

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

بررسی تأثیرات توام دمای ریسندگی و شرایط سرمادهی بر خواص فیزیکی و حرارتی نخ نوریس پلی پروپیلن

:

:

:

فصل ۱: مروری بر مقالات

۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ ساختار و خواص عمومی الیاف پلی پروپیلن
۶	۳-۱ فرآیند ذوب ریزی
۷	۱-۳-۱ عوامل موثر بر خواص نخ ذوب ریزی شده
۷	۲-۳-۱ آرایش یافتگی در فرآیند ذوب ریزی
۸	۳-۳-۱ بلورینگی در فرآیند ذوب ریزی
۹	۴-۱ دمای ریسندگی و تاثیر آن بر روی خواص نخ ذوب ریزی شده
۱۰	۱-۴-۱ تاثیر دمای ریسندگی بر نسبت کشش بحرانی
۱۲	۲-۴-۱ تاثیر دمای ریسندگی و برخی عوامل ریسندگی بر آرایش یافتگی و بلورینگی الیاف
۱۶	۳-۴-۱ تاثیر دمای ریسندگی بر وزن مولکولی
۱۷	۴-۴-۱ تاثیر دمای ریسندگی بر یکنواختی الیاف
۱۸	۵-۱ سرمادهی و تاثیر آن بر خواص الیاف ذوب ریزی شده
۲۰	۱-۵-۱ دمای کاربردی خنک کننده
۲۲	۲-۵-۱ مکانیزم انتقال حرارت و انجماد الیاف در فرآیند ذوب ریزی
۲۳	۳-۵-۱ اثرات سرعت و دمای هوای خنک کننده بر ساختار و خواص نخ نوریس
۳۰	۴-۵-۱ اثرات سرمادهی روی بلورینگی
۳۰	۵-۵-۱ یکنواختی
۳۱	۶-۱ سرمادهی غیر یکنواخت
۳۳	۱-۶-۱ اثر سرمادهی نایکنواخت روی ساختار

۲-۶-۱ تاثیر سرمادهی نایکنواخت روی خواص مکانیکی ۳۶

فصل ۲: تجربیات

۱-۲ مواد مصرفی ۴۱

۱-۱-۲ گرانول ۴۱

۲-۱-۲ لعاب ریسندهی ۴۱

۲-۲ تهیه نمونه ۴۱

۳-۲ کاربرد روش RSM در طراحی آزمایشات ۴۲

۱-۳-۲ تهیه نمونه‌های نوریس ۴۴

۴-۲ آزمایشات شناسایی ساختار و خواص ۴۸

۱-۴-۲ اندازه‌گیری شاخص جریان مذاب ۴۸

۲-۴-۲ اندازه‌گیری چگالی خطی ۴۸

۳-۴-۲ اندازه‌گیری خواص مکانیکی ۴۹

۴-۴-۲ تعیین جمع‌شدگی ۴۹

۵-۴-۲ تعیین جرم مخصوص (چگالی) ۵۰

۶-۴-۲ اندازه‌گیری ضریب شکست مضاعف ۵۰

۷-۴-۲ اندازه‌گیری خواص حرارتی ۵۱

فصل ۳: بحث و بررسی

۱-۳ خواص فیلامنت‌های رسیده شده ۵۳

۱-۱-۳ چگالی خطی ۵۴

۲-۱-۳ ضریب شکست مضاعف ۵۶

۳-۱-۳ چگالی (جرم مخصوص) ۵۹

- ۳-۱-۴ خواص مکانیکی ۶۱
- ۳-۱-۵ جمع شدگی ۶۶
- ۳-۱-۶ میزان بلورینگی بوسیله آنالیز حرارتی ۶۸
- ۳-۲ تعیین شرایط بهینه تولید با استفاده از روش رویه پاسخ ۶۹

فصل ۴: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۴-۱ نتیجه‌گیری ۷۳
- ۴-۲ پیشنهادات ۷۴

