

اثر اتیلن وینیل استات روی خواص مکانیکی کامپوزیتهای پلی پروپیلن تقویت شده با الیاف پارچه شیشه

Effect of Ethylene Vinyl Acetate on Mechanical Properties of Glass Mat Reinforced Polypropylene Composites

جلال فقیهی، حمید رحیمی*، حسن عربی، سید محمد باقر علوی

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، پژوهشکده فرایند، گروه کامپوزیت و چسب، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۸۳/۱۰/۶، پذیرش: ۸۴/۳/۲۱

چکیده

در این پژوهش، اثر اتیلن وینیل استات (EVA) روی خواص مکانیکی کامپوزیتهای پلی پروپیلن تقویت شده با الیاف پارچه شیشه بررسی شد. برای این منظور اصلاح ماتریس پلی پروپیلن و الیاف پارچه شیشه به کمک EVA انجام شد. برای شناسایی نوع برهمکنش بین ماتریس و الیاف شیشه اصلاح شده از روش طیف نمایی FTIR-ATR استفاده شد. آزمونهای استحکام کششی و ضربه ای روی نمونه های کامپوزیتی مختلف انجام گرفت. نتایج بدست آمده، بهبود در خواص مکانیکی نمونه های کامپوزیتی با الیاف پارچه شیشه اصلاح شده را نشان داد. همچنین، مطالعات میکروسکوپی سطح شکست نمونه های کامپوزیتی با الیاف پارچه شیشه اصلاح شده مؤید بهبود در چسبندگی سطح مشترک در مقایسه با نمونه های با الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده بود.

واژه های کلیدی

کامپوزیتهای پلی پروپیلن،
الیاف پارچه شیشه، استحکام سطح مشترک،
عوامل جفت کننده، آهارسازی الیاف پارچه شیشه

مقدمه

برشمرده [۱]. به طور کلی خواص مکانیکی این نوع کامپوزیتهای ارتباط مستقیمی با استحکام چسبندگی در سطح مشترک ماتریس و الیاف پارچه شیشه دارد. خیس شدن بهتر الیاف پارچه شیشه به وسیله ماتریس پلیمری علاوه بر آنکه موجب تقویت هرچه بیشتر سطح مشترک

در سالهای اخیر استفاده از کامپوزیتهای گرمانرم در مقایسه با کامپوزیتهای برپایه رزینهای گرما سخت در صنایع گوناگون از جمله خودروسازی افزایش یافته است. آزمایشی این نوع کامپوزیتهای چقرمگی زیاد، قابلیت بازیافت و سرعت تولید زیاد را می توان

Key Words

polypropylene composites, glass mat,
interfacial strength,
coupling agents, fabric sizing

الیاف پارچه شیشه به کمک مذاب پلیمری است. فرایند آغشته سازی به کمک قانون دارسی مطابق با معادله (۱) نشان داده می شود که در این معادله t زمان آغشته سازی، x طول جریان مذاب، S ضریب نفوذ پذیری الیاف، h گرانیوی پلیمر مذاب و P فشار اعمال شده برای آغشته سازی است:

$$t = \frac{hx^2}{(2PS)} \quad (1)$$

معادله یاد شده نشان می دهد که زمان آغشته سازی با افزایش فشار اعمال شده (P) کاهش می یابد. از طرف دیگر کاهش طول جریان مذاب (x) موجب کاهش زمان آغشته سازی خواهد شد همچنین، ضریب نفوذ پذیری الیاف با افزایش فشار (P) کاهش می یابد و در نتیجه فرایند آغشته سازی با مشکل مواجه خواهد شد. در پژوهشهای انجام شده اثر عامل آغشته سازی الیاف روی مقدار چسبندگی سطح مشترک بررسی شده است [۱۵]. افزایش شاخص جریان مذاب یکی از راههای بهبود خیس شدن الیاف و در نتیجه افزایش استحکام سطح مشترک است. از طرفی افزایش شاخص جریان مذاب پیوند الیاف و زنجیرهای پلیمری را افزایش داده، موجب بهبود چسبندگی در سطح مشترک می شود.

در این پژوهش، ماتریس پلی پروپیلن و سطح الیاف پارچه شیشه به وسیله EVA اصلاح و خواص مکانیکی کامپوزیت‌های بدست آمده مطالعه شد. برای توجیه تغییرات بدست آمده در خواص مکانیکی، نوع برهمکنش میان پلیمر اصلاح کننده و سطح الیاف پارچه شیشه همچنین، سازوکار شکست در نمونه های کامپوزیتی بررسی شد.

تجربی

مواد

در این پژوهش، از مواد مندرج در جدول ۱ استفاده شده است.

