
اثر پلی پروپیلن نو و اتیلن ونیل استات بر خواص مکانیکی و استحکام جوش پلی پروپیلن
بازیافتی حاصل از قطعات پلاستیکی باتری فرسوده

امیر حسین جان زاده^۱، محمد حسن باقری، حامد فرجی

^۱ کارشناس ارشد مهندسی شیمی، سازمان توسعه منابع انرژی
کارشناس شیمی، سازمان توسعه منابع انرژی
کاردانی، طراحی صنعتی

چکیده

در این تحقیق به بررسی اثر افزودن و ماده الاستومر اتیلن ونیل استات روی خواص مکانیکی، رئولوژیکی و استحکام جوش پلی پروپیلن بازیافتی حاصل از قطعات پلاستیکی باتری سرب-اسیدی پرداخته شده است. خواص کلی پلی پروپیلن بازیافتی به دلیل تخریب زنجیره‌های پلیمری در طی فرآیند حرارتی افت می‌کند. نتایج نشان می‌دهد افزودن درصد‌های مختلف پلی پروپیلن نو به پلی پروپیلن بازیافتی منجر به کاهش شاخص جریان مذاب، افزایش استحکام جوش شده و از طرفی دیگر افزودن اتیلن ونیل استات باعث افزایش مقاومت ضربه، کاهش استحکام جوش و کاهش شاخص جریان مذاب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پلی پروپیلن بازیافتی، اتیلن ونیل استات، خواص مکانیکی، استحکام جوش

مقدمه

پلی پروپیلن پلیمری با خواص مکانیکی، فیزیکی قابل قبول و قیمت مناسب است. پلی پروپیلن ها را می توان به ۲ دسته کلی پلی پروپیلن های هموپلیمر و کو پلیمر تقسیم نمود. همو پلیمر PP فقط شامل مونومر پروپیلن در زنجیره پلیمری خود است و دارای بیشترین مقدار سفتی در خانواده PP بوده و تحت نیروی ضربه در دمای زیر ۰°C شکننده است. کو پلیمر PP از افزودن مقادیر کمی مونومر اتیلن و یا بوتن و جایگزینی تصادفی آنها در طول واکنش پلیمرزاسیون تولید می شود. ذرات اتیلن پخش شده باعث افزایش مقاومت ضربه در دماهای زیر صفر می شود. کو پلی پروپیلن در جلد و درب باتری سرب-اسیدی مورد استفاده قرار می گیرند. جلد محفظه بسته ای است که همه اجزای باتری در داخل و یا بر روی آن نصب می شوند. جلد باتری های استارتر معمولاً از ۶ بخشی تشکیل شده، که دسته صفحات در این بخش ها قرار می گیرند. جلد باتری های سرب-اسیدی را می توان از ابونیت قالب گیری شده، شیشه و یا حتی از چوبی که دارای روی های سربی باشد، ساخت. ماده ای که جلد از آن ساخته می شود باید در برابر خوردگی اسیدسولفوریک مقاوم باشد و نیز تغییر شکل نداده و متخلخل نشود. در ضمن، نباید دارای ناخالصی هایی باشد که الکترولیت را آلوده کند. مخصوصاً اینکه نباید محتوی آهن و منگنز باشد. درب باتری نیز باید دارای مشخصاتی نظیر جلد باشد. بر روی درب باتری دریچه هایی تعبیه شده که بایچه ای پلاستیکی مخصوص بسته می شوند [۲ و ۱]. باتری سرب اسیدی عمر کوتاهی نسبت به سایر قطعات خودرو داشته و بیش از ۹۰ درصد این نوع باتری دوباره وارد چرخه بازیافت می شوند. استفاده مجدد از پلیمرهای بازیافتی ضمن از بین بردن مشکلات زیست محیطی ناشی از سوزاندن و دفن این ضایعات، یک منبع ارزان قیمت مواد اولیه برای ساخت قطعات جدید محسوب می شود. از نقاط ضعف پلی پروپیلن بازیافتی استحکام، مقاومت حرارتی، مقاومت ضربه کم در دمای زیر صفر و همچنین چسبندگی نامناسب درب و جلد باتری سرب-اسیدی است. محققان برای بهبود این ضعف آلیاژ پلی پروپیلن بازیافتی را با مواد الاستومری مختلف مورد بررسی قرار داده اند. در سال های اخیر ترکیب PP/SBR، PP/EPDM مورد توجه محققان مختلف قرار گرفته است [۳]. تحقیقات نشان می دهد مقاومت ضربه در دمای پایین پلی پروپیلن نو با افزودن اتیلن ونیل استات به طور محسوسی افزایش می یابد. در این تحقیق برای افزایش مقاومت ضربه و استحکام جوش پلی پروپیلن بازیافتی از پلی پروپیلن نو و ماده الاستومری اتیلن ونیل استات در درصدهای ۲۰، ۱۰ و ۳۰ درصد استفاده شده و همچنین تغییرات سایر خواص مکانیکی و رئولوژیکی آلیاژ مورد بررسی قرار گرفته است.