- منابع و ماخذ ۷۴

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱) ساختار پروپیلن	۴
شکل ۱-۲) فرم‌های پلی پروپیلن A-اناکتیک B-ایزوتاکتیک C-سندیوتاکتیک	۵
شکل ۱-۳) نمای شماتیک ذوب‌ریسی	۶
شکل ۱-۴) نسبت کشش بحرانی بر حسب دمای ریسندگی در ذوب‌ریسی برای مقادیر مختلف DR/D	۱۱
شکل ۱-۵) نسبت کشش بحرانی و دمای ریسندگی در ذوب‌ریسی برای مقادیر مختلف L/D	۱۱
شکل ۱-۶) تغییرات ضریب شکست با دمای مذاب	۱۲
شکل ۱-۷) تغییرات ضریب شکست با ویسکوزیته	۱۳
شکل ۱-۸) تغییرات ضریب شکست با دبی خروجی در دنی‌های ثابت	۱۳
شکل ۱-۹) ضریب شکست با نرخ سرد کردن	۱۴
شکل ۱-۱۰) تغییرات ضریب شکست با دنی‌الیاف	۱۴
شکل ۱-۱۱) تاثیر دمای اکستروژن بر وزن مولکولی اکستروژن شده	۱۷
شکل ۱-۱۲) تاثیر دمای ریسندگی بر نایکنواختی الیاف	۱۸
شکل ۱-۱۳) حساسیت تنش در برابر تغییر سرعت دمای هوای خنک‌کننده	۲۴
شکل ۱-۱۴) تاثیر تغییرات سرعت و دمای خنک‌کننده روی مقدار مکان لازم برای جامد شدن	۲۵
شکل ۱-۱۵) تغییرات سرعت هوای خنک‌کننده با تغییر فاصله از رشته‌ساز	۲۶
شکل ۱-۱۶) تغییرات دمای هوای خنک‌کننده با تغییر فاصله از رشته‌ساز	۲۶
شکل ۱-۱۷) تغییرات در عرض رشته‌ساز در فواصل مختلف از رشته‌ساز	۲۷
شکل ۱-۱۸) ساختارهای پاراکریستالین و منوکلینیک پلی پروپیلن	۲۸
شکل ۱-۱۹) سیستم خنک‌کننده	۳۲

- شکل ۱-۲۰) الگوی WAXS برای الیاف A- کریستالین ۳۴
- شکل ۱-۲۱) الگوی WAXS برای الیاف مزومورفیک ۳۴
- شکل ۱-۲۲) الگوی WAXS برای لیف F_2 ۳۵
- شکل ۱-۲۳) دانسیته اندازه گیری شده ۳۶
- شکل ۱-۲۴) منحنی تنش - کرنش برای الیاف F_1 ۳۷
- شکل ۱-۲۵) منحنی تنش - کرنش برای لیف F_4 ۳۸
- شکل ۳-۱) تغییرات چگالی خطی نمونه های نورس نسبت به دمای ریسندگی ۵۵
- شکل ۳-۲) تغییرات ضریب شکست مضاعف نمونه های نورس نسبت به دمای ریسندگی ۵۷
- شکل ۳-۳) تغییرات چگالی نمونه های نورس نسبت به دمای ریسندگی ۶۰
- شکل ۳-۴) تغییرات استحکام نمونه های نورس نسبت به دمای ریسندگی ۶۵
- شکل ۳-۵) تغییرات ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه های نورس نسبت به دمای ریسندگی ۶۵
- شکل ۳-۶) تغییرات کار تا حد پارگی نمونه های نورس نسبت به دمای ریسندگی ۶۵
- شکل ۳-۷) تغییرات مدول نمونه های نورس نسبت به دمای ریسندگی ۶۶

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱) مدول کششی اندازه گیری شده.....	۳۷
جدول ۱-۲) مشخصات کلی گرانول مورد استفاده	۴۱
جدول ۲-۲) ویژگی های ثابت برای کلیه نمونه ها	۴۵
جدول ۲-۳) تنظیمات قسمت های مختلف دستگاه ذوب ریزی برای نمونه شماره ۱	۴۵
جدول ۲-۴) تنظیمات قسمت های مختلف دستگاه ذوب ریزی برای نمونه های شماره ۲ و ۳	۴۶
جدول ۲-۵) تنظیمات قسمت های مختلف دستگاه ذوب ریزی برای نمونه های شماره ۱۲- ۴	۴۶
جدول ۲-۶) تنظیمات قسمت های مختلف دستگاه ذوب ریزی برای نمونه های شماره ۱۳ و ۱۴	۴۷
جدول ۲-۷) تنظیمات قسمت های مختلف دستگاه ذوب ریزی برای نمونه شماره ۱۵	۴۷
جدول ۲-۸) مشخصات نمونه های تولید شده	۴۳
جدول ۳-۱) مقادیر مختلف چگالی خطی نمونه های تهیه شده در شرایط مختلف دمای ریسندگی و سرمادهی ...	۵۵
جدول ۳-۲) مقادیر ضریب شکست مضاعف و فاکتور آرایش یافتگی نمونه های تهیه شده	۵۷
جدول ۳-۳) خواص مکانیکی نمونه های تهیه شده در شرایط مختلف دمای ریسندگی و سرمادهی	۶۴
جدول ۳-۴) نتایج آزمایش DSC	۶۸

