

ملامین - فرمالدهید

The Effect of Glass Fiber on the Properties of Melamine-Formaldehyde Molding Compounds

مرادعلی خطیبی، محمدحسین بهشتی*، جلیل مرشدیان

تهران- پژوهشگاه پلیمر ایران، صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۱۵

دریافت: ۷۹/۶/۶، پذیرش: ۸۰/۸/۱۹

چکیده

از مصرف رزینهای ملامین-فرمالدهید در ساختن وسایل آئیزخامه روز به روز گامته می‌شود و امروزه تلاش بر آن است که از این رزین بیشتر برای کارهای پوشش‌دهی، تزیینات و دکوراسیون استفاده شود. علاوه بر این، به دلیل داشتن خواص عالی مثل سختی، برایت سطح، مقاومت گرمایی و الکتریکی، لزوم استفاده از این مواد در کاربردهای ساختاری شدت احساس می‌شود. در این پژوهش، از الیاف شیشه به علت داشتن مدول و استحکام زیاد به عنوان تقویت کننده، در آمیزه‌های قالبگیری ملامین-فرمالدهید استفاده شده و اثر این الیاف بر خواص فیزیکی و مکانیکی آمیزه‌های یاد شده تا میزان ۶۰ درصد وزنی مورد مطالعه قرار گرفته است. آزمونه‌های مختلف خواص فیزیکی و مکانیکی روی قطعات بدست آمده انجام شده و رفتار گرمایی آمیزه‌ها نیز به وسیله دستگاه DSC/TG بررسی شده است. از نتایج بدست آمده چنین برمی‌آید که آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه در مقایسه با آمیزه‌های تقویت شده با الیاف آلفا سلولوز از خواص مکانیکی برتر است. برحسور ایزد و آمیزه‌ای که با ۵۰ درصد وزنی الیاف شیشه تقویت شده است دارای بهترین خواص مکانیکی است.

واژه‌های کلیدی: ملامین-فرمالدهید، ترکیبات قالبگیری، الیاف شیشه، الیاف آلنا سلولوز، کامپوزیت

Key Words: melamine-formaldehyde, molding compounds, glass fiber, α -cellulose fiber, composite

مقدمه

قالبگیری ملامین-فرمالدهید دارای خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب برای کاربردهای عمومی‌اند، ولی توسعه کاربرد این ترکیبات در کاربردهای مهندسی ایجاب می‌کند که در بهبود هر چه بیشتر خواص این مواد تلاش شود، تا بتوان آنها را در کاربردهای ساختاری نیز مورد استفاده قرار داد [۵].

استحکام ضربه‌ای، انعطاف‌پذیری و پایداری ابعادی کم و جمع‌شدگی زیاد ضعفهای عمده‌ای برای ترکیبات قالبگیری ملامین-

ناکون روی ستر رزین ملامین-فرمالدهید کارهای بسیاری انجام شده [۴-۱]، ولی روی خواص و بهینه کردن آمیزه‌های قالبگیری آنها کارهای پژوهشی چندانی صورت نگرفته است. از این رو، بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی و طراحی آمیزه‌هایی که بتواند خواص و کیفیت بهتر داشته باشد، ضروری بنظر می‌رسد. هرچند ترکیبات

*مستول مکاتبات، پیام‌نگار: M.Beheshty@proxy.apta.ac.ir

جدول ۱- اجرای اصلی یکت آمیزه قالبگیری ملامین - فرمالدهید.

مقدار (Part)	مواد
۱۰۰	رزین ملامین- فرمالدهید
۰/۲	هگزامین
۰/۲	فتالیک انیدرید
۱/۵	روی استئرات

فرمالدهید قادر به انجام واکنش با هر مول ملامین است که نتیجه آن تهیه رزینهای با کاربردهای متفاوت خواهد بود. در سنتز رزینهای ملامین- فرمالدهید برای تهیه پودرهای قالبگیری نسبت ملامین به فرمالدهید ۱ به ۲ است که به این رزین مواد افزودنی مورد نیاز اضافه شده و پودرهای قالبگیری مورد نظر تهیه می شود. اجرای اصلی که در این پژوهش در ترکیب قالبگیری ملامین- فرمالدهید مورد استفاده قرار گرفت در جدول ۱ آورده شده است

در کلیه آمیزه های تهیه شده مقدار اجرای یاد شده در جدول ۱ ثابت بوده و فقط میزان ایاف شیشه تغییر کرده است و آمیزه های با ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۶۰ درصد وزنی ایاف شیشه به ترتیب با کدهای MG۳۰، MG۳۵، MG۴۰، MG۴۵، MG۵۰ و MG۶۰ تهیه شده است