دستگاهها

در این پژوهش، برای بررسی سطح الیاف از دستگاه FTIR-ATR مدل Bruker IFS ۴۸۴، برای اندازه گیری استحکام کششی و ضربه ای به

می شود، برهمکنشهای مولکولی و مؤثر را در سطح مشترک پدید می آورد و در نتیجه کارایی سطح مشترک برای انتقال تنش از ماتریس پلیمری به الیاف پارچه شیشه را افزایش می دهد.

در فرایند تهیه کامپوزیت‌های گرمانرم چنانچه ماتریس پلیمری غیرقطبی باشد، روشهای مختلفی برای قطبی کردن ماتریس و اصلاح آن انجام می شود. اصلاح سطح الیاف پارچه شیشه به وسیله فیلم پلیمری و یا ترکیبات جفت کننده شیمیایی انجام می گیرد. اصلاح ماتریس پلی پروپیلن به وسیله مالئیک انیدرید و اصلاح سطحی الیاف پارچه شیشه به وسیله ترکیبات جفت کننده شیمیایی مانند ترکیبات سیلانی در صنعت متداول است [۵-۲]. روش اصلاح سطح به کمک فیلم پلیمری یکی از روشهای بهبود چسبندگی سطح مشترک است. در این روش پوششی از فیلم پلیمری روی سطح الیاف شیشه ایجاد شده، موجب اصلاح آن می شود. ویژگی این روش محافظت سطح الیاف هنگام جابه جایی است. در ضمن، تمرکز تنش هنگام اعمال نیرو در سطح مشترک کم می شود و در نتیجه خواص ضربه ای و استحکام کششی نمونه های کامپوزیتی بهبود می یابد بدون آنکه سایر خواص مکانیکی از جمله مدول و دمای انتقال شیشه ای دچار تغییر شود. همچنین، لایه های بلوری در سطح مشترک گسترش یافته، موجب افزایش استحکام سطح مشترک می شود [۶]. اصلاح ماتریس پلیمرهای غیرقطبی به کمک پلیمرهای دارای گروههای قطبی و الیاف اصلاح شده، سبب ایجاد برهمکنشهای اسید - باز در سطح مشترک می شود بنابراین، سطح مشترکی با استحکام چسبندگی زیاد در کامپوزیت به وجود می آید [۷، ۸]. آهارسازی و اصلاح سطح الیاف پارچه شیشه موجب بهبود آغشته سازی الیاف به وسیله ماتریس پلیمری شده، در نتیجه سطح مشترک محکمتری ایجاد می شود. مجموع این عوامل اثرگذاری مضاعف خواص را پدید می آورد [۹-۱۲]. پژوهشهای انجام شده نشان می دهد تغییر در ترکیب شیمیایی سطح مشترک، روی استحکام چسبندگی آن مؤثر است و هرچه سازگاری میان ماتریس پلیمری و سطح الیاف پارچه شیشه بیشتر باشد استحکام چسبندگی سطح مشترک نیز بیشتر می شود [۱۳، ۱۴].

از دیگر مسائل عمده در فرایند تهیه کامپوزیت‌های گرمانرم آغشته سازی

جدول ۱ مواد مورد استفاده در این پژوهش.

شرکت سازنده	خواص	مواد مورد استفاده
پتروشیمی اراک	چگالی 0.9 g/cm^3 ، شاخص جریان مذاب 16 g/10min	پلی پروپیلن - هوموپلیمر $V30S$
جام پلیمر	نسبت وزن به سطح 300 g/m^2	الیاف پارچه شیشه از نوع CSM
Exxon	مقدار وینیل استات ۱۸ درصد، چگالی 0.943 g/cm^3	اتیلن وینیل استات (EVA)
Hercules	چگالی 1.02 g/cm^3	دی کومیل پروکسید (DCP)

اندازه‌گیری خواص مکانیکی

آزمون استحکام کششی نمونه‌ها بر اساس استاندارد ASTM D638 با سرعت 2mm/min و استحکام ضربه‌ای نمونه‌های مختلف کامپوزیتی بر اساس استاندارد ASTM D256 انجام شد.

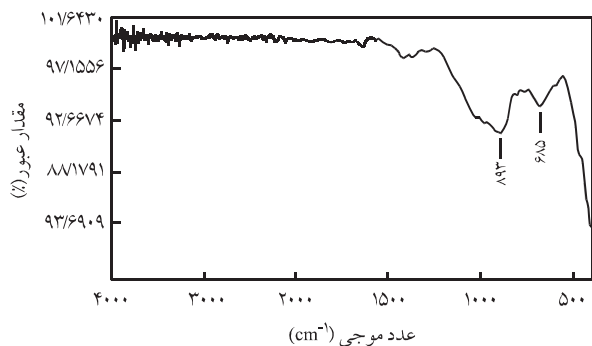
مطالعات میکروسکوپی

بررسی سطح شکست نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترون پویشی انجام شد. برای این منظور سطح شکست نمونه‌ها با طلا پوشش داده شده، در نتیجه اثرات بارهای الکترونی هنگام آزمون کاهش یافت. این آزمون با بزرگنمایی حدود 400 برابر انجام گرفت.

