الیاف

تاثیر عوامل فرآیند بر روی خواص
الیاف توخالی پلی‌پروپیلن

ترجمه و تلخیص: مهندس علی صالحی راد*

مقدمه

الیاف توخالی در ابتدا در فرآیندهای جداسازی بکار گرفته شدند. در ریسندگی این الیاف به منظور ایجاد خواص فیلترکنندگی نیاز است که خصوصیات دیواره (ابعاد میکرو حفره‌ها و آرایش آنها) به خوبی کنترل گردد که به ناچار برای این الیاف توخالی، سرعتهای ریسندگی محدود به سرعتهای پایین می‌گردد، اما برخلاف الیاف توخالی غشایی، الیاف توخالی می‌توانند برای کاربردهایی تهیه شوند که خواص فیلتر کنندگی دیواره آن اصلا مورد نظر نباشد؛ و از جمله برتری‌های این الیاف توخالی بر الیاف هم قطر با آنها، قیمت پایین تر و وزن کمتر می‌باشد. می‌دانیم که سرعت ریسندگی، کشش ثانویه، دمای کشش، دمای رشته ساز و ... می‌تواند بر خواص الیاف تاثیر قابل توجهی بگذارد. مدول و استحکام کششی الیاف مصنوعی، از جمله پلی پروپیلن، به تبدیل‌های مورفولوژیکی و آرایش زنجیرها بستگی دارد و هرگاه بلورینگی و آرایش یافتگی، هر دو با هم افزایش یابد مدول و استحکام بالا می‌رود. برای مثال، الیاف پلی استر با استحکام بالا را می‌توان در سرعت ریسندگی حدود ۳۰۰۰ متر بر دقیقه و کشش ثانویه حدود ۲:۱ تهیه نمود، درحالیکه همین پلی استر را می‌توان در سرعت ریسندگی ۶۰۰۰ متر بر دقیقه به تنهایی و بدون کشش ثانویه بدست آورد. الیاف پلی پروپیلن تجاری با استحکام ۴-۲ g/den برای تولید کفپوشها، ۶-۳ g/den برای منسوجات و ۹-۶ g/den برای اهداف صنعتی بکار می‌رود. از نظر مدول الاستیک نیز الیاف پلی پروپیلن اختلاف گسترده ای دارند؛ محدوده ای از ۱۲۰ g/den برای الیاف تک رشته ای خوب تثبیت شده، تا ۲۵ g/den برای الیاف کوتاه کفپوش‌ها و همچنین در حدود ۶۰ g/den برای الیاف نساجی معمول است. در این کار تحقیقی به کمک یک رشته ساز لوله در موئینه که گاز نیتروژن را در مرکز رشته مذاب می‌دمد، الیاف توخالی و الیاف توپر (با قطع نمودن جریان نیتروژن) تهیه شد و توسط غلتک برداشت کشیده و جمع آوری گردید (با توجه به اینکه به این الیاف کشش ثانویه اعمال نشد لذا به این الیاف، الیاف نوریس گفته می‌شود). مشخص است که به علت عدم اعمال کشش ثانویه به این الیاف، مدول و استحکامشان از مدول و استحکام الیاف تجاری کمتر می‌باشد. سپس آزمایشات بررسی استحکام، آرایش یافتگی و بلورینگی بر روی نمونه‌ها انجام گردید.

آزمایشات

گرانول پلی پروپیلن با نام تجاری Fina Dypro با شاخص جریان مذاب (MFR) ۸۸، متوسط وزن مولکولی g/mol ۱۶۵۰۰۰، توزیع وزن مولکولی ۴، در $200^{o}C$ توسط رشته ساز لوله در موئینه ذوب ریسی شد و سه دسته الیاف زیر به منظور بررسی تاثیر قطر داخلی تهیه گردید.

۱- SP ثابت (چگالی خطی ثابت) در سه h مختلف

۲- OD ثابت (یاSf ثابت) در پنج h مختلف

۳- h ثابت، و سرعت برداشت متغیر

SP مساحت سطح مقطع بخش پلیمری لیف توخالی، h درصد توخالی بودن، OD قطر خارجی، ID قطر داخلی، و Sf مساحت سطح مقطع لیف بر مبنای قطر خارجی است (یعنی SP به اضافه مساحت بخش توخالی).