آزمونها

کلیه آزمونهای خواص فیزیکی و مکانیکی مطابق روشهای استاندارد ASTM انجام شده است. آزمونهای خواص فیزیکی از قبیل چگالی (ASTM D۱۴۲۱) سختی سطح (ASTM D۲۲۴۰)، جمع شدگی (ASTM D۴۵۵)، جذب آب (ASTM D۵۷۰) و برایت (با استفاده از دستگاه Rheopoint gloss meter) روی ترکیبات قالبگیری انجام شد و نیز آزمایشهای خواص مکانیکی شامل آزمون کشش (ASTM D۳۰۳۹)، خمش (ASTM D۷۹۰) و ضربه (ASTM D۲۵۶) روی نمونه های قالبگیری شده انجام گردید. خواص گرمایی آمیزه ها نیز با استفاده از روش DSC-TG مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

بررسی خواص فیزیکی

بررسی چگالی

یکی از ویژگیهای کامپوزیتها سبکی آنهاست، بنابراین برای ارزیابی اثر میزان ایاف شیشه بر چگالی ترکیبات قالبگیری، چگالی ترکیبات یاد شده معین شد که نتایج آن در شکل ۱ آورده شده است.

از آنجا که چگالی ایاف شیشه نوع ۱ برابر 2.5 g/cm^3 و

فرمالدهید محسوب می شود، هرچند که با افزایش پرکننده ها و تقویت کننده ها در بعضی موارد این ضعفها برطرف می شوند، ولی نیاز به اصلاحات و تحقیقات بیشتر در این زمینه ها وجود دارد [۸-۶]. کامپوزیت های تقویت شده با ایاف شیشه با آرایش اتفاقی موادی با خواص مطلوب اند. این ترکیبات روانی خوبی داشته و برای تولید محصولات با حجم زیاد و دارای قسمتهای پیچیده مصرف می شوند، بنابراین از ترکیبات یاد شده می توان برای ساختن قطعات مهندسی انبوه استفاده کرد. طراحی این آمیزه ها نیازمند تحقیق و توسعه بیشتر برای کاربردهای مهم است [۹].

هدف اصلی در این پژوهش، بررسی استفاده از ایاف شیشه و نقش آن بر خواص ترکیبات قالبگیری ملامین- فرمالدهید برای کاربردهای مهندسی است.

تجزیه

مواد

در این پژوهش از رزین ملامین- فرمالدهید ساخت شرکت صنایع شیمیایی فارس و هگزامین، فتالیک انیدرید و روی استئرات نوع تجارنی و ایاف شیشه کوتاه نوع ۱ا مناسب ترکیبات قالبگیری به طول ۶ mm استفاده شده است.

دستگاهها

از آسیاب چکشی، آسیاب گلوله ای و خشک کن با سیستم جرخش هوا برای تهیه آمیزه، پرس برای قالبگیری ترکیبات، دستگاه آزمون DSC/TG از نوع STA۶۲۵ ساخت پلیمرلاب برای بررسی رفتار گرمایی، دستگاه ایسترون مدل ۲۵-۶۰ برای آزمونهای کشش و خمش، میکروسکوپ الکترون پوشی ساخت کمبریج مدل ۳۶۰ stereo scan برای بررسی سطح شکست نمونه ها استفاده شده است.

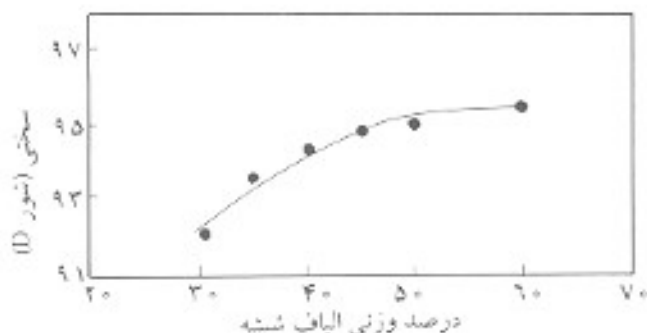
روشها

قالبگیری

قالبگیری این ترکیبات در فشار $1.7 \times 10^5 \text{ bar}$ ، دمای 150°C و زمان ۲/۵ دقیقه انجام شد. از دو نوع قالب استفاده شد: قالب مستطیل شکل به ابعاد $130 \times 10 \text{ mm}$ و قالب دایکشی شکل به قطر ۵۱ mm.