نتایج و بحث

طیف سنجی FTIR روی سطح الیاف شیشه قبل و بعد از انجام سوکسله سرد نشان داد پیک کربونیل مشخصه گروه‌های استات در طول موج 1727cm^{-1} ناپدید شده است (شکل‌های ۱ و ۲). این مشاهدات نشان داد که برهمکنش EVA محلول با سطح الیاف پارچه شیشه احتمالاً به شکل جذب فیزیکی است. چگالی کامپوزیت به روش آزمایشگاهی 1.03g/cm^3 و به روش نظری 1.047g/cm^3 بدست آمد بنابراین، مقدار حفره در کامپوزیت کمتر از درصد بود. به عبارتی ارتباط خوبی بین مقدار چگالی اندازه‌گیری شده کامپوزیت به روش آزمایشگاهی و نظری وجود دارد.

آزمون کششی روی نمونه‌های کامپوزیتی نشان داد که تا 10 درصد وزنی EVA در آمیزه PP/EVA استحکام کششی نمونه‌های کامپوزیتی با الیاف اصلاح نشده افزایش یافته، سپس کاهش می‌یابد در حالی که



شکل ۲ طیف FTIR-ATR سطح الیاف پارچه شیشه اصلاح شده با EVA بعد از انجام سوکسله سرد.

ترتیب از دستگاه Instron مدل 6025 ساخت انگلیس و از دستگاه Zwick مدل 5102 ساخت آلمان و برای بررسی سطح شکست نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترون پویشی (SEM) ساخت انگلیس مدل S 360 Cambridge استفاده شد.

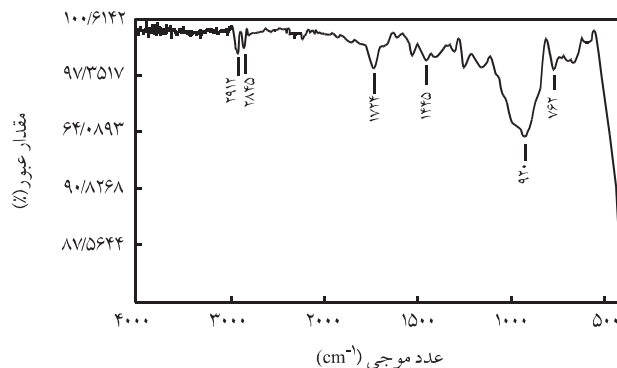
روشها

آماده‌سازی نمونه‌ها

تهیه آمیزه پلی پروپیلن و EVA در اکسترودری دو پیچه با $L/D = 15$ و قطر برابر 50mm و سرعت 60 rpm انجام گرفت. ابتدا پلی پروپیلن با 0/1 درصد وزنی DCP ترکیب شد. بدین ترتیب شاخص جریان مذاب پلی پروپیلن تا $10\text{g}/\text{min}$ افزایش یافت سپس، اختلاط با اتیلن وینیل استات در درصدهای وزنی 5، 10، 15، 20 و 30 انجام گرفت. دانه‌های تهیه شده، به وسیله پرس داغ به شکل ورق در دمای 200°C آماده‌سازی شد. ورق‌های تهیه شده به شکل سه لایه به همراه دو لایه الیاف پارچه شیشه برای تهیه کامپوزیت به کار گرفته شد. از طرف دیگر برای تهیه کامپوزیتهای با الیاف پارچه شیشه اصلاح شده، مقدار 2/5 درصد وزنی EVA در تولوئن حل شده، روی سطح الیاف پارچه شیشه افشاندن شد. سپس، این نمونه‌ها در معرض هوا خشک شده، برای تهیه کامپوزیتهای PP/EVA دارای درصدهای مختلف وزنی از EVA استفاده شد.

اندازه‌گیری خواص فیزیکی

آزمون سوکسله سرد برای تعیین برهمکنش EVA و سطح الیاف پارچه شیشه به مدت 32 h انجام گرفت. سپس، نمونه‌های یاد شده در هوا خشک شده، سطح الیاف به وسیله طیف‌نمایی FTIR-ATR بررسی شد. چگالی و مقدار حفره در نمونه‌های کامپوزیتی به ترتیب طبق استانداردهای ASTM D2734 و ASTM D792 اندازه‌گیری شد.



شکل ۱ طیف FTIR-ATR سطح الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده با EVA قبل از انجام سوکسله سرد.