فصل ۱ : مروری بر مقالات

پلی پروپیلن برای اولین بار در اواسط دهه ۱۹۳۰ پلیمریزه شده، اما محصول نهایی یک جسم جامد با نقطه ذوب پایین بود که هیچ ارزشی به عنوان ماده اولیه برای تولید لیف مصنوعی نداشت. لیاف پلی الفین دارای حداقل ۸۵ درصد نسبت به وزن کل خود اتیلن، پلی پروپیلن و یا الفین دیگر می باشند. پلی پروپیلن و سپس پلی اتیلن با اهمیت کمتر مهمترین لیاف الفینی را تشکیل می دهند. بیش از ۹۰ درصد از لیاف پلی الفینی تولید شده را پلی پروپیلن تشکیل می دهد [۱، ۲].

در فرآیند تولید نخ as-spun هدف اصلی تولید نخ‌ی با استحکام، یکنواختی و آرایش یافتگی بالا و تبلور پایین می باشد، زیرا تولید نخ نوریس مناسب روی فرآیندهای کشش و تکسچرایزینگ موثر می باشد. بررسی مقالات نشان داد که هم دمای ریسندگی و هم شرایط سرمادهی روی خواص لیف تاثیرگذار است. با افزایش دما ویسکوزیته مذاب افزایش یافته و زمان آزاد شدن تنش‌ها کاهش می یابد. افزایش دمای ریسندگی با تغییر نکردن متغیرها موجب آرایش یافتگی کمتر در فیلامنت‌ها می گردد. همچنین با افزایش دما یکنواختی لیاف کاهش می یابد [3].

اهمیت خنک‌سازی در فرآیند ذوب‌ریسی به این دلیل است که در فرآیند ذوب‌ریسی، برای تبدیل رشته مذاب به جامد و تشکیل لیف نیاز به از دست دادن گرما و انتقال حرارت به محیط می باشد. برای پایدار بودن خط ریسندگی رشته مذاب در یک فاصله محدود که ناحیه خنک‌کننده نام دارد به حالت جامد تبدیل می شود که خصوصیات لیف تا حد زیادی بستگی به خصوصیات این ناحیه دارد. سرعت و دمای هوای خنک‌کننده به طور نسبی روی تنش ریسندگی موثرند [۱۵].

در واقع وقتی هوای خنک‌کننده به درون دسته لیف نفوذ می کند، تغییرات شدیدی در شرایط هوای اصلی و اولیه صورت می گیرد [۱۷].

همچنین سرعت خنک کردن لیاف هم باعث تغییر در ساختار لیاف می شود، که با توجه به سریع و آهسته سرد شدن ساختار پاراکریستالین یا منوکلینیک بوجود می آید [۲].

سرعت از دست دادن حرارت در خنک شدن روی بلورینگی اثر مهمی دارد. دمای هوای خنک‌کننده هم روی بلورینگی موثر می‌باشد. همچنین سرعت هوای خنک‌کننده روی بکنواختی الیاف تاثیرگذار است [۲۱].

در این پروژه سعی بر آن است که ریسندگی پلی‌پروپیلن در شرایط توام دمای ریسندگی و سرمادهی مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به تحقیقات قبلی انجام شده محدوده دمای ریسندگی $^{\circ}\text{C}$ (۲۶۰-۲۳۵)، دمای هوای خنک‌کننده $^{\circ}\text{C}$ (۱۸-۲۴) و فشار هوای خنک‌کننده N/m^2 (۹۰-۱۴۰) انتخاب گردید. برای طراحی آزمایشات از روش RSM (رویه پاسخ) استفاده شده است که بر اساس محدوده‌های مشخص شده برای دمای ریسندگی، دما و فشار هوای خنک‌کننده نمونه‌هایی را برای تولید انتخاب و طراحی می‌کند و بر اساس نتایج بدست آمده محدوده شرایط تولید بهینه را معین می‌کند.