روش تهیه آمیزه ها

مولکون ملامین دارای ۶ عامل فعال NH است، بنابراین بین ۱ تا ۶ مول

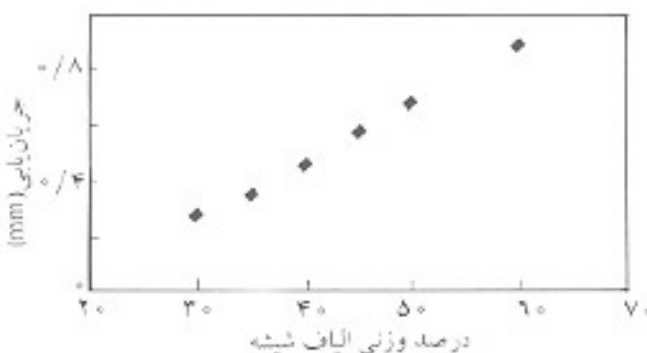


شکل ۲- سختی سطح آمیزه‌های متفاوت ملامین- فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.

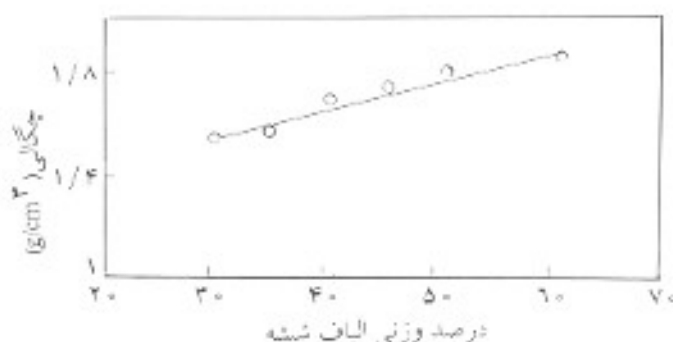
ملامین- فرمالدهید تقویت شده با درصد‌های مختلف الیاف شیشه با روش جریان صفحه (disk flow) اندازه‌گیری شد که نتایج آن در شکل ۲ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش درصد وزنی الیاف شیشه میزان ضخامت قطعه قالبگیری شده افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، نتایج بیانگر این است که با افزایش درصد الیاف شیشه از میزان جریان‌یابی آمیزه‌ها کاسته می‌شود که نتیجه‌ای قابل انتظار از چنین آمیزه‌هایی است، زیرا افزایش الیاف شیشه مانع از جریان‌یابی و سیلان رزین در قالب می‌شود.

بررسی جمع‌شدگی

یکی از مشکلات ترکیبات قالبگیری ملامین- فرمالدهید جمع‌شدگی زیاد این ترکیبات پس از قالبگیری است. جمع‌شدگی زیاد رزین‌های ملامین- فرمالدهید پس از پخت، ناشی از آن است که واکنش‌های پخت آنها از طریق تراکم گروه‌های متیلول صورت می‌گیرد و همراه با آزاد شدن محصول فرعی آب است که به صورت بخار هنگام قالبگیری خارج می‌شود. به همین دلیل، امکان قالبگیری رزین ملامین- فرمالدهید



شکل ۳- جریان‌یابی آمیزه‌های متفاوت ملامین- فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.



شکل ۱- چگالی ترکیبات ملامین- فرمالدهید تقویت شده با مقادیر مختلف الیاف شیشه.

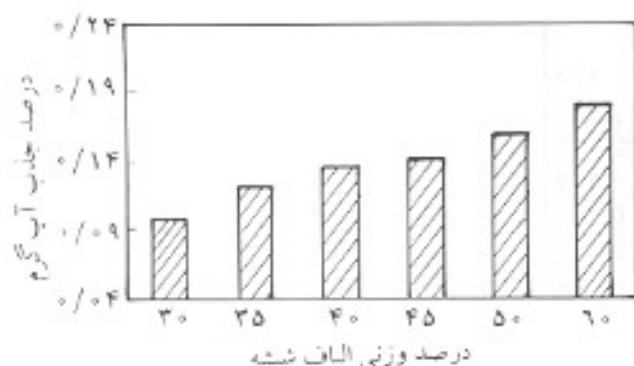
چگالی رزین ملامین- فرمالدهید $1/48 \text{ g/cm}^3$ گزارش شده است [۸]. چگالی ترکیبات قالبگیری تهیه شده با مقادیر مختلف الیاف شیشه نیز بر اساس قانون مخلوطها [۱۰] محاسبه گردید که نتایج آن همراه با نتایج تجربی در شکل ۱ رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش درصد الیاف شیشه چگالی این ترکیبات افزایش می‌یابد و تطابق خوبی بین نتایج محاسباتی و تجربی وجود دارد.