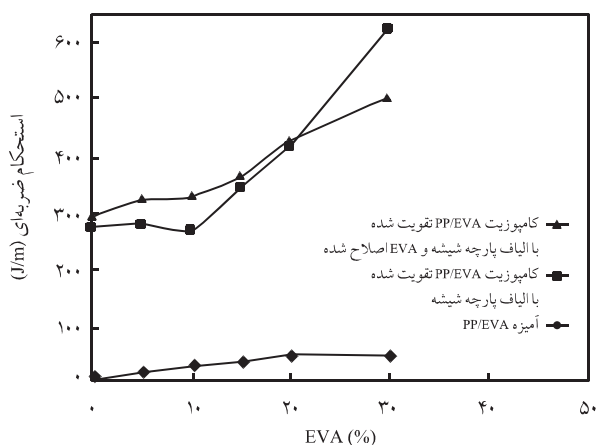
کاهش سازگاری ماتریس و الیاف پارچه شیشه، استحکام چسبندگی در سطح مشترک کاهش یافته، خواص استحکام کششی نمونه‌های کامپوزیتی کم می‌شود و در واقع همین عامل باعث می‌شود تا سازوکارهای مختلف جذب انرژی در سطح مشترک فعالتر عمل کرده، خواص ضربه ای نمونه‌های کامپوزیتی افزایش یابد.

دلیل افزایش استحکام کششی در کامپوزیت‌های دارای الیاف پارچه شیشه اصلاح شده، جذب فیزیکی ماتریس و الیاف پارچه شیشه همچنین، برهمکنش‌های مولکولی است. شروع و رشد ترکها در سطح مشترک در مقادیر بیشتر از ۱۰ درصد EVA در آمیزه به دلیل ناسازگاری در سطح مشترک افزایش یافته، استحکام کششی کاهش می‌یابد. چنانچه نتایج نشان می‌دهد اصلاح کامپوزیت PP با الیاف پارچه شیشه به وسیله EVA ممکن است اثر خیلی زیادی بر خواص کششی کامپوزیت نداشته باشد ولی خواص ضربه‌ای کامپوزیت را تا حد زیادی بهبود می‌بخشد.

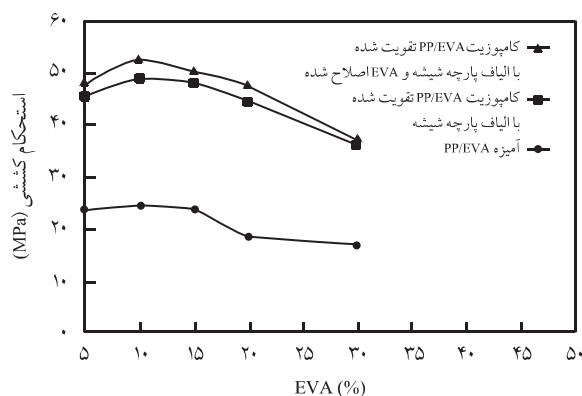
مطالعات میکروسکوپی SEM نشان داد که در ماتریس و الیاف پارچه شیشه اصلاح شده چسبندگی ماتریس به الیاف افزایش می‌یابد (شکل ۵). در حالی که سطح مشترک در نمونه‌های کامپوزیتی با الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده از استحکام کمتری برخوردار بوده، چسبندگی ماتریس به الیاف کم است (شکل ۶). همچنین، این بررسیها نشان داد در نمونه‌های کامپوزیتی PP/EVA و الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده در سطح شکست بیرون کشیده شدن الیاف زیادتر است. در حالی که در نمونه‌های کامپوزیتی PP/EVA و الیاف پارچه شیشه اصلاح شده بیرون کشیده شدن الیاف کمتر مشاهده می‌شود و چسبندگی بین ماتریس و الیاف بیشتر است (شکل ۷). در مقادیر بیشتر از ۱۰ درصد وزنی EVA در آمیزه به دلیل کاهش سازگاری ماتریس و الیاف پارچه شیشه در