ساختار و خواص عمومی الیاف پلی‌پروپیلن

پلی‌پروپیلن در گروه هیدروکربن‌های پارافینی قرار دارد، به همین علت نسبت به آب تمایل بسیار کمی دارد، از این رو رطوبت بازیافتی پلی‌پروپیلن در مقایسه با دیگر الیاف طبیعی و مصنوعی بسیار کم است [۲].

چگالی الیاف پلی‌پروپیلن تجاری در محدوده $0.91-0.9 \text{ g/cm}^3$ می‌باشد و در مورد الیاف با تبلور بالا $0.94-0.9 \text{ g/cm}^3$ است. که این مساله باعث بالا رفتن قدرت پوشانندگی الیاف پلی‌پروپیلن در مقایسه با دیگر الیاف نساجی می‌شود [۴].

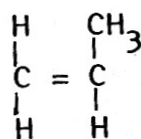
الیاف پلی‌پروپیلن به صورت فیلامنت های رنگی یا خودرنگ تولید می‌شوند که دارای سطح صاف و ظاهر مومی شکل می‌باشند. لازم به ذکر است که سطح مقطع الیاف غالباً مدور می‌باشد [۴].

مقاومت پلی‌پروپیلن در برابر اسیدها و بازهای سرد عالی می‌باشد. برخی مواد اکسیدکننده قوی توانایی تخریب پلی‌پروپیلن را دارند، که هالوژن‌ها، هیدروپراکسیدها، اسیدنیتریک و اسیدسولفوریک غلیظ از

جمله آنها می‌باشند. همچنین الیاف پلی‌پروپیلن دارای کمترین هدایت گرمایی نسبت به سایر الیاف نساجی می‌باشند. پرتو ماورابنفش با ایجاد گروههای هیدروکسید باعث بی‌رنگ شدن و کاهش وزن مولکولی و خواص مکانیکی محصول می‌گردد. حلال‌های آلی بر الیاف پلی‌پروپیلن اثر نامطلوب می‌گذارند و اغلب هیدروکربن‌های هالوژنه آلیفاتیک و آروماتیک موجب متورم و تجزیه پلی‌پروپیلن در دمای بالا می‌شوند. همچنین الیاف پلی‌پروپیلن در برابر قارچها و باکتریها مقاوم هستند [۳، ۵].

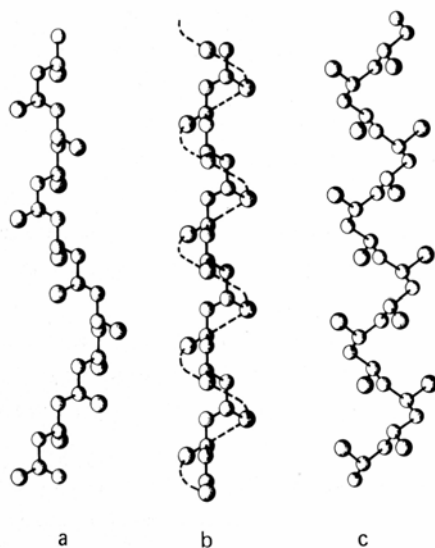
یکی از خواص مهم الیاف پلی‌پروپیلن تنش در نقطه پارگی بالا و ازدیاد طول در نقطه پارگی نسبتا بالای آن است، که منجر به کار تا حد پارگی زیاد آن می‌گردد. برای کاربردهای نساجی تنش در پارگی معمولا بین 26 cN/Tex تا 44 cN/Tex می‌باشد [۴].

موارد مصرف الیاف پلی‌پروپیلن. در کفپوش‌ها نظیر فرش ماشینی و موکت، در زمینه های عمرانی، در صنعت خودروسازی، منسوجات بی‌بافت و تولید پوشاک با نخ‌های ظریف پلی‌پروپیلن می‌باشد. پروپیلن واحد ساختمانی تشکیل‌دهنده پلی‌پروپیلن می‌باشد. شکل (۱-۱) ساختمان شیمیایی پروپیلن را نشان می‌دهد که پس از پلیمریزاسیون واحدهای پلیمری می‌تواند ترکیب‌های مختلف فضایی داشته باشد [۳].