۱- روش پژوهش

۱-۲- مواد مورد استفاده

در این تحقیق از پلی پروپیلن نو با گرید R40 با شاخص جریان مذاب ۷ g/10 min، پلی پروپیلن بازیافتی (حاصل از باتری های فرسوده) با شاخص جریان مذاب ۱۲ g/10 min و ماده الاستومری اتیلن ونیل استات با غلظت ۱۸٪ ونیل استات و با شاخص جریان مذاب 7 g/10 min استفاده شده است.

۲-۲- ساخت نمونه

برای اختلاط پلی پروپیلن بازیافتی با پلی پروپیلن نو و اتیلن ونیل استات از اکسترودر تک مار دون استفاده شد. اختلاط هم به نوع افزودنی و هم به هندسه دستگاه بستگی دارد. ۳ نمونه با درصدهای وزنی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ اتیلن ونیل استات با پروفایل دمایی ۱۹۰-۲۰۰ درجه سانتی گراد، $L/D=40$ و سرعت چرخش ۴۰ rpm ساخته شدند؛ و برای تهیه نمونه استاندارد برای آزمون کشش، ضربه، خمش از دستگاه تزریق با پروفایل دمایی ۲۰۰-۲۲۰°C استفاده شد.

۲-۳-آزمون‌ها

آزمون کشش مطابق استاندارد ASTM-D 638 توسط دستگاه کشش STA انجام شد. در این آزمون نمونه‌های دمبلی شکل با سرعت ثابت ۵۰mm/min تحت کشش قرار می‌گیرند. برای اطمینان از صحت نتایج هر ماده سه نمونه مورد آزمایش قرار گرفت. میزان استحکام کششی و درصد ازدیاد طول در این آزمون قابل‌اندازه‌گیری است. آزمون ضربه بر اساس استاندارد ASTM-D256 به وسیله دستگاه ضربه پاندولی Zwick با حداکثر ۵ ژول روی نمونه‌های مستطیلی با ابعاد ۱۳,۵ × ۴,۷ × ۱۳۰ اندازه‌گیری شد. به‌طورمعمول برای حذف خطای ناشی از مناطق ضعیف در قطعه، در نقطه معینی از قطعه شکاف زده می‌شود تا تنش اعمالی از طرف چکش در آن منطقه متمرکز شود. سختی یک مشخصه نسبی است و معمولاً برای مقایسه گریدهای مختلف یک نوع پلاستیک به کار می‌رود. آزمون خمش تحت استاندارد ASTM D790 و با نمونه‌های مستطیلی به ابعاد ۱۳,۵ × ۴,۷ × ۱۳۰ انجام می‌شود. این آزمون با سرعت ثابت ۱۰mm/min انجام می‌شود و برای اطمینان از صحت نتایج هر ماده، سه نمونه مورد آزمایش قرار می‌گیرد. آزمون شاخص جریان مذاب (MFI) مطابق با استاندارد ASTM D1238 انجام می‌شود. در این آزمون نمونه گرانولی پلیمر درون لوله دستگاه ریخته می‌شود در آنجا ذوب‌شده و سپس در زمان ۱۰ دقیقه جرم ماده خارج‌شده از دستگاه گزارش می‌شود. برای به دست آوردن استحکام جوش تعداد سه نمونه دمبلی شکل انتخاب و از طول به دو قسمت مساوی تقسیم شدن. در ادامه نمونه‌های بریده‌شده به کمک دستگاه جوش حرارتی در دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد و زمان حرارت دهی ۲ ثانیه جوشکاری شدند. نمونه‌های جوش‌خورده توسط دستگاه کشش و با سرعت ۵۰mm/min کشیده شده و در نهایت استحکام جوش از روی نمودار قابل‌اندازه‌گیری است.



شکل ۱- نمونه جوش‌خورده برای اندازه‌گیری استحکام جوش

۲- نتایج و بحث

خواص کششی

نتایج مربوط به تأثیر ماده الاستومری اتیلن ونیل استات ذره روی استحکام کششی، مقادیر تنش تسلیم، درصد ازدیاد طول، استحکام خمشی و مقاومت ضربه در جدول (1) خلاصه‌شده است. همان‌طور که از جدول (1) قابل‌مشاهده است میزان تنش تسلیم پلی‌پروپیلن بازیافتی ۲۳,۵ است که با افزایش درصد EVA میزان تنش تسلیم پلی‌پروپیلن بازیافتی کاهش می‌یابد، همچنین درصد ازدیاد طول با افزایش درصد این الاستومر افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار درصد ازدیاد طول در نقطه تسلیم ۱۱,۳۵ در درصد وزنی ۳۰٪ اتیلن ونیل استات است. آزمون ضربه برای تعیین مقدار مقاومت پلاستیک در برابر انرژی مصرف‌شده در اثر شکست با برخورد یک چکش