قطرهای الیاف به کمک میکروسکوپ نوری، لیف توپر از بغل، و لیف توخالی به کمک سطح مقطع گیری با میکروتوم بدست آمد. دقت شد تا به نمونه‌ها کششی اعمال نگردد. آزمون کشش به کمک مدلی از دستگاه اینسترون انجام شد (نرخ کشش ۲/۵۴ cm/min، طول اولیه نمونه‌ها ۲/۲ cm؛ طبق روش استاندارد ASTM D۲۱۰۱-۹۳). مدول یانگ(شیب اولیه منحنی کشش)، ازدیاد طول و تنش در نقطه پارگی(g/den)، و چغرمگی نیز از طریق انتگرال گیری از سطح زیر منحنی تنش-کرنش محاسبه گردید. هر کدام از اعداد گزارش شده میانگین سه عدد است.

(g/den)استحکام × چگالی مخصوص×۱۲۸۰۰ = (lb/in^{2})استحکام کششی

چگالی مخصوص پلی پروپیلن، ۰/۸۹۵ است.

بررسی مکانیکی دینامیکی (DMA) توسط مدلی از دستگاه با اتمسفر نیتروژنی، در نرخ کرنش ثابت ۰/۱٪، و بسامد ۱۰ هرتز (Hz) در سه مرحله، از دمای $-100^{o}C$ تا $200^{o}C$، بر روی نمونه‌هایی که با وزن تقریبی ۰/۵ g بر روی هم قرار گرفته بودند (تا پس از سرد شدن دستگاه، گیره نمونه‌ها را رها نکند) انجام گرفت. نیروی ثابت (غیر دینامیک) اولیه ۵ گرمی، که در محدوده

خطی الاستیک نمونه‌ها قرار دارد اعمال شد و E' و E" و Tg(از پیک منحنی E") نمونه‌ها بدست آمد.

ضریب شکست مضاعف نمونه‌ها، که در حقیقت بیانگر آرایش یافتگی کلی (آرایش مناطق بلوری و هم مناطق بی شکل) است نیز توسط نوعی میکروسکوپ نور پلاریزه اندازه گیری شد. گرماسنجی تفاضلی(DSC) نمونه‌ها، برای اندازه‌گیری گرمای ذوب نمونه(ΔH_f(J/g)، با نرخ گرمایی آهسته (نرخ افزایش دمای کم) ۱/۲۵ °C/min به منظور افزایش دقت اندازه‌گیری انجام گردید. از ایندیوم استاندارد (Tm=۱۵۶/۶ °C) و قلع استاندارد (Tm=۲۳۱/۸ °C) برای تنظیم (کالیبره کردن) دستگاه، و از روغن سیلیکون برای ایجاد تماس حرارتی بهتر همراه با قطعه قطعه کردن نمونه‌ها با طول ۰/۵ mm استفاده گردید و درصد بلورینگی الیاف از رابطه (بلورینگی٪=($\Delta H_f/\Delta H^0$)×۱۰۰ بدست آمد؛ که ΔH^0 گرمای ذوب نمونه ۱۰۰٪ بلورین(۱۴۶/۵ J/g) فرض گردید) می‌باشد.

نتایج

قسمت اول- Sp ثابت-

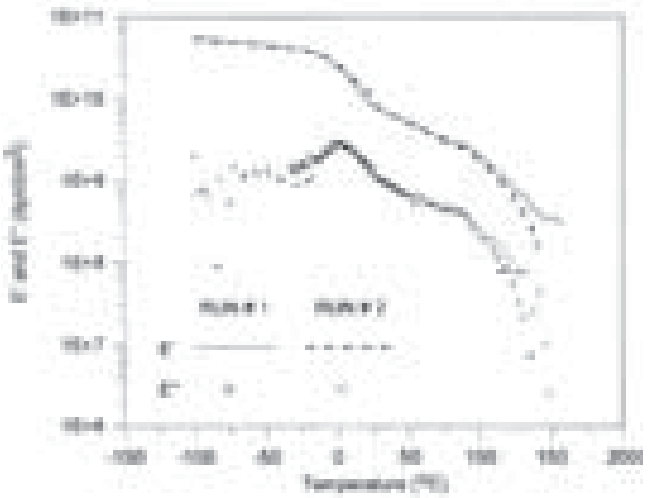
این الیاف که در نرخ روزنرانی ثابت (۱/۳۵ g/min) و سرعت برداشت ثابت (۸۴۰ m/min) و تغییر دادن دبی نیتروژن ورودی برای تولید الیاف توخالی در سه h مختلف (۰، ۳۰/۲، و ۵۳/۳) بدست آمده بودند، آزمایشات مورد نظر بر روی آنها انجام گرفت که نتایج حاصله در جدول ۱ و شکلهای ۱ و ۲ ملاحظه می‌شود.