بررسی سختی سطح

سختی سطح در ترکیبات قالبگیری از اهمیت زیادی برخوردار است، بویژه اینکه از آنها برای کاربردهای پوشش سطح، دکوراسیون و کابینت استفاده می‌شود. بنابراین، ترکیبات قالبگیری یاد شده باید از سختی سطح زیادی برخوردار باشند. از نمونه‌های تقویت شده با درصد‌های مختلف الیاف شیشه آزمون سختی به عمل آمد که نتایج آن در شکل ۲ آورده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش درصد وزنی الیاف، سختی سطح آمیزه‌ها افزایش می‌یابد. چون الیاف شیشه بطور قابل توجهی سخت‌تر از رزین ملامین- فرمالدهید است، در نتیجه با افزایش درصد وزنی الیاف شیشه سختی کامپوزیت‌های آنها نیز افزایش می‌یابد.

جریان‌یابی

جریان‌یابی ترکیب قالبگیری از اهمیت زیادی برخوردار است، بویژه برای رزین‌های گرماسختی که با روش قالبگیری فشاری شکل‌دهی می‌شوند. اگر جریان‌یابی کم باشد، پودر قالبگیری تمام قالب را پر نمی‌کند و بدین ترتیب قطعه سالم و بدون نقص بدست نمی‌آید. اگر جریان‌یابی زیاد باشد، مواد از قالب بیرون می‌ریزد و در این صورت قطعه با همان ضخامت دلخواه و عاری از حخل و فرج حاصل نخواهد شد. در ضمن، حباب‌های موجود در قطعه بسیار زیاد می‌شود و ضایعات مواد نیز افزایش می‌یابد. از این رو، جریان‌یابی آمیزه‌های قالبگیری



شکل ۶ - میزان جذب آب گرم ترکیبات قالبگیری مختلف ملامین - فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.

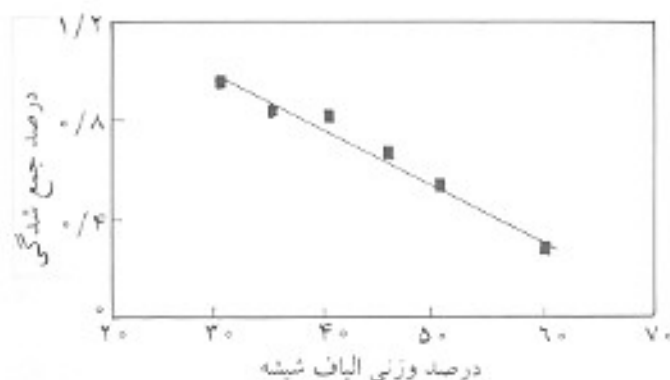
ساعت انجام شد در شکل ۵ آورده شده است. چنانچه دیده می شود با افزایش درصد وزنی الیاف شیشه جذب آب نمونه ها زیاد می شود، ولی در کل این آمیزه ها میزان جذب آب کمی دارند. یادآوری می شود از آنجا که امکان قالبگیری رزین ملامین - فرمالدهید به تنهایی وجود ندارد (در قسمت قبل شرح آن آمد)، امکان اندازه گیری جذب آب رزین به تنهایی مقدور نیست.

ب - جذب آب گرم: چنانچه در شکل ۶ دیده می شود با افزایش درصد الیاف، جذب آب نمونه ها در محیط گرم، که مطابق استاندارد مربوط در دمای 100°C و به مدت نیم ساعت انجام شد، نیز افزایش می یابد. جذب آب چنین ترکیباتی در مقایسه با ترکیبات تقویت شده با الیاف آلفا سلولوز بسیار کمتر است و ناشی از آن است که الیاف شیشه در مقایسه با الیاف آلفا سلولوز قابلیت جذب آب کمتری دارند. به همین جهت، این قطعات جذب آب کمتری نسبت به ترکیبات قالبگیری ملامین - فرمالدهید تقویت شده با الیاف آلفا سلولوز نشان می دهند.

براقیت سطح

براقیت سطح ظاهری قطعات قالبگیری یکی از پارامترهای مهم در کاربردهای پوشش دهی سطح و کاربردهای دکوراسیونی و تزئینی است. بر این اساس روی آمیزه های مختلف تقویت شده با الیاف شیشه آزمون براقیت سطح انجام شد که نتایج آن در شکل ۷ آورده شده است.

