرکت تامین کننده PU در حدود 130°C) میسر نشد. اما، با توجه به آن که دمای انتقال آمیخته‌ها بین دماهای انتقال PCL و PVC خالص است، می‌توان نتیجه گرفت که بلوکهای سخت پلی یورتان فاز سخت کل آمیخته‌ها را تشکیل می‌دهند. یکی از ملزومات مشاهده اثر حافظه شکلی مناسب، انتقال تیز از حالت

دیده می‌شود، اما در سایر آمیخته‌ها خروج PVC، به شکل لایه‌ای یا کروی اثبات می‌شود، به طوری که در آمیخته دارای ۴۰ درصد PVC، تشخیص فاز پراکنده و زمینه مشکل است.

برای مقایسه شکل شناسی آمیخته‌های حاوی فاز پیوسته پلی‌یورتان (۶۰ و ۸۰ درصد پلی‌یورتان) با آمیخته‌های دارای فاز پیوسته PVC (۶۰ و ۸۰ درصد PVC)، تصاویری از سطح رویی آمیخته‌های یاد شده به کمک میکروسکوپ نوری گرفته شد (شکل ۸). در تمام این تصاویر پراکندگی فاز پراکنده در زمینه مناسب است و اندازه آن با افزایش فاز پراکنده کاهش نسبی یافته است.

نتیجه‌گیری

آمیخته‌های پلی‌یورتان بر پایه پلی‌کاپرولاکتون با PVC تهیه شد، نتایج بررسی حاکی از سازگاری این دو پلیمر است. این آمیخته‌ها در واقع دو فازی بوده که فاز نرم آنها متشکل از PCL و PVC است و فاز سخت را مجموعه دی‌ایزوسیانات و زنجیرافزا (در واقع همان فاز سخت پلی‌یورتان) تشکیل می‌دهند. دمای انتقال فاز نرم با افزایش درصد PVC در آمیخته‌ها به سمت دماهای بالاتر جا به جا می‌شود. وجود ناحیه مسطح لاستیکی در نمودارهای مدول ذخیره، وجود اتصالات عرضی و شبکه کشسان را در آمیخته‌ها اثبات می‌کند.

طیفهای FTIR ضمن تأیید سازگاری آمیخته‌ها، نشان می‌دهد که شدت جدایی فاز میان فاز نرم و سخت آمیخته‌ها با ازدیاد درصد PVC افزایش می‌یابد. پراکندگی مناسب فاز پراکنده در فاز زمینه به کمک تصاویر میکروسکوپ الکترونی و میکروسکوپ نوری تأیید می‌شود. در مجموع می‌توان چنین برداشت کرد که آمیخته PVC/PU مستعد داشتن اثر حافظه شکلی است که بررسی دقیقتر این ادعا به قسمت دوم پژوهش نویسندگان موکول می‌شود.

مراجع

1. Lamba N.M.K., Woodhous K.A. and Cooper S.L., *Polyurethanes in Biomedical Applications*, CRC, 5-23 & 66-68, 1998.
2. Felger Hans K., *Application of PVC in Industry* (Translated by Ganji M., 1-7 1st ed., Noorpardazan, 2003).

شده، پیکهای موجود می‌توانند آزاد یا درگیر در پیوند هیدروژنی باشند. اگر در اثر آمیخته‌سازی برهمکنشهایی میان اجزای پلیمری رخ دهد، محل پیک مربوط به گروههای شرکت کننده در این برهمکنشها، جابه‌جا می‌شود. این موضوع را به سازگاری اجزای آمیخته می‌توان نسبت داد [۴]. شکل ۵ (الف)، محل پیک گروه N-H شرکت کننده در پیوند هیدروژنی را نشان می‌دهد. جابه‌جایی محل پیک با تغییر ترکیب درصد، گویای سازگاری آمیخته‌هاست. شکل ۵ (ب)، به طور مشابه محل پیک مربوط به گروه C=O آزاد فاز نرم را نشان می‌دهد که نتایج برگرفته از شکل ۵ (الف)، یعنی سازگاری آمیخته‌ها را تصدیق می‌کند.