آزمون ضربه روی نمونه‌های کامپوزیتی با الیاف اصلاح نشده نشان داد که استحکام ضربه‌ای نمونه‌های کامپوزیتی تا ۱۰ درصد وزنی EVA در آمیزه PP/EVA کاهش یافته، سپس افزایش می‌یابد. نمونه‌های کامپوزیتی با الیاف پارچه شیشه اصلاح شده مورد آزمون کشش و ضربه قرار گرفتند و مشخص شد که مقادیر بدست آمده دارای افزایش نسبت به کامپوزیت‌های با الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده است (شکل‌های ۳ و ۴). در واقع چنین مشخص می‌شود که سطح مشترک در نمونه‌های کامپوزیتی با الیاف پارچه شیشه اصلاح شده استحکام بیشتری نسبت به نمونه‌های کامپوزیتی با الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده دارد. زیرا از یک طرف ماتریس اصلاح شده دارای سازگاری مناسبی با الیاف پارچه شیشه اصلاح شده است و از طرف دیگر تمرکز تنش در سطح مشترک که موجب تضعیف آن می‌شود کاهش یافته، در نتیجه کامپوزیت با الیاف پارچه شیشه اصلاح شده از خواص مکانیکی بیشتری برخوردار است. استفاده از EVA برای اصلاح سطح الیاف پارچه شیشه سبب می‌شود حفره‌ها و ترک‌های سطحی در سطح الیاف که به عنوان نقاط شکست در کامپوزیت عمل می‌کنند تا حدود زیادی حذف شوند و از طرف دیگر اصلاح ماتریس به وسیله EVA علاوه بر سهولت فرایند به دلیل خاصیت چسبناکی ذاتی EVA استحکام چسبندگی ماتریس و الیاف پارچه شیشه را در سطح مشترک تقویت می‌کند. مزیت اصلاح ماتریس پلی‌پروپیلن به وسیله EVA نسبت به سایر روشها این است که نیاز به خالص سازی مجدد ماتریس به منظور جداسازی عامل اصلاح کننده عمل نکرده و اضافی نیست و به راحتی می‌توان فعالیت و قطیبت مناسب را در ماتریس PP به وجود آورد. از طرفی به دلیل خاصیت کشسانی EVA می‌توان چقرمگی خوبی را هنگام اعمال نیروهای خارجی در کامپوزیت مشاهده کرد.

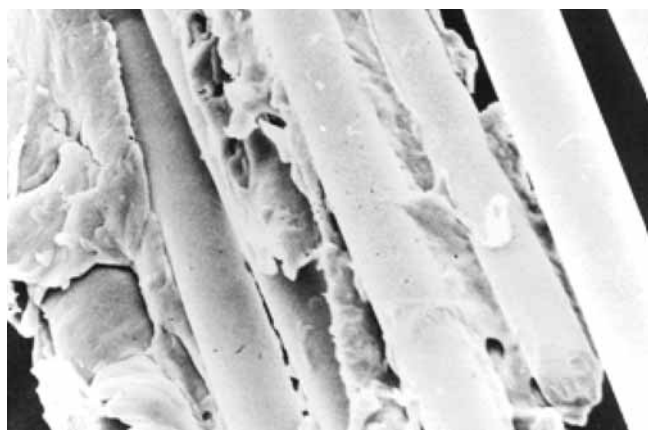
در مقادیر بیشتر از ۱۰ درصد وزنی EVA در آمیزه ماتریس، به دلیل



شکل ۴ تغییرات استحکام ضربه‌ای کامپوزیت‌های PP/EVA با تغییر درصد در EVA آمیزه.

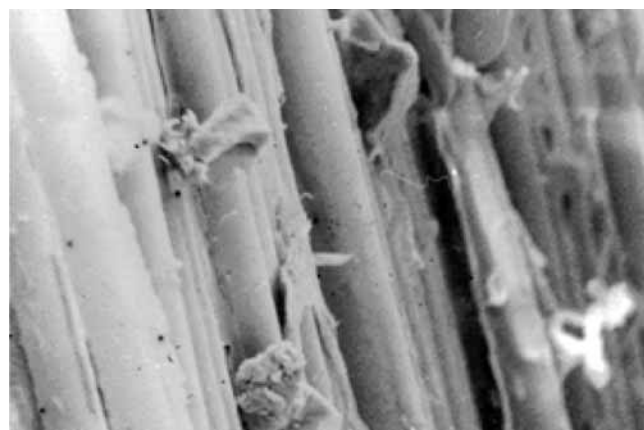


شکل ۳ تغییرات استحکام کششی کامپوزیت‌های PP/EVA با تغییر درصد در EVA آمیزه.



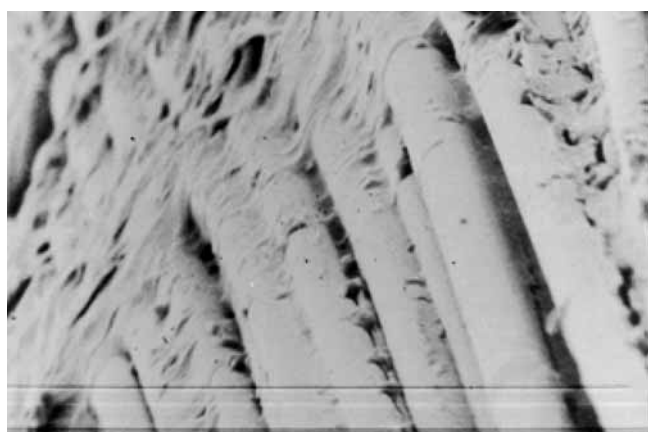
20 μm

(ب)