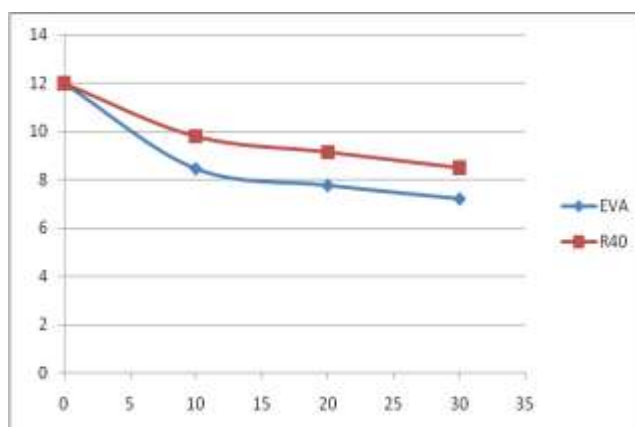
اندازه گیری می شود. کاهش استحکام ضربه با توجه به کاهش جرم مولکولی و افزایش میزان بلورینگی در پلی پروپیلن بازیافتی مشاهده می شود. با توجه به جدول (1) مقاومت ضربه پلی پروپیلن بازیافتی در حضور EVA افزایش می یابد، علت این افزایش خاصیت چقرمگی اتیلن ونیل استات در ماتریس پلی پروپیلن بازیافتی است. بیشترین مقدار مقاومت ضربه 22 KJ/m^2 در درصد وزنی 20٪ اتیلن ونیل استات مشاهده می شود. استحکام خمشی پلی پروپیلن بازیافتی با افزودن EVA کاهش یافته که این امر به دلیل تغییر ساختار کریستالیت ماتریس پلیمری می باشد. در حضور ماده الاستومری اتیلن ونیل استات درصد کریستالیت آمیزه حاصل کاهش می یابد و این امر منجر به کاهش مقاومت زنجیره های پلیمر در مقابل تغییر شکل خمشی می شود.

جدول ۱- خواص مکانیکی آمیزه پلی پروپیلن بازیافتی با اتیلن ونیل استات و پلی پروپیلن نو

نمونه	درصد ازدیاد طول در نقطه تسلیم (MPa)	استحکام خمشی (MPa)	تنش در نقطه تسلیم (MPa)	مقاومت ضربه چارپی (Kj/m^2)
R40	9.8	32.18	24.8	19.18
RPP	8.66	31.1	23.5	13.46
RPP(90)/EVA(10)	8.58	30.4	20.05	18.2
RPP(80)/EVA(20)	8.37	25.27	20.24	22
RPP(70)/EVA(30)	11.35	25	19.72	20
RPP(90)/R40(10)	8.7	42.11	26.4	15.4
RPP(80)/R40(20)	8.75	37.16	24.8	14.3
RPP(70)/R40(30)	8.6	42	26	16.5

۳-۱- شاخص جریان مذاب

این شاخص بیانگر کیفیت پلیمر از لحاظ اندازه زنجیره مولکول و نرم بودن آن است. افزایش شاخص جریان مذاب پلیمر بیانگر کاهش جرم مولکولی و ویسکوزیته آن است. با توجه به کاهش ویسکوزیته و جرم مولکولی، افزایش شاخص جریان مذاب PP بازیافتی نسبت به R40 مشاهده می شود در شکل (۲) تغییرات شاخص جریان مذاب پلی پروپیلن بازیافتی در حضور R40 و EVA نمایش داده شده است. این دو پلیمر به دلیل ویسکوزیته و ساختار خود مانع حرکت زنجیره حاصل از آمیزه حاصل با پلی پروپیلن بازیافتی شده و در نتیجه باعث کاهش شاخص جریان مذاب و افزایش ویسکوزیته آمیزه مذکور شده است.



