

تهیه و بررسی خواص آلیاژ PP/PET

Preparation and Properties of PP/PET Blend

فریبرز ابراهیمیان^۱، نادره گلشن ابراهیمی^۱، محمود محرابزاده^۲

۱- تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی پلیمر، صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵

۲- تهران، پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۱۵-۱۴۹۶۵

دریافت: ۷۸/۶/۱۵، پذیرش: ۷۸/۹/۲۰

چکیده

در این مقاله روش تهیه آمیزه‌های PP/PET و خواص آنها بررسی شده است. برای دستیابی به ترکیب درصد مناسب PET در PP آمیزه‌هایی شامل درصدهای وزنی متفاوت PET در PP تهیه و خواص فیزیکی و مکانیکی، رفتار گرمایی و شکل‌شناسی آنها مطالعه شده است. نتایج حاصل، حاکی از آن است که آمیزه دارای ۲۰ درصد وزنی PET در PP خواص بهتری را نسبت به سایر آمیزه‌ها داراست. برای افزایش سازگاری میان اجزای آمیزه از پلی‌پروپیلن عامل‌دار شده با مالئیک انیدرید (PP-g-MAH) استفاده شده و برای این منظور دو روش بکار گرفته شده است. در روش اول آلیاژی از اختلاط PP-g-MAH و PET حاصل شده (PP-g-MAH/PET)، در صورتی که در روش دوم از PP-g-MAH به عنوان عامل سازگار کننده استفاده شده است (PP/PET/PP-g-MAH). نتایج نشان می‌دهد که سازگاری اجزا و مدول آلیاژها افزایش یافته و میزان سازگاری اجزا در آلیاژ PP-g-MAH/PET بیش از آلیاژ دیگر است.

واژه‌های کلیدی: آمیزه، آلیاژ، پلی‌اتیلن ترفتالات/پلی‌پروپیلن، امتزاج‌پذیری، مالئیک انیدرید

Key Words: compound, blend, PP/PET, miscibility, maleic anhydride

مقدمه

که عمده‌ترین آنها عبارتند از:

- افزودن یک جزء سوم به آلیاژ به عنوان عامل سازگار کننده، این جزء باید قابلیت امتزاج یا واکنش شیمیایی با اجزای آمیزه را داشته باشد.
- اصلاح یکی از اجزای آلیاژ به کمک گروه‌های عاملی مناسب به نحوی که سبب افزایش امتزاج‌پذیری میان اجزا گردد.

در این پژوهش، آلیاژ امتزاج‌ناپذیر پلی‌پروپیلن (PP) و پلی‌اتیلن ترفتالات (PET) مورد بررسی قرار می‌گیرد و هدف بدست آوردن ترکیب درصد بهینه PET در PP برای ایجاد خواص مکانیکی مناسب در آمیزه است. برای انجام این کار، ابتدا ترکیب درصد بهینه PET در PP بدست می‌آید و سپس با استفاده از پلی‌پروپیلن عامل‌دار شده با مالئیک انیدرید (PP-g-MAH)، روی آلیاژ بهینه، سازگاری اعمال می‌شود.

آلیاژسازی پلیمرها با یکدیگر، خواص مورد نیاز صنعت را که نمی‌توان در پلیمرهای معمولی بدست آورد به محصول می‌دهد. در ضمن، به دلیل اقتصادی بودن این عمل نسبت به سنتز پلیمرهای جدید و همچنین به علت آنکه می‌توان با آلیاژسازی طیف وسیعی از خواص را بهبود بخشید، روز به روز بر اهمیت و وسعت این شاخه از علوم پلیمر افزوده می‌شود [۱]. ناگفته نماند که اکثریت قریب به اتفاق آلیاژهای پلیمری امتزاج‌ناپذیرند که با اعمال روشهای سازگار کردن مناسب، می‌توان خواص مطلوبی را در این گونه آلیاژها ایجاد کرد. برای حصول سازگاری میان اجزای یک آلیاژ، روشهای مختلفی وجود دارد [۱،۲]

تجربی

ایرگنوکس ۱۰۱۰ بر مبنای وزن PP در هر آلیاژ مصرف شده و برای تهیه نمونه برای آزمایشها از روش قالبگیری فشاری در دمای 250°C و فشار 150 kg/cm^2 استفاده شده است.

مواد

پلیمرهای مصرفی برای تهیه آلیاژها عبارتند از: پلی پروپیلن تولیدی شرکت پتروشیمی اراک بانام تجاری S-30-T با $MFI=3/5\text{ g/10 min}$ و پلی اتیلن ترفتالات نوع بطری تولیدی شرکت سایبک کشور عرستان با $dI/g=0/85-0/82$ [۱] همچنین، برای سازگار کردن اجزا در مرحله سازگاری، پلی پروپیلن عامل دار شده با مالئیک انیدرید (PP-g-MAH) با $MFI=28/8\text{ g/10 min}$ و مقدار $0/267$ درصد وزنی مالئیک انیدرید ساخته و بکار گرفته شده است.