با توجه به اینکه الیاف شیشه جاذب نورند، به همین دلیل با افزایش درصد وزنی این الیاف جذب نور افزایش پیدا می کند و در نتیجه انعکاس کمتر می شود و براقیت کاهش می یابد. اشاره می شود که در روش اندازه گیری براقیت، میزان براقیت مواد مختلف بین ۱ تا ۱۰۰



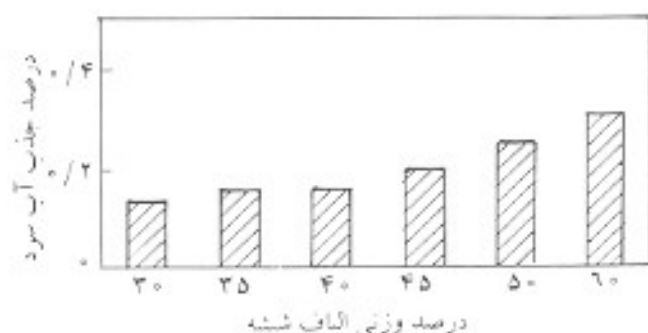
شکل ۴ - میزان جمع شدگی ترکیبات قالبگیری ملامین - فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.

به تنهایی وجود ندارد و همواره باید آن را به صورت ترکیب قالبگیری دارای پرکننده شکل داد. به همین منظور، میزان جمع شدگی آمیزه های مختلف اندازه گیری شد که نتایج آن در شکل ۴ آورده شده است. چنانچه دیده می شود با افزایش درصد وزنی الیاف شیشه جمع شدگی آمیزه به میزان قابل توجهی کاهش می یابد که این مشاهده به دلیل وجود الیاف شیشه است، زیرا جمع شدگی آمیزه ناشی از واکنشهای پخت رزین است و با افزایش مقدار الیاف و به عبارتی کاهش مقدار رزین در واحد حجم، جمع شدگی آن کاهش می یابد.

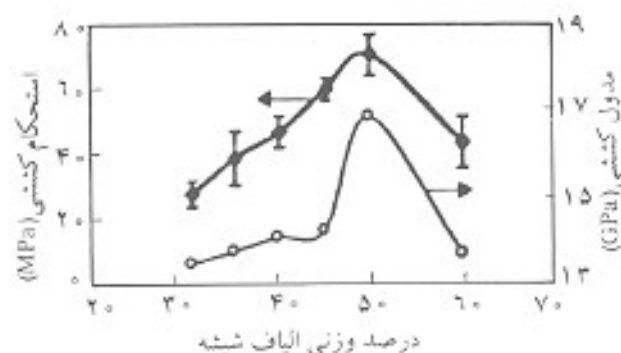
جذب آب

جذب آب ترکیبات قالبگیری یکی از مهمترین ویژگیهای آن است، بویژه ترکیباتی که در معرض رطوبت قرار می گیرند باید کمترین میزان جذب آب را داشته باشند.

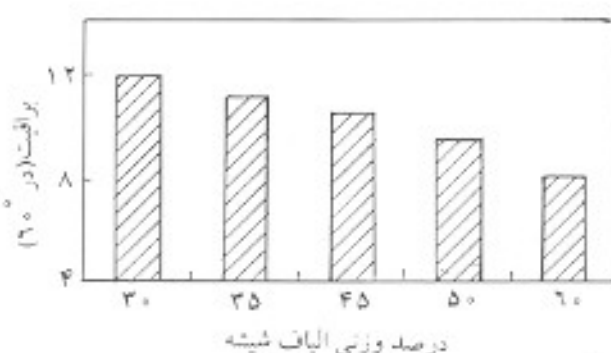
الف - جذب آب سرد: مقادیر جذب آب سرد نمونه های تقویت شده با الیاف شیشه که مطابق استاندارد مربوط در دمای 25°C و به مدت ۲۴



شکل ۵ - میزان جذب آب سرد ترکیبات قالبگیری ملامین - فرمالدهید با مقادیر مختلف الیاف شیشه.



شکل ۸- خواص کششی آمیزه‌های تقویت شده با درصد‌های وزنی مختلف الیاف شیشه.



شکل ۷- برایت سطح ترکیبات قالبگیری مختلف ملابین- فرمالدهید با درصد‌های وزنی مختلف الیاف شیشه.