شکل ۱-۱) ساختار پروپیلن [۳]

واحدهای ساختمانی می‌توانند به صورت خطی اما با شکل فضایی تصادفی یا به صورت منظم به یکدیگر متصل شوند. که با توجه به این مساله پلی‌پروپیلن سه حالت ساختمانی متفاوت می‌تواند داشته باشد که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است .



شکل ۱- 2) فرم‌های پلی‌پروپیلن a-اتاکتیک - b-ایزوتاکتیک - c-سندیوتاکتیک [۳]

در زیر به اختصار در مورد این سه حالت توضیح داده شده است :

۱. شکل فضایی پلی‌پروپیلن ایزوتاکتیک که تمام گروه‌های متیل در یک طرف زنجیره کربنی قرار دارند.

۲. پلی‌پروپیلن سیندیوتاکتیک که گروه‌های متیل بصورت یک در میان در محل معکوس نسبت به یکدیگر در زنجیره اصلی کربنی قرار می‌گیرند.

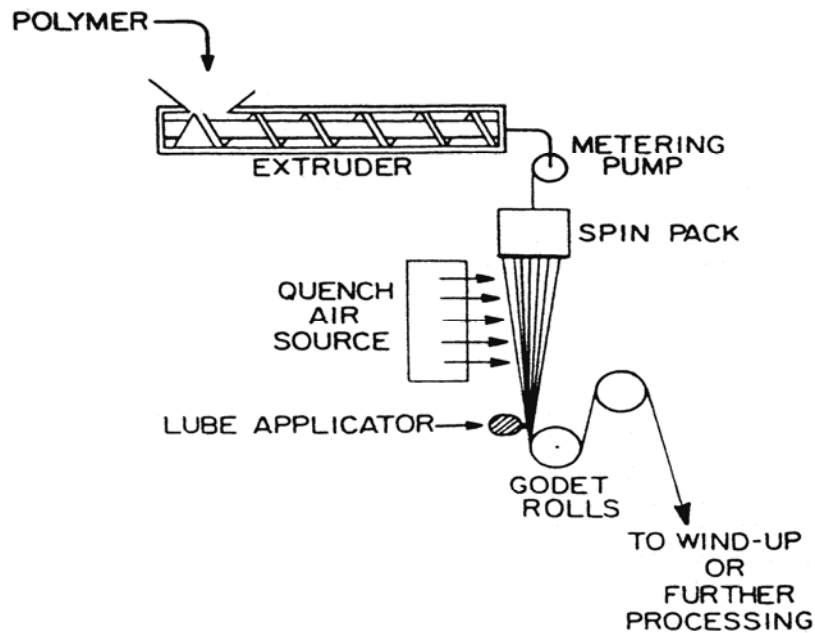
۳. پلی‌پروپیلن اتاکتیک که گروه‌های متیل بصورت اتفاقی در دو طرف زنجیره اصلی کربنی قرار می‌گیرند.

از بین این سه نوع پلی‌پروپیلن ایزوتاکتیک خواص مناسب جهت تشکیل لیف را دارد [۳].

فرآیند ذوب‌ریسی

تولید الیاف در فرآیند ذوب‌ریسی شامل آماده‌سازی سیال ریسندگی توسط ذوب نمودن آن، اکستروژن مذاب از رشته‌ساز به داخل اتاقک خنک‌کننده و پیچش فیلامنت‌های تولیدی بر روی بوبین می‌باشد. سپس فیلامنت‌ها تحت فرآیندهای مکانیکی و حرارتی قرار می‌گیرند [۶،۷].

شکل (۱-۳) نمای شماتیک دستگاه ذوب‌ریسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳) نمای شماتیک ذوب‌ریسی [۸]

در این روش پلیمر به صورت گرانول از طریق تغذیه‌کننده وارد ماریچی ذوب‌کننده شده و بر اثر گرمایش توسط ماریچی ذوب می‌گردد. پلیمر مذاب سپس به کمک تغذیه از طریق فیلتر به رشته‌ساز تغذیه شده و پس از خروج از روزنه‌های رشته‌ساز تحت تاثیر نیروی کششی قرار می‌گیرد و با از دست دادن گرما به محیط اطراف جامد شده و سرانجام پیچیده می‌شود، یا آنکه به صورت مداوم به بخشی دیگر از خط تولید نهایی تغذیه می‌گردد. به علت اینکه پلی‌پروپیلن دارای گرمای ویژه بالا و ضریب هدایت

گرمایی کم می‌باشد، بنابراین طول ناحیه خنک‌کننده بعد از رشته‌ساز نسبت به الیاف دیگر طویل‌تر انتخاب شود. سرعت‌های تولید بالاتر به ناحیه خنک‌کننده طویل‌تر نیاز دارند [۲].