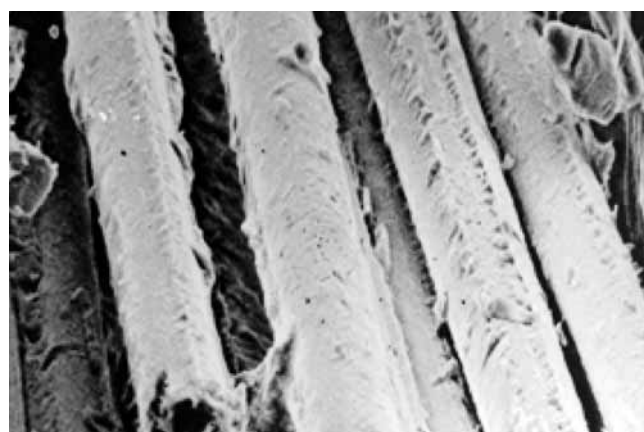
20 μm

(الف)



20 μm

(د)



20 μm

(ج)

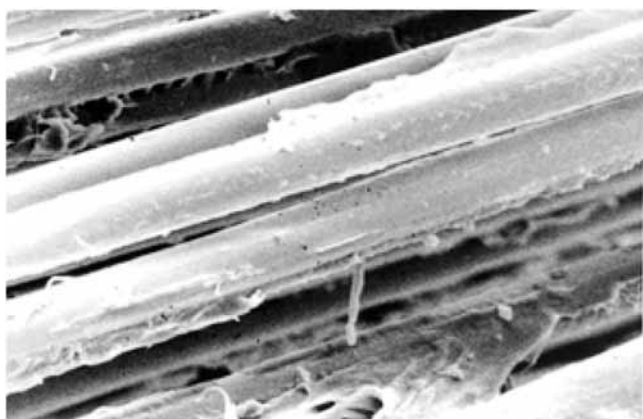
شکل ۵ تصویر SEM از سطح شکست کامپوزیت PP/EVA دارای الیاف پارچه شیشه اصلاح شده به وسیله EVA با مقادیر مختلف EVA در آمیزه: (الف) ۰ درصد (PP)، (ب) ۱۰ درصد، (ج) ۲۰ درصد و (د) ۳۰ درصد.

نقایص در ماتریس، جداسازی و لایه لایه شدن در سطح مشترک، ایجاد سطوح اصطکاکی الیاف پارچه شیشه - ماتریس و الیاف پارچه شیشه - الیاف پارچه شیشه همچنین، شکست الیاف پارچه شیشه است.

در نمونه‌های PP/EVA و الیاف اصلاح شده به دلیل چسبندگی زیاد ماتریس و تقویت کننده، اعمال نیروهای مکانیکی در حد بحرانی موجب شکست الیاف شده، خواص کششی زیاد می‌شود. در حالی که در نمونه‌های با الیاف اصلاح نشده، اعمال نیروهای مکانیکی سایر سازوکارهای شکست را فعال می‌کند. این سازوکارها شامل جداسازی سطح مشترک، ایجاد سطوح اصطکاکی الیاف پارچه شیشه - ماتریس و الیاف پارچه شیشه - الیاف پارچه شیشه همچنین، شکست الیاف است. در نتیجه خواص کششی در مقایسه با نمونه‌های دارای الیاف پارچه شیشه اصلاح شده کاهش بیشتری را نشان می‌دهند در حالی که خواص ضربه‌ای افزایش می‌یابد. به طور اساسی در نمونه‌های دارای الیاف

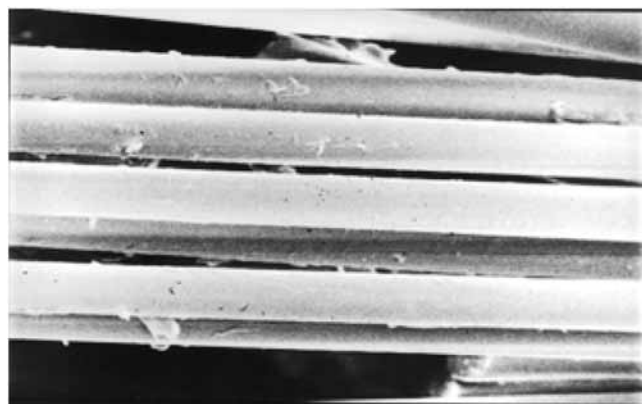
سطح مشترک برای کلیه نمونه‌های کامپوزیتی مقدار چسبندگی در سطح مشترک کاهش می‌یابد و این پدیده برای نمونه‌های کامپوزیتی الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده بیشتر است.