نتایج و بحث

آمیزه‌های بدون سازگار کننده

در این بخش، ابتدا نتایج مربوط به آمیزه‌های بدون سازگار کننده ارائه می‌شود. برای یافتن ترکیب درصد بهینه PET، آمیزه‌هایی با ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۵۰ درصد وزنی PET در PP تهیه شد و به منظور مقایسه دو نمونه PP و PET خالص نیز تهیه گردید. در بخش بعد نتایج آزمایشهای مختلف روی این آلیاژها به ترتیب ارائه می‌شود.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی

در شکل‌های ۱ تا ۵ تصاویر میکروسکوپی سطح شکست نمونه‌ها ارائه شده است. همان گونه که از این شکلها پیداست، به دلیل امتزاج ناپذیری ذاتی میان اجزا، آمیزه‌ها دارای ساختار دو فازی بوده و چسبندگی کمی میان اجزای آمیزه وجود دارد، به نحوی که حفره‌های خالی، جای ذرات کنده شده در اثر ضربه، بروشنی دیده می‌شود. در آمیزه‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی PET، ذرات این ماده به صورت ذرات کروی درون ماتریس PP پخش شده و از توزیع نسبتاً مناسبی برخوردار است و با افزایش میزان PET، اندازه ذرات بزرگتر می‌شود. در آمیزه دارای ۲۰ درصد وزنی PET، شکل شناسی آمیزه فرق می‌کند و از کروی به لیفچه تغییر می‌یابد. همچنین، میزان چسبندگی و درهم رفتن اجزا در آمیزه بیش از سایر آمیزه‌هاست و بهترین توزیع اندازه ذرات نیز در این آمیزه مشاهده می‌شود. این نوع شکل شناسی قبلاً نیز برای این آلیاژ مشاهده شده است [۳].

در آمیزه دارای ۵۰ درصد وزنی PET، یک هم پیوستگی فازی مشاهده می‌شود. همان گونه که از این شکل پیداست، در این آمیزه میزان درهم رفتن اجزا کمتر از آمیزه‌های دیگر است. نظیر همین نوع شکل شناسی، در آمیزه PP/PA با ترکیب ۵۰ درصد وزنی PA نیز مشاهده و بیان شده است که این نوع شکل شناسی هم پیوستگی فازی بواسطه داشتن چسبندگی ضعیف میان اجزا منجر به ضعیفترین خواص نهایی می‌شود [۴]. بنابراین، با توجه به اینکه در آمیزه‌های امتزاج ناپذیر، شکل شناسی نقش عمده‌ای در تعیین خواص نهایی آمیزه‌ها دارد [۵] می‌توان انتظار داشت که آمیزه دارای ۲۰ درصد وزنی PET، خواص بهتری نسبت به سایر آلیاژها داشته باشد.

دستگاهها

دستگاه گرماسنجی پوشی تفاضلی (DSC): برای بررسی خواص گرمایی نمونه‌ها از گرماسنج ساخت پلیمرلاب مدل ST۶۲۵ استفاده شده و همه آزمایشها با سرعت گرمادهی 20°C/min و در جو نیتروژن انجام گرفته است.

دستگاه میکروسکوپ الکترون پوشی (SEM): برای بررسی شکل شناسی نمونه‌ها از یک میکروسکوپ الکترونی ساخت کمبریج مدل S۳۶۰ استفاده شده است. برای تهیه نمونه‌های لازم جهت انجام آزمایشها، ابتدا نمونه‌های آماده شده برای اندازه گیری مقاومت در برابر ضربه طبق استاندارد در دمای محیط شکسته شده، سپس سطح شکست نمونه‌ها به کمک لایه‌ای از آلیاژ طلا و پلاتین پوشانده شده است. اشاره می‌شود که همه عکسها با بزرگنمایی ۲۰۰۰ برداشت شده است.

دستگاه کشش: با استفاده از دستگاه اینسترون مدل ۶۰۲۵، نمونه‌های دمبلی شکل طبق استاندارد ASTM-D۴۱۲ die D با سرعت کشش 5 mm/min تحت کشش قرار گرفته‌اند.