آغشته شدن تمام الیاف به وسیله رزین است و جریان یابی نیز کاهش می‌یابد. در ضمن، رفتار تنش-کرنش کلیه آمیزه‌ها خطی است و میزان ازدیاد طول تا پارگی آنها از ۵٪ درصد (آمیزه دارای ۶۰ درصد الیاف) تا ۷۵٪ درصد (آمیزه دارای ۳۰ درصد الیاف) متغیر بوده است.

درجه بندی شده است که بیشترین عدد مربوط به سطوح براق و کمترین میزان مربوط به سطوح مات و کدر است. چنانچه دیده می‌شود، آمیزه‌های قالبگیری ملابین- فرمالدهید تقویت شده با الیاف شیشه برایت خوبی ندارد که از نقاط ضعف این ترکیبات در صورت استفاده از آنها در کاربردهای پوشش دهی است.

خواص خمشی

با استفاده از این آزمون استحکام خمشی، مدول خمشی و میزان خمش آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه بدست آمد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

چنانچه در جدول ۲ دیده می‌شود، آمیزه MG۵۰ بیشترین استحکام خمشی برخوردار است. در اینجا نیز آمیزه MG۵۰ مناسبترین آمیزه است و اگرچه آمیزه MG۶۰ بیشترین مدول برخوردار است، ولی با توجه به اینکه قطعات بدست آمده از این آمیزه استحکام خمشی و استحکام کششی کمتری دارند استفاده از این آمیزه مناسب نیست.

بررسی خواص مکانیکی

خواص کششی

با استفاده از آزمون کشش، استحکام کششی، مدول کششی و ازدیاد طول تا پارگی آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه بدست آمد که نتایج آن در شکل ۸ آورده شده است. این شکل نشان می‌دهد که با افزایش مقدار الیاف تا ۵۰ درصد خواص کششی بهبود می‌یابد و آمیزه دارای ۵۰ درصد وزنی الیاف شیشه از بیشترین استحکام و مدول برخوردار است. پس از این مقدار خواص افت می‌کند که آن هم به دلیل عدم

جدول ۲- خواص خمشی و ضربه‌ای آمیزه‌های تقویت شده با مقادیر مختلف الیاف شیشه (اعداد داخل پرانتز نشان دهنده انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده است).

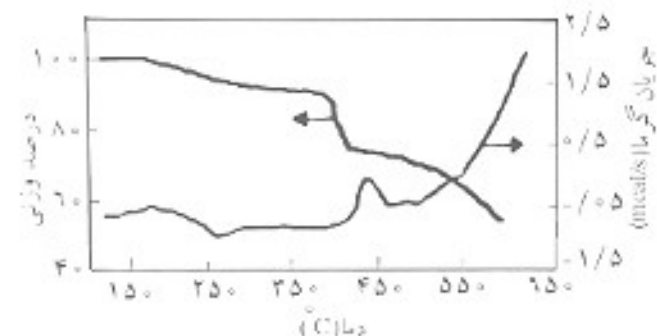
MG۶۰	MG۵۰	MG۴۵	MG۴۰	MG۳۵	MG۲۰	کد آمیزه / خواص
۱۲۷/۰۶	۱۷۵/۷۰	۱۴۰/۸۲	۱۱۲/۳۵	۱۰۶/۲۰	۹۹/۸۲	استحکام خمشی (MPa)
(۸/۰۳)	(۱۴/۷۰)	(۷/۴۳)	(۱۳/۱۷)	(۸/۳۷)	(۸/۱۴)	
۱۷/۹۸	۱۴/۹۲	۱۳/۸۸	۱۳/۵۷	۱۲/۸۱	۱۱/۲۱	مدول خمشی (GPa)
(۱/۵۶)	(۱/۴۹)	(۱/۷۹)	(۱/۶۳)	(۱/۲۳)	(۱/۱۳)	
۰/۷۵	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۹۷	میزان خمش (%)
(۰/۰۴)	(۰/۰۷)	(۰/۰۷)	(۰/۰۶)	(۰/۱)	(۰/۰۶)	
۳/۳۶	۴/۶۵	۴/۳۲	۴/۰۲	۳/۹۸	۳/۸۶	استحکام ضربه‌ای ایزود (kJ/m ²)
(۰/۵۳)	(۰/۳۷)	(۰/۴۱)	(۰/۲۶)	(۰/۳۴)	(۰/۳۳)	