عوامل موثر بر خواص نخ ذوب‌ریسی شده را می‌توان با توجه به متغیرهای مختلف فرآیند طبقه‌بندی کرد. سه گروه از این متغیرها به صورت زیر هستند:

۱. متغیرهای اولیه: مانند خصوصیات مواد اولیه، شرایط اکستروژن و غیره
 ۲. متغیرهای ثانویه: مانند سرعت اکستروژن، نسبت کشش ریسندگی و غیره
 ۳. متغیرهای منتج: مانند کشش برداشت، ساختمان فیلامنت‌های ریسیده شده [۶].
- عوامل فیزیکی موثر در ذوب‌ریسی رفتار توده مذاب از نظر رئولوژیکی، کاهش قطر جریان در روزنه رشته‌ساز، سرمایش جریان، تبلور و تشکیل ساختار لیف می‌باشد.

آرایش یافتگی در فرآیند ذوب‌ریسی

آرایش‌یافتگی از قرارگرفتن زنجیره‌های مولکولی به صورت موازی در امتداد محور الیاف چه در حالت بلوری و چه در حالت غیر بلوری ناشی می‌شود. با توجه به نوع پلیمر که می‌تواند دارای سرعت پلیمریزاسیون بالا یا پایین باشد، آرایش‌یافتگی در نواحی آمورف، یا بلورین و آمورف صورت می‌گیرد. عواملی که روی آرایش‌یافتگی اثر می‌گذارند عبارتند از: گرادیان سرعت، توزیع زمان استراحت جریان و زمانی که پلیمر در خط ریسندگی قرار دارد. آرایش‌یافتگی با افزایش ضریب هدایت گرمایی فیلامنت افزایش می‌یابد [۶].

در مورد الیاف پلی پروپیلن تولید شده با کاتالیزورهای متالوسن^۱ ضریب شکست مضاعف در سرعت های بالای ریسندگی افزایش می یابد [۹].

پلی پروپیلن سندیوتاکتیک، در فرآیند ذوب ریزی رفتار کریستالیزاسیون متفاوتی با اکثر پلیمرها دارد. تنش های غیر ایزوتروپیک در این فرآیند، اساسا منجر به توسعه زنجیره ها در حالت مذاب شده، که افزایش افزایش چشمگیری در نرخ کریستالیزاسیون اتفاق می افتد [۱۰].

Nicolas اشاره کرده که افزایش اندوثرم های ذوب می تواند به صورت یک اندازه گیری غیر مستقیم آرایش یافتگی استفاده شود [۱۱].

بلورینگی در فرآیند ذوب ریزی

بلورینگی هم نقش مهمی در ذوب ریزی دارد. بلورینگی غیرهمدما و آرایش یافته به شرایط ریسندگی بسیار حساس می باشد. زمانیکه ریسندگی در بالای دمای ذوب انجام گیرد، در حین خنک شدن فیلامنت ها عمل بلوری شدن انجام می گیرد. بلورینگی برای بیشتر پلیمرهایی که با سرعت زیاد خنک می شوند در حد صفر است. در مورد پلی پروپیلن دارای سرعت بلورینگی زیاد و بنابراین دارای بلورینگی زیاد می باشد.

افزایش ضریب هدایت گرمایی اثر کاهشی روی بلورینگی دارد، زیرا در حالت خنک شدن آرام مدت زمان بیشتری برای بلورینگی وجود دارد و با افزایش سرعت خنک کنندگی به علت کم شدن مدت زمان لازم بلورینگی کاهش می یابد [۶].

برای اندازه گیری درصد تبلور از روش DSC هم استفاده می شود. مشکل اصلی در همه اندازه گیری های DSC، ذوب پلیمر نمونه در اثر گرما در نقطه ذوب و اختلاف آنتالپی کریستالیزاسیون و ذوب، ظرفیت حرارتی و درجه کریستالیتی بوسیله دما می باشد [۱۲].