روشها

آلیاژسازی به کمک مخلوط کن داخلی هک مدل ۹۰ در دمای 250°C و دور 60 rpm در زمان حدود ۷ دقیقه انجام شده است و قبل از تهیه آلیاژها، پلی اتیلن ترفتالات به مدت ۲۴ ساعت در آون خلاء با دمای 100°C به منظور حذف رطوبت فرار گرفته است. در ضمن، برای جلوگیری از تخریب PP، مقدار $0/5\text{ phr}$ پایدار کننده گرمایی از نوع



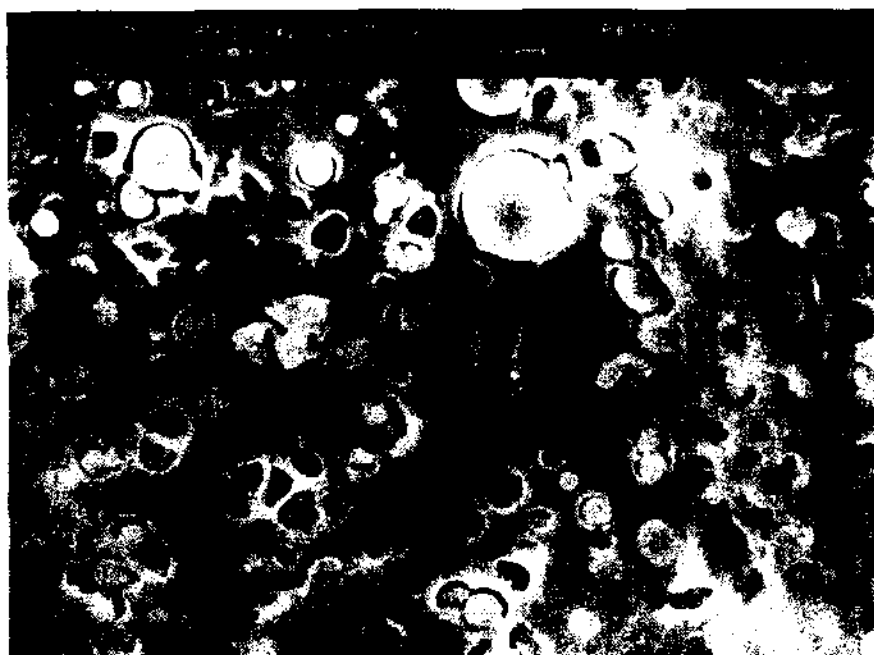
شکل ۱- عکس SEM آمیزه ۹۵/۵ PP/PET

$$(1) \quad \text{درصد بلورینگی} = 100 \times \frac{\Delta H_f - \Delta H_c}{x \Delta H_{ref}}$$

که در آن ΔH_c و ΔH_f به ترتیب گرمای ذوب و گرمای تبلور سرد (cold crystallization) طی آزمایش، ΔH_{ref} گرمای ذوب پلیمر ۱۰۰ درصد متبلور و x کسر وزنی هر یک از اجزاست. مقادیر ΔH_c و ΔH_f برای

بررسی رفتار گرمایی

در جدول ۱ اطلاعات مربوط به آزمایشهای گرماسنجی پوشی تفاضلی (DSC) انجام شده روی نمونه‌ها نشان داده شده است. برای محاسبه درصد بلورینگی نمونه‌ها از فرمول ۱ استفاده شده است [۶].



شکل ۲- عکس SEM آمیزه ۹۰/۱۰ PP/PET

جدول ۱- دماهای ذوب و درصد بلورینگی نمونه‌ها.

| پلی اتیلن ترفتالات (PET) | | پلی پروپیلن (PP) | | ترکیب درصد نمونه‌ها (PP/PET) |
|--------------------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------------------------|
| درصد بلورینگی | T _m (C) | درصد بلورینگی | T _m (C) | |
| - | - | ۲۹/۱ | ۱۶۸ | ۱۰۰/۰ |
| - | - | ۳۵/۳ | ۱۷۰ | ۹۵/۵ |
| - | - | ۳۶/۲ | ۱۶۶ | ۹۰/۱۰ |
| ۲۶/۳ | ۲۴۸ | ۳۸/۷ | ۱۶۹/۶ | ۸۰/۲۰ |
| ۲۰/۴ | ۲۵۰ | ۳۸/۵ | ۱۶۹ | ۷۰/۳۰ |
| ۱۸ | ۲۵۲ | ۳۳/۳ | ۱۶۹ | ۵۰/۵۰ |
| ۲۳/۴ | ۲۴۸/۸ | - | - | ۰/۱۰۰ |