جدول ۳- مقایسه خواص آمیزه‌های MG50 و MT

خواص	MG50	MT
خواص فیزیکی:		
چگالی (g/cm^3)	۱/۷۸۲	۱/۴۹۴
سختی (شور D)	۹۵	۹۳/۶۲
جران بایی (mm)	۰/۶۸۶	۱/۰۴۱
جذب آب (%)		
آب گرم ($100^\circ C$ و ۵ h)	۰/۱۵۸	۰/۱۳۵
آب سرد ($25^\circ C$ و ۲۴ h)	۰/۲۵۳	۰/۳۵۴
براقیت	۹/۵	۲۵/۷
جمع‌شدگی (%)	۰/۵۲۹	-/۸۰۵
خواص مکانیکی:		
استحکام کششی (MPa)	۶۹/۲۲۸	۳۵/۲۳۸
مدول کششی (GPa)	۱۶/۷۴	۳/۵۹۸
افزایش طول تا پارگی (%)	۰/۵۶۶	۱/۱۴۹
استحکام خمشی (MPa)	۱۷۵/۶۹۸	۹۶/۷۱۵
مدول خمشی (GPa)	۱۴/۹۲	۱۰/۲۱۸
استحکام ضربه‌ای (kJ/m^2)	۴/۶۵۲	۱/۴۹۵
استحکام برشی بین‌لایه‌ای (MPa)	۱۴/۲۶۸	۱۱/۲۵۷

استحکام ضربه‌ای

استحکام ضربه‌ای آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه در جدول ۲ آورده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که آمیزه MG50 نیز

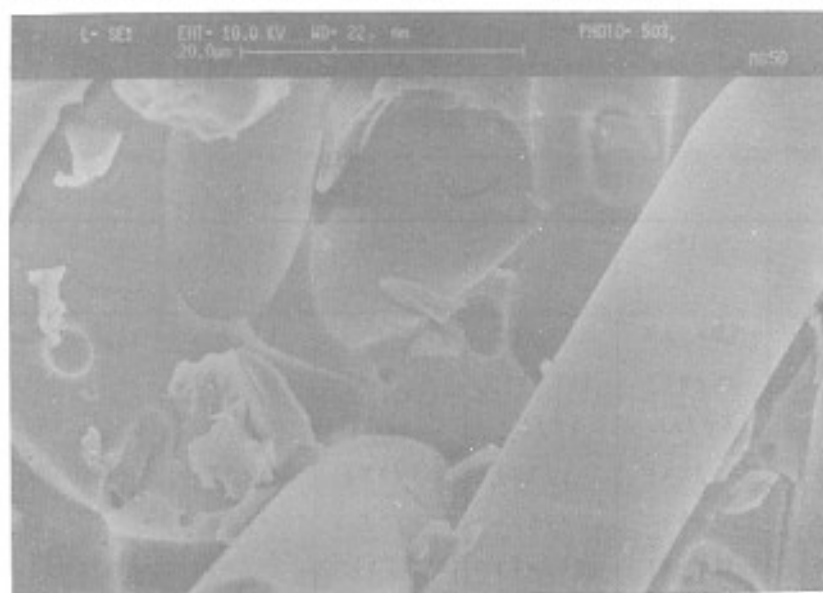


شکل ۹- گرمانگاشت DSC-TG ترکیب قالبگیری ملامین- فرمالدهید دارای ۳۵ درصد وزنی الیاف شیشه.

از بیشترین استحکام ضربه‌ای برخوردار است.

از آنجا که در این پژوهش هدف تهیه آمیزه‌هایی بوده است که بتواند در کاربردهای ساختاری مورد استفاده قرار گیرد، خواص فیزیکی و مکانیکی ترکیبات قالبگیری ملامین- فرمالدهید تجاری (MT) که با حدود ۳۵ درصد وزنی الیاف سلولوز تقویت شده‌اند و در ساخت ظروف آشپزخانه از آنها استفاده می‌شود نیز معین و نتایج آن همراه با خواص آمیزه MG50، که با توجه به مباحث قبل خواص بهینه دارد، برای مقایسه در جدول ۳ ارائه شده است. طبق این جدول، اگرچه چگالی بیشتر از آمیزه MT است و براقیت کمتری نسبت به آن دارد، ولی خواص دیگر آن مثل سختی سطح، جران بایی، جذب آب و جمع‌شدگی برابری بهتر از نمونه MT است.

از نظر خواص مکانیکی نیز نمونه MG50 استحکام کششی، مدول کششی، استحکام خمشی، مدول خمشی، استحکام ضربه‌ای و



شکل ۱۰- تصویر SEM سطح شکست آمیزه MG50 با بزرگنمایی ۲۰۰۰.