¹ Metallocene

دمای ریسندگی و تاثیر آن بر روی خواص نخ ذوب‌ریسی شده

دما تاثیر مهمی بر خواص رئولوژیکی مذاب پلیمری دارد. در حالت معمولی با افزایش دما ویسکوزیته مذاب کاهش می‌یابد و زمان آزاد شدن تنش‌ها کاهش می‌یابد. مهم‌ترین رابطه بین دمای جریان و ویسکوزیته رابطه آرنیوس می‌باشد [۳].

$$\eta = Ae^{-\varepsilon/RT} \quad (1-1)$$

R: ثابت گازها، ε : انرژی فعال‌سازی جریان و A: ضریب ثابتی است که به طبیعت جریان بستگی دارد. در حالاتی که نرخ برش خیلی پایین است، اکثر جریان‌های غیرنیوتنی، رفتار سیالات نیوتنی را نشان می‌دهند، که در این مورد می‌توان رفتار سیال را بوسیله یک ثابت به نام ویسکوزیته حدی η ، مشخص کرد، که در نرخ‌های برش کم ارتباط بین ویسکوزیته مذاب و دما رابطه زیر می‌باشد:

$$\eta_0 = Ae^{-\varepsilon/RT} \quad (2-1)$$

ویسکوزیته سیالات غیرنیوتنی η به همان اندازه که تابعی از دما است تابعی از مقدار برش می‌باشد. بنابراین وقتی تغییرات ویسکوزیته با دما مورد بررسی قرار می‌گیرد، این مساله که تغییرات در نرخ برشی ثابت است یا تنش برشی ثابت ضروری می‌باشد.

برای سیال سئودوپلاستیک:

$$(\delta\eta/\delta T)_\delta > (\delta\eta/\delta T)_V \quad (3-1)$$

اگر فرض کنیم که وابستگی دما و ویسکوزیته تبعیت می‌کند داریم:

$$\eta_a = Ae^{ES/RT} \quad (4-1)$$

یا

$$\eta_a = Ae^{E\gamma/RT} \quad (5-1)$$

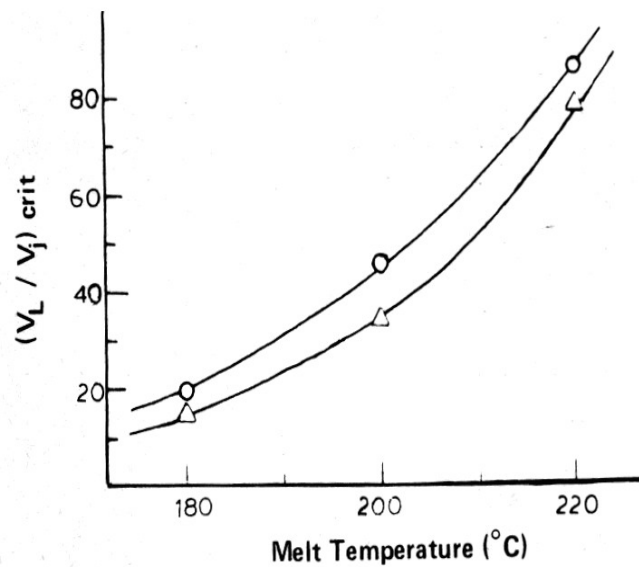
معادله اول وقتی تنش برشی ثابت باشد، استفاده می‌شود و معادله دوم در نرخ برش ثابت است. حساس بودن تغییر ویسکوزیته با دما برای پلیمرهای با وزن مولکولی کمتر نسبت به پلیمرهای با وزن مولکولی بیشتر، کمتر است. در این راستا همانند تغییر ویسکوزیته برش، ویسکوزیته کشش هم به مقدار زیادی به دما بستگی دارد [۳].