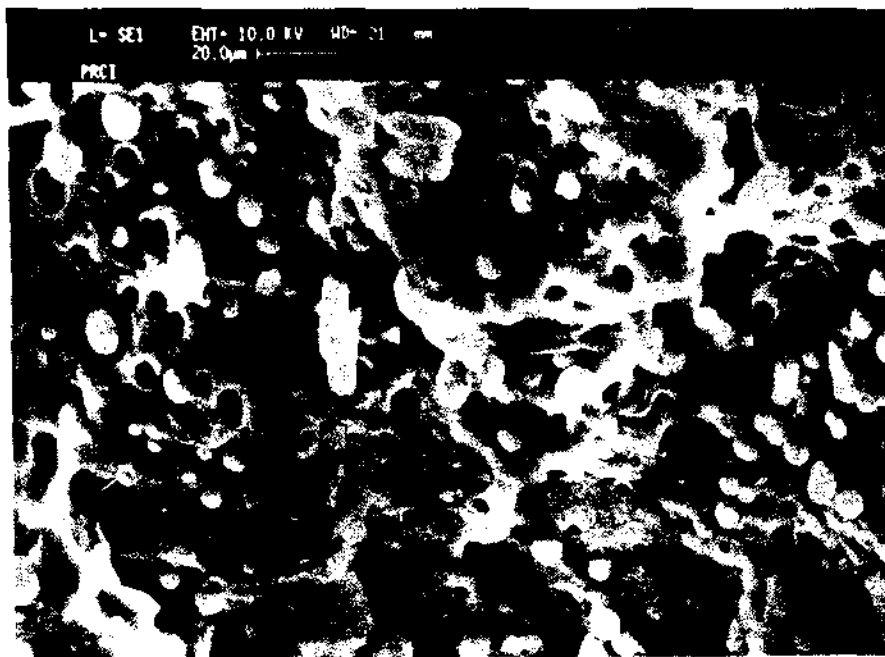
تبلور PP در مجاورت فاز جامد PET رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، ذرات PET حکم سطح خارجی را برای جزء PP دارند و بنابراین هسته‌زایی در آن از نوع غیرهمگن است. از آنجا که این عمل، اندازه لازم برای رشد پایدار بلورها را کاهش می‌دهد، باعث افزایش هسته‌زایی می‌شود [۹]، بنابراین میزان بلورینگی افزایش می‌یابد. در آمیزه دارای ۵۰ درصد وزنی PET، همان گونه که از تصاویر میکروسکوپی نیز مشاهده می‌شود، شکل‌شناسی به صورت هم‌پیوسته بوده و میزان تداخل فازها در یکدیگر کم است. بنابراین، فاز PP تقریباً به صورت جداگانه متبلور شده و فاز PET تاثیر زیادی روی بلورینگی آن ندارد. از این رو، میزان بلورینگی این آمیزه نسبت به سایر آمیزه‌ها کاهش می‌یابد.

نمونه‌ها از سطح زیر منحنی ییکهای ذوب و تبلور سرد بدست می‌آیند و مقدار ΔH_{ref} برای اجزای خالص به قرار زیر است [۷،۸]

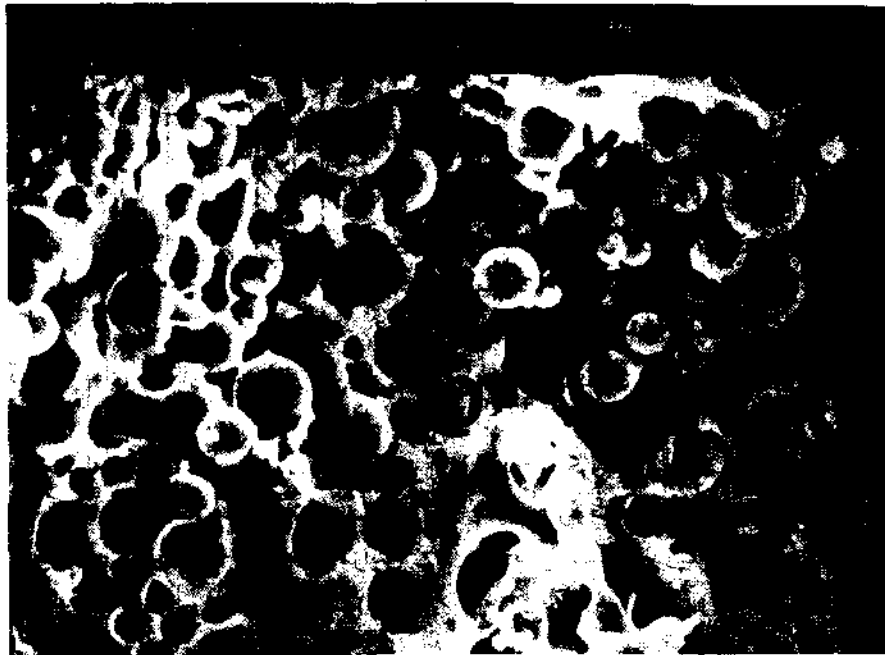
$$\Delta H_{ref} PP = 50 \text{ cal/g}$$

$$\Delta H_{ref} PET = 32/5 \text{ cal/g}$$

با ملاحظه مقادیر درصد بلورینگی، مشاهده می‌شود که با افزودن PET، میزان بلورینگی PP تا ترکیب ۲۰ درصد وزنی PET افزایش یافته و پس از آن کاهش می‌یابد، به نحوی که کمترین میزان بلورینگی در آمیزه با ۵۰ درصد وزنی PET مشاهده می‌شود. علت این پدیده را چنین می‌توان توجیه کرد که چون دمای ذوب پلی اتیلن ترفتالات بالاتر از دمای ذوب پلی پروپیلن است، بنابراین



شکل ۳- عکس SEM آمیزه ۸۰/۲۰ PP/PET



شکل ۴- عکس SEM آمیزه ۷۰/۳۰ PP/PET.