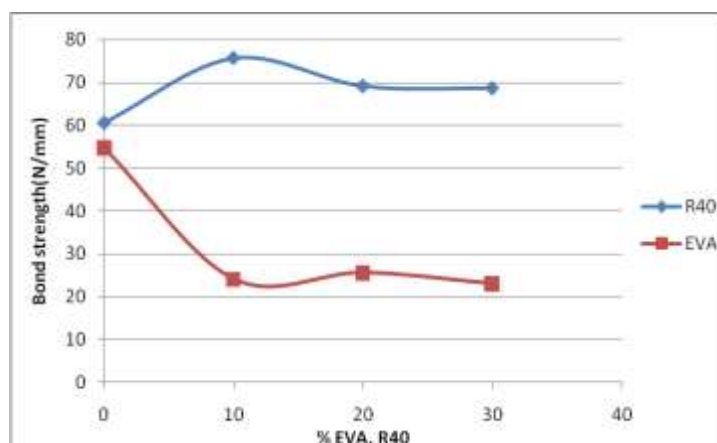
شکل 2- تغییرات MFI پلی پروپیلن بازیافتی با افزودن اتیلن ونیل استات و پلی پروپیلن نو

۲-۳- استحکام جوش

به منظور بررسی اثر افزودن EVA و R40 بر استحکام جوش آمیزه حاصل، نمونه هایی با درصد وزنی ۱۰،۲۰،۳۰ از هر دو ماده ساخته و توسط دستگاه جوش به هم متصل می کنیم (شکل ۱). استحکام اتصال نمونه ها از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$\text{Bond Strength (N/mm)} = F_{\max} / \text{Width} \quad (1)$$

مقادیر محاسبه شده در شکل (۳) نمایش داده شده است. با توجه به شکل (۳) با افزودن EVA استحکام جوش به طور محسوسی کاهش می یابد. علت افت استحکام جوش را می توان در کاهش تنش در نقطه تسلیم پلی پروپیلن بازیافتی با افزودن EVA بررسی کرد. از طرفی دیگر افزودن R40 با مقادیر ۱۰،۲۰،۳۰ به پلی پروپیلن بازیافتی منجر به افزایش استحکام جوش پلی پروپیلن بازیافتی شده است. بطور کلی عامل مهم در استحکام تسلیم یک ماده ترموپلاستیک درصد بلورینگی است. افزودن EVA منجر به کاهش درصد بلورینگی شده و در نتیجه کاهش در نقطه تسلیم برای این آمیزه مشاهده می شود. بهبود استحکام جوش آمیزه RPP/R40 ناشی از افزایش تنش در نقطه تسلیم و کاهش شاخص جریان مذاب است. کاهش شاخص جریان مذاب منجر به افزایش ویسکوزیته و جرم مولکولی می شود. با افزایش جرم مولکولی منجر به افزایش طول زنجیره نفوذ کرده در فصل مشترک دو قطعه جوش خورده شده و این امر منجر به افزایش استحکام جوش می شود.



شکل ۳- استحکام جوش پلی پروپیلن بازیافتی

نتیجه گیری

- در این تحقیق اثر R40 و EVA بر روی پلی پروپیلن بازیافتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق در ذیل آمده است:
- ۱- فرآیند بازیافت باعث کاهش خواص مکانیکی (مدول الاستیسیته، تنش تسلیم، درصد ازدیاد طول، مقاومت ضربه)، خواص رئولوژیکی (شاخص جریان مذاب) و استحکام جوش کوپلی پروپیلن می شود.
 - ۲- افزودن EVA باعث کاهش تنش در نقطه تسلیم، افزایش مقاومت ضربه، کاهش استحکام خمشی پلی پروپیلن بازیافتی می شود
 - ۳- افزودن EVA منجر به کاهش شاخص جریان مذاب و در نتیجه افزایش ویسکوزیته پلی پروپیلن بازیافتی می شود.
 - ۴- افزودن EVA استحکام جوش پلی پروپیلن بازیافتی به طور محسوسی کاهش داده است.
 - ۵- افزودن R40 باعث افزایش تنش در نقطه تسلیم، افزایش مقاومت ضربه، افزایش استحکام خمشی پلی پروپیلن بازیافتی می شود
 - ۶- افزودن R40 منجر به کاهش شاخص جریان مذاب و در نتیجه افزایش ویسکوزیته پلی پروپیلن بازیافتی می شود.
 - ۷- افزودن R40 باعث بهبود استحکام جوش پلی پروپیلن بازیافتی شده است.

مراجع

1. Pavlov D. Lead-acid Batteries: Science and Technology: A Handbook of Lead-acid Battery Technology and Its Influence on the Product. Amsterdam, Elsevier, 2011, p.117.
2. Rust N, Ferg E, Masalova I. A degradation study of isotactic virgin and recycled polypropylene used in lead acid battery casings. Polym. Test 2006; 25(1): 130-139.
3. Synnott DJ, Sheridan DF, Kontos EG. In: De SK, Bhowmick AK, editors. Thermoplastic elastomers from rubber-plastic blends. London: Ellis-Horwood, London; 1989.
4. Gonzalez V.A, Neira-Velazquez G, AnguloSanchez J.L, Polypropylene chain scissions and molecular weight changes in multiple extrusion, Polymer Degradation and Stability 60 (1998) 33-42