در آمیزه PP/EVA به دلیل پایین بودن دمای انتقال شیشه‌ای EVA، خواص ضربه‌ای تا ۱۰ درصد EVA در آمیزه بهبود می‌یابد. در درصد‌های بیشتر به دلیل ایجاد ریز ترکها و تغییر شکل‌های برشی در ماتریس آمیزه PP/EVA خواص ضربه‌ای افزایش چندانی را نشان نمی‌دهد. استحکام کششی آمیزه PP/EVA هم تا ۱۰ درصد EVA در آمیزه افزایش مختصری داشته، در درصد‌های بیشتر به دلیل تغییر شکل‌های برشی ایجاد شده در ماتریس استحکام کششی نمونه‌ها کاهش می‌یابد [۱۶]. در خصوص بررسی رفتار مکانیکی کامپوزیت‌های PP/EVA باید عواملی را که موجب شروع و رشد ترکها در سطح مشترک ماتریس و الیاف پارچه شیشه می‌شوند مورد توجه قرار داد. این عوامل شامل ایجاد ریز ترکها و



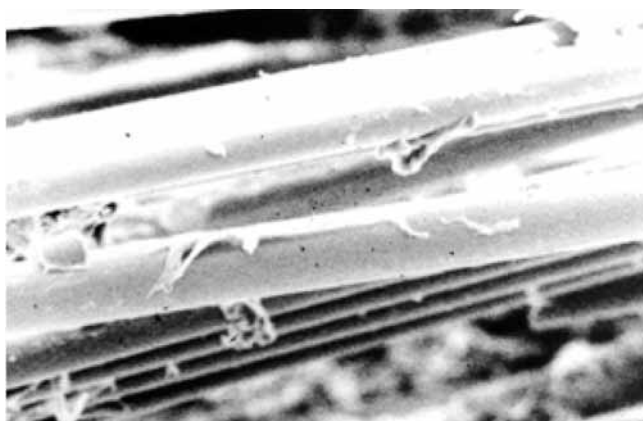
20 μm

(ب)



20 μm

(الف)



20 μm

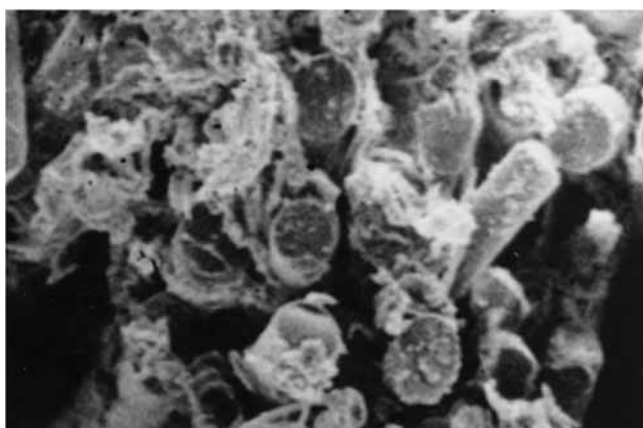
(د)



20 μm

(ج)

شکل ۶ تصویر SEM از سطح شکست کامپوزیت PP/EVA دارای الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده در مقادیر مختلف EVA در آمیزه: (الف) ۰ درصد (PP)، (ب) ۱۰ درصد، (ج) ۲۰ درصد و (د) ۳۰ درصد.



20 μm

(ب)



20 μm

(الف)

شکل ۷ پدیده بیرون کشیده شدن الیاف در کامپوزیت PP/EVA: (الف) الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده و (ب) الیاف پارچه شیشه اصلاح شده با EVA.

کامپوزیتها می‌شود. علت این پدیده سازگاری ماتریس و الیاف پارچه شیشه اصلاح شده در سطح مشترک و در نتیجه افزایش استحکام سطح مشترک است. از طرفی EVA به دلیل خاصیت چسبناکی ذاتی خود موجب افزایش هرچه بیشتر در استحکام چسبندگی سطح مشترک خواهد شد.

رشد ترکها و ریز ترکها در مقادیر بیشتر از ۱۰ درصد EVA در آمیزه به دلیل کاهش سازگاری ماتریس و بخش تقویت کننده آغاز می‌شود و در نتیجه تنش از ماتریس به الیاف به خوبی منتقل نمی‌شود و این پدیده موجب جذب انرژی هنگام اعمال نیروهای خارجی شده، خواص ضربه ای نمونه‌های کامپوزیتی افزایش می‌یابد. مشاهدات میکروسکوپی SEM هم وجود سطح مشترک با استحکام بیشتر را در نمونه‌های کامپوزیتی با الیاف پارچه شیشه اصلاح شده نسبت به نمونه‌های کامپوزیتی با الیاف پارچه شیشه اصلاح نشده نشان می‌دهد. بنابراین، EVA به عنوان اصلاح کننده ماتریس و الیاف پارچه شیشه سبب بهبود خواص مکانیکی همچون استحکام کششی، استحکام ضربه ای و چقرمگی در کامپوزیت پلی‌پروپیلن و الیاف پارچه شیشه می‌شود.