قابل انتظار است که در مقالات مختلف نیز به آن اشاره شده است [۸،۱۰]. روند تغییر مدول آمیزه‌ها را می‌توان براساس شکل‌شناسی و بلورینگی آنها توجیه و تفسیر کرد. همان گونه که از تصاویر میکروسکوپی دیده می‌شود، بهترین میزان چسبندگی و درهم فرو رفتن اجزا در آمیزه حاوی ۲۰ درصد وزنی PET دیده می‌شود که این امر

خواص مکانیکی

در شکل ۶ مدول یانگ آمیزه‌ها نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود با افزودن تا ۲۰ درصد وزنی PET به PP، میزان مدول یانگ آمیزه‌ها نسبت به PP افزایش و سپس کاهش می‌یابد. افزایش مدول آمیزه‌ها (بواسطه بالاتر بودن میزان مدول PET) پدیده‌ای



شکل ۵- عکس SEM آمیزه ۵۰/۵۰ PP/PET.

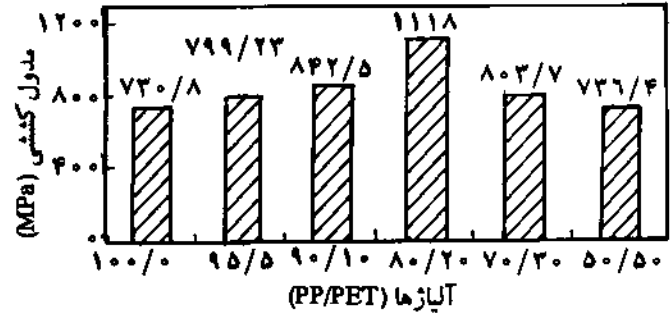
PET) با استفاده از پلی پروپیلن عامل دار شده با مالئیک انیدرید انجام شد که نتایج آن ارائه می گردد.

آمیژه های دارای سازگار کننده

برای بیشتر شدن سازگاری میان اجزای آمیزه دو روش بکار گرفته شده است. در روش اول آلیاژی از اختلاط پلی پروپیلن عامل دار شده با مالئیک انیدرید (PP-g-MAH) و PET حاصل شده، در حالی که در روش دوم PP-g-MAH به عنوان عامل سازگار کننده، به میزان ۲۰ phr بر مبنای وزن کل آمیزه، به آمیزه PP/PET افزوده شده است.

تصاویر میکروسکوپی الکترونی

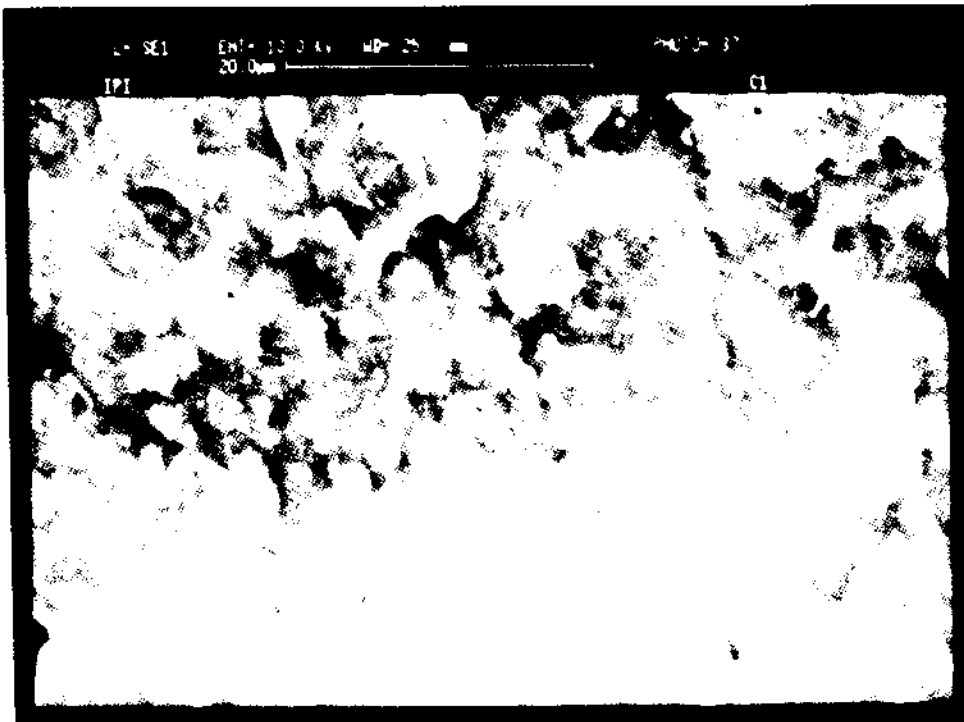
تصاویر مربوط به سطح شکست نمونه های سازگار شده در شکل های ۷ و ۸ آمده است. پلی پروپیلن عامل دار شده در نمونه اول به عنوان یکی از اجزا و در دومی به صورت عامل سازگار کننده بکار رفته است. همان گونه که از این تصاویر پیداست، با استفاده از پلی پروپیلن عامل دار شده با مالئیک انیدرید (PP-g-MAH) میزان چسبندگی و درهم رفتن اجزا بهبود یافته است. بهبود شکل شناسی آلیاژ در اثر واکنش شیمیایی میان گروه های انتهایی PET و گروه کربوکسیل موجود در PP-g-MAH است که منجر به تشکیل یک کوپلیمر میان این دو در سطح مشترک اجزا می شود. با تشکیل کوپلیمر میان PET و PP-g-MAH شکل شناسی