طبق مطالعات انجام شده، نسبت پیک جذبی در نزدیکی بسامد 1732 cm^{-1} به پیک جذبی در محدوده بسامد 1702 cm^{-1} ، که گویای نسبت کربونیل آزاد به کربونیل پیوندی است، به عنوان معیار جدایی فاز تلقی می‌شود [۱]. هرچه این نسبت بزرگتر باشد، جدایی فاز در آمیخته‌ها شدت بیشتری دارد.

شکل ۶ تغییر نسبت یاد شده را با تغییر ترکیب درصد نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد PVC، این نسبت افزایش می‌یابد. به بیان دیگر، ورود PVC به فاز نرم از شدت پیوند هیدروژنی میان N-H فاز سخت و C=O فاز نرم می‌کاهد. در دو آمیخته حاوی ۶۰ و ۸۰ درصد PVC، دیگر پیک مربوط به C=O پیوندی ملاحظه نمی‌شود. این مطلب بدان معناست که در این دو آمیخته، تمام کربونیلها آزادند و شدت جدایی فاز در آنها نسبت به سایر آمیخته‌ها، به مراتب بیشتر است.

شکل شناسی آمیخته‌ها

تصاویر میکروسکوپ الکترونی با بزرگنمایی ۲۰۰۰ از سطح مقطع شکست آمیخته‌هایی که پلی‌یورتان فاز پیوسته آنهاست، در شکل ۷ آورده شده است. با افزایش درصد PVC، تعداد حفره‌های مربوط به این پلیمر افزایش یافته، پراکندگی خوبی از فاز پراکنده در زمینه مشاهده می‌شود. در آمیخته دارای ۱۰ درصد PVC، به سختی حفره یا سوراخی

3. Jeong H.M., Ahn B.K. and Kim B.K., Miscibility and Shape Memory Effect of Thermoplastic Polyurethane Blends with Phenoxy Resin, *Eur. Polym. J.*, **37**, 2245-2252, 2001.
4. Wang C.B. and Cooper S.L., Morphology and Properties of Poly(vinyl chloride)-Polyurethane Blends, *J. Appl. Polym.*

- Sci.*, **26**, 2989-3006, 1981.
5. Demma G., Martuscelli E., Zanetti A. and Zorzetto M., Morphology and Properties of Polyurethane-based Blends, *J. Mater. Sci.*, **18**, 89-102, 1983.
 6. Xiao F., Shen D., Zhang X., Hu S. and Xu M., Studies on the Morphology of the Blends of Poly (vinyl chloride) and Segmented Polyurethanes, *Polymer*, **28**, 2335-2345, 1987.
 7. Ann T.O., Miscibility of Thermoplastic Polyurethane Elastomers with Chlorine-containing Polymers, *Polym. Int.*, **29**, 115-120, 1992.
 8. Ping P., Wenshou W., Chen X. and Jing X., Poly(ϵ -caprolactone)Polyurethane and its Shape Memory Property, *Biomacromolecules*, **6**, 587-592, 2005.
 9. Skákalová V., Lukes V. and Breza M., Shape Memory Effect of Dehydrochlorinated Crosslinked Poly(vinyl chloride), *Macromol. Chem. Phys.*, **198**, 3161-3172, 1997.
 10. Rashidi B. and Golshan Ebrahimi N., Investigation of Shape Memory of PVC/Thermoplastic Polyester Urthane, *Iran. J. Polym. Sci. Technol.*, **20**, 2, 2007 (In Press).
 11. Brown D., *Simple Methods for Identification of Plastics*, Hanser, 1999 (Translated by Kokabi M., Persian, 4th ed., Karafarinan Basir, 2001).
 12. Pielichowski K. and Swierz-Motysia B., Influence of Polyesterurethane Plasticizer on the Kinetics of Poly (vinyl chloride) Decomposition Process, *J. Thermal Anal. Calorimetry*, **83**, 207-212, 2006.
 13. Tobushi H., Hara H., Yamada E. and Hayashi S., Thermomechanical Properties in a Thin Film of Shape Memory Polymer of Polyurethane Series, *Smart Mater. Struct.*, **5**, 483-491, 1996.

Archive of SID