مراجع

1. Gibson A.G., Processing and Properties of Polypropylene Composites, *Rubber Plast. Technol.*, **13**, 125-135, 1997.
2. Khunova V., Studies on the Effect of Reactive Polypropylene on the Properties of Filled Polyolefin, Composites. Part I: Advantages of Solid-phase-grafted Polypropylene over Melt-phase-Modified Polymers, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, **32**, 289-298, 1993.
3. Hamada H. and Fujihara K., The Influence of Sizing Conditions on Bending Properties of Continuous Glass Reinforced Polypropylene Composites, *Composites: Part A*, **31**, 979-990, 2000.
4. Mader E. and Freitag K.H., Interface Properties and their Influence on Short Fibre Composites, *Composites*, **21**, 397-402, 1990.
5. Daemen J.M.H. and Besten J., The Influence of Glass Fibre Sizing on the Properties of GF-PP, *Eng. Plast.*, **4**, 82-99, 1991.
6. Francois J. and Chabert B., Introduction of Tailored Interphases in Composite Materials Based on Thermoset or on a Semi Crystalline Polymer Matrix, *Macromol. Symp.*, **108**, 137-146, 1996.
7. Mader E., Moos E. and Karger-Kocsis J., Role of Film Formers

اصلاح شده سازوکار شروع ترک در مقایسه با رشد ترک در سطح مشترک غالب است. در مقادیر بیشتر از ۱۰ درصد EVA در آمیزه PP/EVA سازوکار رشد ترک نسبت به شروع ترکها غالب است و در نتیجه استحکام کششی کامپوزیت کاهش یافته، خواص ضربه ای به دلیل اتلاف بیشتر انرژی مکانیکی افزایش می‌یابد.

از نقطه نظر شیمیایی نیروهای دو قطبی - دو قطبی و هیدروژنی در آمیزه PP/EVA و سطح الیاف پارچه شیشه محتمل است. به عبارتی این نیروها که در اثر وجود گروههای استات در EVA و هیدروکسیل روی سطح الیاف پارچه شیشه پدید می‌آیند استحکام سطح مشترک را افزایش می‌دهند. در مقادیر بیشتر از ۱۰ درصد EVA در آمیزه این برهمکنشها کاهش یافته، خواص چسبندگی ماتریس کم می‌شود.

نتیجه گیری

اصلاح ماتریس پلی‌پروپیلن و الیاف پارچه شیشه به وسیله EVA علاوه بر سهولت فرایند موجب بهبود خواص مکانیکی این نوع

in Glass Fibre Reinforced Polypropylene-new Insight and Relation to Mechanical Properties, *Composites: Part A*, **32**, 631-639, 2001.

8. Mader E., Grunke K., Jacobasch H.J. and Wachinger G., Surface, Interphase and Composite Property Relation in Fibre-Reinforced Polymers, *Composites*, **25**, 739-744, 1994.
9. Zinck P., Mader E. and Gerard J.F., Role of Silane Coupling Agent and Polymeric Film Former to Tailoring Glass Fibre Sizing from Tensile Strength Measurements, *J. Mater. Sci.*, **36**, 5245-5252, 2001.
10. Mader E. and Pisanova E., Characterization and Design of Interphases in Glass Fiber Reinforced Polypropylene, *Polym. Compos.*, **21**, 361-368, 2000.
11. Wu H.F., Dwight D.W. and Huff N.T., Effect of Silane Coupling Agents on the Interphase and Performance of Glass-Fibre Reinforced Polymer Composites, *Compos. Sci. Technol.*, **57**, 975-983, 1997.
12. Thomason J.L. and Adzima L.J., Sizing up the Interphase an Insider's Guide to the Science of Sizing, *Composites: Part A*, **32**, 313-321, 2001.

13. Folke M.J. and Wong W.K., Determination of Interfacial Shear Strength in Fibre-Reinforced Thermoplastic Composites, *Polymer*, **28**, 1309-1314, 1987.
14. Al-Moussawi H., Drown E.K. and Drzal L.T., The Silane/Sizing Composite Interphase, *Polym. Compos.*, **14**, 195-200, 1993.
15. Moon Ch.K. Effect of Molecular Weight and Fibre Diameter on the Interfacial Behavior in Glass Fiber/PP Composites, *J. Appl. Polym. Sci.*, **67**, 1191-1197, 1998.
16. Gupta A.K., Ratnam B.K. and Srinivasan K.R., Impact Toughening of Polypropylene by Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, *J. Appl. Polym. Sci.*, **45**, 1303-1312, 1992.