جدول ۱ – خواص الیاف با Sp یکسان

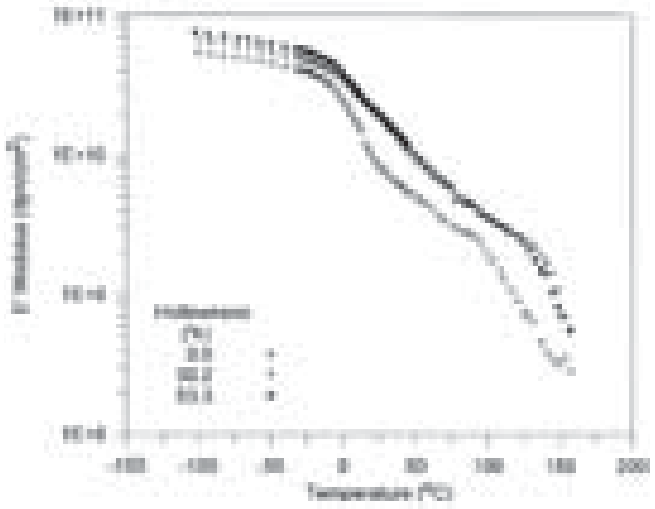
توخالی بودن (٪)	ضریب شکست مضاعف	T_g• (°C)	T_m•• (°C)	بلورینگی•• (٪)
۰	۰/۰۰۳۷۲	-۰/۳	۱۶۱	۳۹/۶
۳۰/۲	۰/۰۰۵۸۷	۰/۸	۱۶۴	۵۰/۳
۵۳/۳	۰/۰۰۷۳۸	۱/۱	۱۶۴	۵۰/۲

• از DMA بدست آمد

•• از DSC بدست آمد



شکل ۱- مدول حقیقی (مدول انباشته) E' به عنوان تابعی از دما برای الیاف با Sp یکسان و h متفاوت.



شکل ۲- مدول مجازی (مدول کاهیده شده) E" به عنوان تابعی از دما برای الیاف با Sp یکسان و h متفاوت

نتایج نشان داد که در Sp ثابت، با افزایش میزان توخالی بودن لیف، E' و E" و ضریب شکست مضاعف الیاف افزایش می‌یابد؛ که این افزایش آرایش یافتگی الیاف به این علت است که در Sp ثابت، الیاف توخالی قطر بیرونی بیشتری دارند که موجب افزایش انتقال حرارت با محیط، در ناحیه سرد نمودن مذاب و در نتیجه سرد شدن سریعتر (Ls کوتاهتر) الیاف توخالی می‌گردد و این سرد شدن سریع‌تر منجر به آرایش زنجیری بیشتر می‌گردد. Tg نیز که در دیگر نتایج این تحقیق (بخش Sf ثابت)، وابستگی‌های پیچیده و گاها متضادی را با بلورینگی و آرایش یافتگی نشان می‌داد، در این قسمت چندان تغییری نکرد (در کل کمتر از ۲ °C تغییر داشت).

با توجه به دیگر گزارشات این مقاله، ملاحظه شد که این آرایش یافتگی کلی است که عمدتا بر مدولهای دینامیکی تاثیر گذار است، و وقتی که آرایش یافتگی کلی و افزایش بلورینگی در یک جهت اتفاق بیافتد تاثیر بیشتری می‌تواند بر افزایش مدول دینامیکی بگذارد. ثابت بودن تقریبی بلورینگی بین دو نمونه لیف توخالی فوق را می‌توان از ثابت بودن Tm آنها نیز برداشت نمود؛ یعنی اندازه بلورها در این دو نمونه تقریبا با هم برابر است.