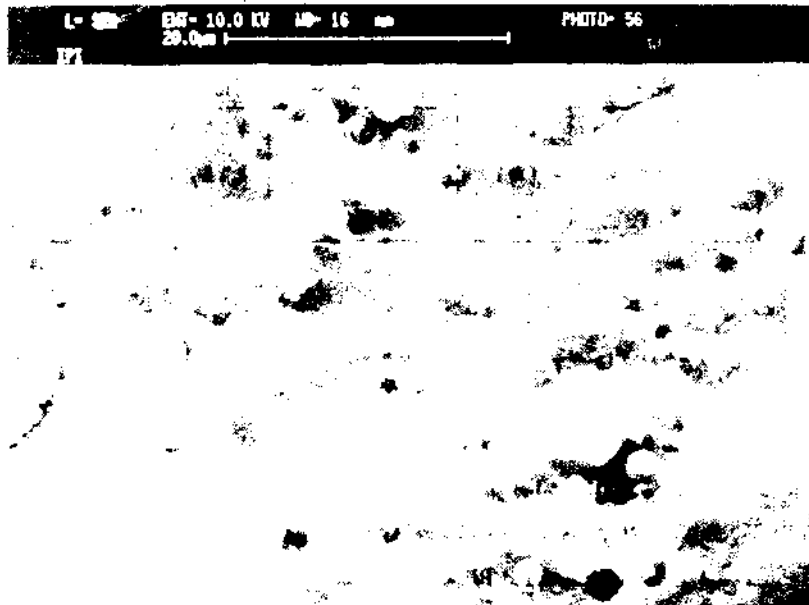
شکل ۶- نمودار مدول یانگ آمیزه های سازگار نشده.

باعث تقویت ماتریس PP به وسیله ذرات PET می شود. همچنین، همان گونه که از نتایج تجزیه گرمایی نیز ملاحظه می شود، میزان بلورینگی این آمیزه بیش از آمیزه های دیگر است. از آنجا که افزایش میزان بلورینگی، در بالا رفتن مقدار مدول نقش عمده ای دارد [۱۱]، بنابراین می توان این نتیجه کلی را گرفت که آمیزه دارای ۲۰ درصد وزنی PET، به واسطه داشتن شکل شناسی مناسب و بلورینگی زیاد، دارای بیشترین مقدار مدول در بین آمیزه هاست.

با توجه به این مطالب می توان نتیجه گرفت که مقدار ۲۰ درصد وزنی PET، می تواند ترکیب درصد بهینه آمیزه PP/PET باشد. در مرحله بعد، سازگار کردن اجزای آمیزه بهینه (آمیزه با ۲۰ درصد وزنی



شکل ۷- عکس SEM آلیاژ PP-g-MAH/PET



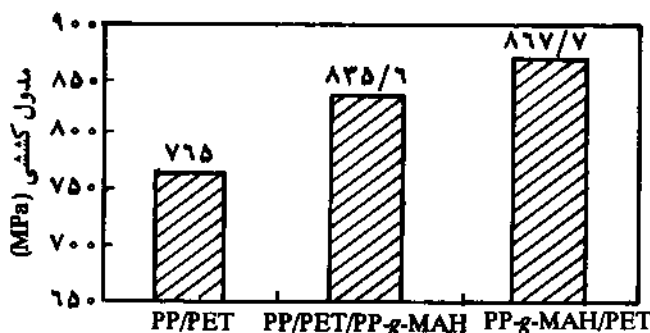
شکل ۸- عکس SEM آلیاژ PP/PET/PP-g-MAH

گروههای انتهایی PET (PET فاز متفرق است) از طرف دیگر باعث می‌شود تا میزان کوپلیمرهای تولید شده در سطح مشترک اجزا به اندازه کافی نباشد و میزان چسبندگی این آلیاژ نسبت به آلیاژ دیگر (PP-g-MAH/PET) کمتر شود.