تامیزان ۵۰ درصد وزنی در این آمیزه‌ها استفاده کرد. همچنین، آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه از مقاومت گرمایی زیادی نیز برخوردارند و تخریب گرمایی آنها از دمای 450°C آغاز می‌شود.

قدردانی

از مسئولان محترم شرکت صنایع شیمیایی فارس بویژه آقایان بازشی، محمدتیا، پذیرایی و کلانتری به دلیل همکاری بی‌شائبه در این طرح صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

1. Sandler S. R. and Karo W.; *Polymer Synthesis*; 2, Academic, 1997.
2. Brydson J. A.; *Plastic Materials*; University, Cambridge, 1989.
3. Lee S. M.; *International Encyclopedia of Composite*; 1, VCH, 1998.
4. Mark H. F. et al.; *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*; 1, John Wiley & Sons, Canada, 1985.
5. Dominghaus H.; *Plastics for Engineers, Materials, Properties, Applications*; Hanser, New York, 1993.
6. Braun D., Unvercht R., Modification of Melamine-Formaldehyde Molding Compounds with Epoxy Resins; *Angew. Makromol. Chem.*; 237, 1-44, 1996.
7. Braun D. and Unvercht R., Modification of Melamine-Formaldehyde Molding Compounds with Ethylene/Vinyl Acetate Copolymers; *Angew. Makromol. Chem.*; 222, 61-87, 1994.
8. Sheldon R. P.; *Composite Polymer Materials*; University of Bradford, Wiley Interscience, Canada, 1982.
9. Hagstrand P. O., Rychwalski R. W. and Klason C., Microstructure and Analysis of a New Ternary Melamine-Formaldehyde; *Polym. Eng. Sci.*; 38, 8, 1324-36, August 1998.
10. Agarwal B. D. and Broutman L. J.; *Analysis and Performance of Fiber Composites*; (2nd Ed), Wiley, 1990.

استحکام برشی بین لایه‌های برراتب بیشتری نسبت به نمونه MT دارد. از این رو، می‌توان نتیجه گرفت که از آن می‌توان در کاربردهای ساختاری استفاده کرد.

بررسی رفتار گرمایی

پایداری گرمایی یکی از ویژگیهای حائز اهمیت ترکیبات قالبگیری است، به همین جهت روی آمیزه MG۲۵ آزمایش DSC-TG انجام شد که نتایج آن در شکل ۹ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که پخت نمونه‌ها در حدود 150°C اتفاق می‌افتد. اگرچه از حدود 450°C تخریب آن آغاز می‌شود، ولی تخریب اساسی آن از حدود 550°C شروع می‌شود. گرمانگاشت TG نمونه بیانگر بالا بودن مقاومت گرمایی آمیزه‌های تقویت شده با الیاف شیشه است.

مطالعات میکروسکوپی

به کمک میکروسکوپ الکترون پوشی (SEM)، سطح شکست آمیزه MG۵۰ مورد بررسی قرار گرفت که نمونه‌ای از آن در شکل ۱۰ آورده شده است. این بررسی نشان می‌دهد که چسبندگی الیاف به رزین در آمیزه خیلی خوب نیست و شکست الیاف، بیرون شدن الیاف از رزین، جدا شدن فصل مشترک و شکست ماتریس بروشنی مشاهده می‌شود. اما، فصل مشترک نمونه استحکام متوسطی دارد، زیرا بقایایی از رزین نیز روی بعضی از قسمتهای الیاف مشاهده می‌شود. این ویژگی ناشی از آن است که عمل آوری الیاف شیشه مصرفی به گونه‌ای بوده است که سازگاری بسیار خوبی با رزین پلی‌استر سیر نشده داشته باشد. از این رو، سازگاری بسیار خوبی را نمی‌توان از آنها با رزین ملامین-فرمالدهید انتظار داشت. به همین جهت، در صورت عمل آوری الیاف با عوامل اتصال دهنده مناسب، خواص مکانیکی برراتب بهتری از آنچه در جدول ۳ نشان داده شده است حاصل خواهد شد.

نتیجه گیری

نتایج نشان می‌دهد که افزودن الیاف کوتاه شیشه به رزینهای ملامین-فرمالدهید سبب افزایش چگالی و سختی سطح، کاهش جمع‌شدگی، جریان‌یابی، برایت و میزان جذب آب آنها شده است. آمیزه‌های ملامین-فرمالدهید تقویت شده با الیاف شیشه در مقایسه با آمیزه‌های ملامین-فرمالدهید تقویت شده با الیاف سلولوز از خواص مکانیکی برراتب بهتری برخوردار است. از تقویت‌کننده الیاف شیشه می‌توان