قسمت دوم- Sf ثابت

علی رغم تحقیق خوبی که در بخشهای دیگر این مقاله صورت گرفته است در این بخش از مقاله ایرادی وجود دارد که ما را ناچار به حذف این قسمت می‌کند؛ در ادامه به طور ساده به توضیح این ایراد پرداخته می‌شود.

در این قسمت همانطور که در پاراگراف اول توضیح این بخش در اصل مقاله (ص۱۷۶۸) آمده است، برای تولید الیاف با Sf ثابت (یعنی ثابت نگاه داشتن OD و تغییر دادن ID)، از ترکیبات مختلفی از نرخ روزنرانی پلیمر، سرعت برداشت، و نرخ جریان نیتروژن استفاده شده است، که اعداد مربوط به سرعت غلتک برداشت در جدول III در اصل مقاله قابل مشاهده می‌باشد. یعنی برای تغییر دادن h هم نرخ روزنرانی تغییر کرده و هم سرعت غلتک برداشت. این درحالی است که تمام نتایج مربوط به آرایش یافتگی، E' و غیره الیاف حاصله فقط به تغییر در h ربط داده شده است که اشتباه می‌باشد؛ زیرا نتایج فقط تحت تاثیر h نبوده و در ذوب ریسی، آرایش یافتگی، استحکام، و مدول تحت تاثیر سرعت برداشت و حتی نرخ روزنرانی نیز می‌باشد. یعنی نمی‌توان سه پارامتر موثر بر نتایج را تغییر داد و سپس نتایج را به یکی از پارامترها ربط داد.

قسمت سوم- تاثیر سرعت غلتک برداشت بر خواص مکانیکی الیاف توخالی پلی پروپیلن

الیاف توخالی پلی پروپیلن با نرخ روزنرانی ۲/۳۳ g/min (m_p) و نرخ جریان نیتروژن ۱/۷ ml/min (Q_n)، یعنی با h در حدود ۴۰٪، در سرعتهای برداشت ۴۶۰ تا ۱۸۸۰ m/min ریسیده شد. h به صورت زیر بدست می‌آید؛

$$Q_p=m_p/\rho_p$$

$$h=(ID/OD)^2=Q_p/(Q_p+Q_n)$$

که p_ρ چگالی پلیمر می‌باشد.

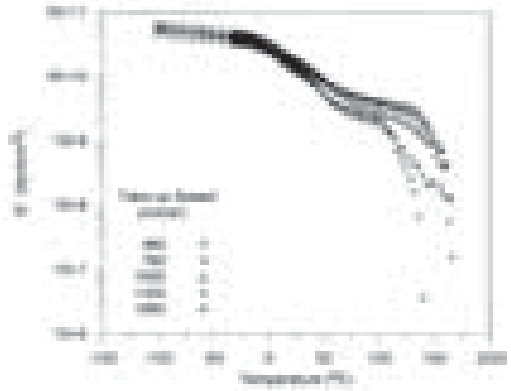
نتایج بدست آمده در جدول شماره ۲ و شکلهای ۳ تا ۶ آورده شده است.

جدول ۲- خواص الیاف توخالی در سرعتهای ریسندگی متفاوت

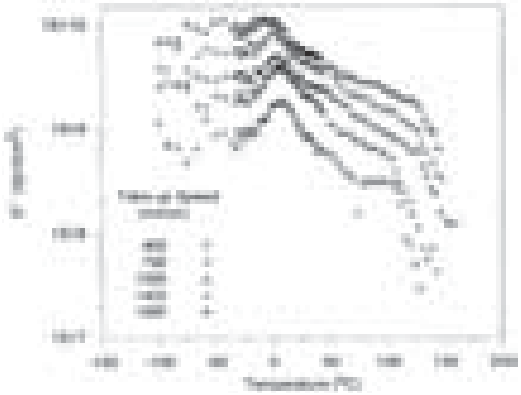
سرعت برداشت (m/min)	ضریب شکست مضاعف	T_g• (°C)	T_m•• (°C)	••بلورینگی (٪)
۴۶۰	۰/۰۰۵۶۳	۵/۰	۱۶۲/۶	۲۶/۴
۷۹۰	۰/۰۰۷۷۰	۵/۰	۱۶۲/۶	۳۶/۲
۱۰۹۰	۰/۰۱۰۰۰	۲/۲	۱۶۳/۸	۵۹/۸
۱۴۰۰	۰/۰۱۲۳۰	۰/۵	۱۶۳/۵	۵۰/۳
۱۸۸۰	۰/۰۱۴۴۰	-۱۰/۰	۱۶۳/۱	۳۷/۱