با توجه به مجموع عوامل فوق بنظر می‌رسد که میزان سازگاری میان اجزا در آلیاژ PP/PET/PP-g-MAH کمتر از آلیاژ دیگر است. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که خواص نهایی آلیاژ PP-g-MAH/PET بهتر از آلیاژ دیگر باشد.

بررسی رفتار گرمایی

اطلاعات مربوط به میزان بلورینگی و دمای ذوب اجزای آلیاژهای سازگار شده و سازگار نشده در جدول ۲ آورده شده است.



شکل ۹- نمودار مدول یانگ آمیزه‌های سازگار شده.

آلیاژ پایدار شده و میزان چسبندگی و در هم رفتن اجزا افزایش می‌یابد. با دقت در تصاویر مربوط به آمیزه‌های سازگار شده ملاحظه می‌شود که میزان چسبندگی در نمونه با فاز ماتریس PP-g-MAH (PP-g-MA/PET) قدری بیش از نمونه‌ای است که در آن از PP-g-MAH به عنوان عامل سازگار کننده استفاده شده است (PP/PET/PP-g-MAH)، ضمن آنکه اندازه ذرات نیز کوچکتر است. همچنین، توزیع اندازه ذرات در آلیاژ PP-g-MA/PET بهتر از آلیاژ PP/PET/PP-g-MAH است. کمبود بودن میزان چسبندگی در نمونه PP/PET/PP-g-MAH نسبت به نمونه دیگر می‌تواند به دلیل عدم تشکیل مقدار کافی کوپلیمر PP-g-MAH/PET در سطح مشترک اجزا باشد. علت کم بودن میزان کوپلیمر تولیدی در سطح مشترک این آلیاژ آن است که عامل سازگار کننده PP-g-MAH تماماً در سطح مشترک میان اجزا قرار نگرفته و بخش اعظم آن در فاز ماتریس PP که سازگاری بیشتری با آن دارد قرار گرفته است که نتیجه آن عدم تشکیل مقدار کافی کوپلیمر PP-g-MAH/PET است. اشاره می‌شود که قرار گرفتن سازگار کننده در سطح مشترک پلیمر-پلیمر، عامل کلیدی در موثر بودن استفاده از سازگار کننده است [۱۲]، بنابراین میزان سازگاری این آلیاژ نسبت به آلیاژ دیگر کمتر می‌شود. همچنین، علت کم بودن میزان چسبندگی در آلیاژ PP/PET/PP-g-MAH می‌تواند به دلیل کم بودن میزان گروههای عاملی شرکت کننده در واکنش تولید کوپلیمر در سطح مشترک اجزا باشد. زیرا، کم بودن میزان مالئیک انیدرید و در نتیجه گروههای کربوکسیل موجود در PP-g-MAH از یک طرف و کم بودن میزان

جدول ۲ - مقایسه دماهای ذوب و درصد بلورینگی آمیزه‌های سازگار شده و نشده.

| پلی اتیلن ترفتالات (PET) | | پلی پروپیلن (PP) | | آلیاژها |
|--------------------------|---------------------|------------------|---------------------|-----------------|
| درصد بلورینگی | T _m (°C) | درصد بلورینگی | T _m (°C) | |
| ۲۹/۳ | ۲۴۸ | ۳۸/۷ | ۱۶۹/۶ | PP/PET |
| ۱۸/۸ | ۲۵۱ | ۳۲ | ۱۶۵/۶ | PP-g-MAH/PET |
| ۱۲/۳ | ۲۴۷ | ۲۳/۶ | ۱۶۶ | PP/PET/PP-g-MAH |

۲۰ درصد وزنی PET، شکل‌شناسی فاز متفرق به صورت لیفچه بوده و همچنین، میزان چسبندگی و درهم رفتن اجزا در این آلیاژ بیش از سایر آلیاژهاست.

با افزودن PET به PP میزان بلورینگی PP افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار افزایش بلورینگی در آمیزه دارای ۲۰ درصد وزنی PET مشاهده شده است. در اثر اضافه کردن PET به PP، مدول آمیزه‌ها نسبت به PP افزایش می‌یابد که در این میان آلیاژ دارای ۲۰ درصد وزنی PET به واسطه داشتن شکل‌شناسی بهتر و میزان بلورینگی بیشتر دارای بالاترین مدول در میان آمیزه‌هاست. بنابراین، آمیزه با ۲۰ درصد وزنی PET به عنوان ترکیب درصد بهینه آمیزه PP/PET بدست آمده است. با اعمال سازگاری روی آمیزه دارای ۲۰ درصد وزنی PET، از طریق استفاده از PP-g-MAH، معلوم می‌شود که شکل‌شناسی آلیاژها پایدار شده و میزان چسبندگی میان اجزا در آلیاژها نسبت به آمیزه سازگار نشده بیشتر شده است. در این میان، میزان چسبندگی آلیاژ PP-g-MAH/PET بیش از آلیاژ دیگر (PP/PET/PP-g-MAH) است. با افزایش سازگاری، میزان بلورینگی اجزای آلیاژها نسبت به آمیزه سازگار نشده کاهش می‌یابد، در حالی که مدول یانگ آلیاژها نسبت به آمیزه سازگار نشده افزایش پیدا می‌کند. در این میان، آلیاژ PP-g-MAH/PET به دلیل داشتن چسبندگی بیشتر میان اجزا دارای مدول بالاتری است. اما، چون میزان اختلاف میان آلیاژها خیلی فاحش نیست و همچنین، استفاده از PP-g-MAH به عنوان عامل سازگار کننده اقتصادی‌تر است، بنابراین آمیزه PP/PET دارای ۲۰ درصد وزنی PET که به وسیله ۲۰ phr سازگار کننده PP-g-MAH سازگار شده است، به عنوان آمیزه بهینه معرفی می‌شود.