• از DMA بدست آمد

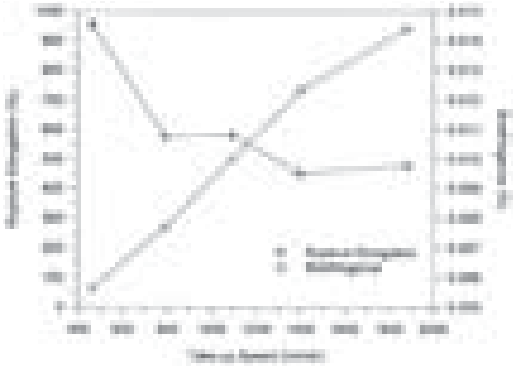
•• از DSC بدست آمد



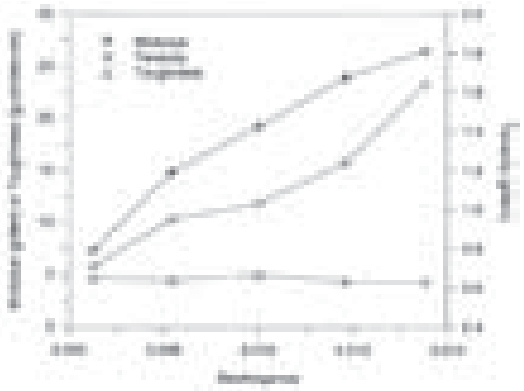
شکل ۳- مدول حقیقی (مدول انباشته) E' به عنوان تابعی از دما برای الیاف با h یکسان و سرعتهای ریسندگی متفاوت



شکل ۴- مدول مجازی (مدول کاهیده شده) E" به عنوان تابعی از دما برای الیاف با h یکسان و سرعتهای ریسندگی متفاوت



شکل ۵- تاثیر سرعت ریسندگی بر ازدیاد طول تا پارگی و ضریب شکست مضاعف الیاف توخالی



شکل۶- تاثیر سرعت ریسندگی بر مدول، چغرمگی و استحکام الیاف توخالی

همانطور که نتایج این قسمت نشان می‌دهد، افزایش سرعت غلتک برداشت باعث افزایش ضریب شکست مضاعف (آرایش یافتگی کلی) و درنتیجه افزایش E' و E"، افزایش استحکام و مدول، و کاهش ازدیاد طول تا حد پارگی می‌گردد؛ اما بر چغرمگی تاثیر قابل توجهی ندارد.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از آزمون‌های کشش، DMA، ضریب شکست مضاعف و DSC برای الیاف توخالی پلی پروپیلن ایزوتاکتیک ذوب ریسی شده با میزان توخالی بودن متفاوت؛ ملاحظه شد که الیاف توخالی نسبت به الیاف معمولی از بلورینگی، آرایش یافتگی و استحکام بیشتری برخوردارند و این افزایش بلورینگی، آرایش یافتگی و استحکام با افزایش میزان توخالی بودن افزایش می‌یابد. آرایش یافتگی الیاف توخالی حتی نسبت به الیاف توپری که با سرعتهای خیلی بیشتری هم ریسیده شده باشند بیشتر بود. همچنین در h ثابت، افزایش سرعت ریسندگی، مدول و استحکام را افزایش می‌دهد.

پی نوشت:

* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی‌نساجی و علوم الیاف، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

ماخذ:

DeRovere, A., Grady B.P., Shambaugh R.L., "The influence of processing parameters on the properties of melt spun polypropylene hollow fibers", Journal of applied polymer science, Vol. 83, 2002, pp. 1759-1772.