مراجع

1. Utracki L. A.; *Polymer Alloys and Blends*; Hanser, New York, 1990.
2. Flokes M. J. and Hope P. S.; *Polymer Blends and Alloys*; Chapman & hall, UK, 1993.

با مشاهده نتایج داده شده در این جدول ملاحظه می‌شود که میزان بلورینگی اجزا در آلیاژهای سازگار شده نسبت به آلیاژ سازگار نشده کاهش یافته است. کاهش میزان بلورینگی اجزا می‌تواند در اثر سازگاری و وجود آمدن کوپلیمر [۹، ۱۱] در سطح مشترک میان اجزا باشد، زیرا با پایدار شدن شکل‌شناسی و بالا رفتن میزان چسبندگی از میزان تحرک زنجیرهای پلیمری اجزا کاسته می‌شود و در نتیجه میزان بلورینگی کاهش می‌یابد.

خواص مکانیکی

در شکل ۹ نمودار مدول یانگ آمیزه‌های سازگار شده و سازگار نشده نشان داده شده است. اشاره می‌شود که در این مرحله، نمونه‌ها از طریق تریق بدست آمده‌اند (طبق استاندارد DIN ۵۳۴۵۵) و سرعت کشش ۵ mm/min بوده است. به همین دلیل مدول آمیزه سازگار نشده با ۲۰ درصد وزنی PET، در این بخش و قسمت قبل با هم فرق می‌کند. همان گونه که از شکل پیداست، با استفاده از PP-g-MAH مدول آمیزه‌های سازگار شده نسبت به آمیزه سازگار نشده افزایش یافته است که در این میان مدول آلیاژ PP-g-MAH/PET بیشتر از آلیاژ دیگر است. افزایش مدول در اثر افزایش سازگاری پدیده‌ای است که در اثر افزایش میزان چسبندگی و بهبود یافتن و پایدار شدن شکل‌شناسی آلیاژ بدست می‌آید. در اینجا نیز چون میزان چسبندگی اجزا در آلیاژ PP-g-MAH/PET بیش از آلیاژ دیگر است، بنابراین مدول این آلیاژ بیشتر است. اما، با توجه به اینکه میزان اختلاف میان مدول آلیاژها خیلی زیاد نیست و همچنین، استفاده از PP-g-MAH به عنوان عامل سازگار کننده اقتصادی‌تر است، بنابراین استفاده از ۲۰ phr سازگار کننده PP-g-MAH برای سازگار کردن آمیزه PP/PET دارای ۲۰ درصد وزنی PET، توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

آلیاژ PP/PET در ترکیب درصد‌های مختلف بررسی شد. شکل‌شناسی آمیزه‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی PET به صورت کروی بوده و میزان چسبندگی میان اجزا ضعیف است. در صورتی که در آمیزه دارای

- Eng. Sci.*; **30**, 355, 1990.
9. Karger-Kocsis J.; *Polypropylene*; Chapman & Hall, UK, **2**, 1995.
 10. Rudin A., Loucks D. A. and Gold Wasser J. M.; *Polym. Eng. Sci.*; **20**, 741, 1980.
 11. Nielsen L. E. and Landel R. F.; *Mechanical Properties of Polymers and Composites*; Second ed., Dekker, New York, 1994.
 12. Chen C. C. and White J. L.; *Polym. Eng. Sci.*; **33**, 14, 1993.
 3. Spreeuwens H. P. and Van der pol G. M. W.; *Plast. Rubber Proc. Appl.*; **11**, 159, 1989.
 4. Liang Z. and Williams H. L.; *J. Appl. Poly. Sci.*; **44**, 699, 1996.
 5. Luciani A. and Jarrin J.; *Polym. Eng. Sci.*; **36**, 619, 1992.
 6. Fakirov S. and Evstltiev M. and Schultz J. M.; *Polymer*; **34**, 4669, 1993.
 7. Matruscerli G. R. and Rugusta E.; *J. Mater. Sci.*; **19**, 1640, 1988.
 8. Xanthos M., Young M. W. and Biesenberger J. A.; *Polym.*