تأثیر دمای ریسندگی بر نسبت کشش بحرانی

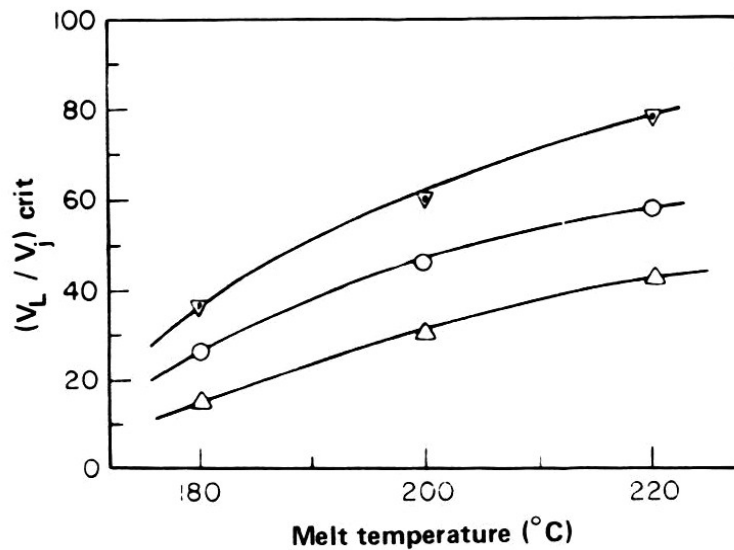
نسبت کشش بحرانی با $(V_L/V_J)_{crit}$ نشان داده می‌شود، که V_J در اینجا سرعت فیلامنت در محلی است که بیشترین تورم روزنه اتفاق می‌افتد که طبق روابط محاسباتی و معادلات بالانس جرمی می‌توان از رابطه زیر بدست آورد [۳].

$$V_J = V_0 (D/d_J)^2 \quad (6-1)$$

که V_0 سرعت متوسط در سوراخ‌های ریسنده است. d_J قطر فیلامنت نزدیک ریسنده است و D قطر سوراخ‌های ریسنده است.



شکل ۱-۴) نسبت کشش بحرانی بر حسب دمای ریسندهی در ذوب‌ریسی برای مقادیر مختلف DR/D [۳]



شکل ۱-۵) نسبت کشش بحرانی و دمای ریسندهی در ذوب‌ریسی برای مقادیر مختلف L/D [۳]

با توجه به شکل‌های (۱-۴) و (۱-۵) به مسئله مهم می‌توان رسید:

۱. در مقادیر ثابت نسبت L/D، نسبت کشش بحرانی با افزایش دمای ریسندهی افزایش می‌یابد.
۲. در دمای ریسندهی ثابت، نسبت کشش بحرانی در L/D های بیشتر، بیشتر است.

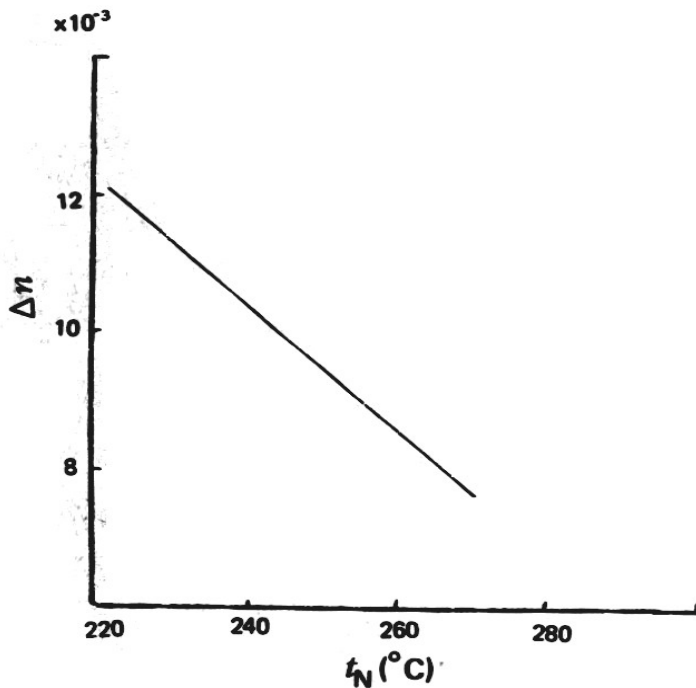
۳. در دمای ریسندگی ثابت و L/D ثابت، نسبت کشش بحرانی در DR/D های کمتری بیشتر است

[۳].

تأثیر دمای ریسندگی و برخی عوامل ریسندگی بر آرایش یافتگی و بلورینگی الیاف

تغییرات آرایش یافتگی الیاف با تغییرات برخی عوامل ریسندگی در شکل های (۶-۱)، (۷-۱)، (۸-۱)،

(۹-۱) و (۱۰-۱) نشان داده شده است [۳].



شکل ۱-۶) تغییرات ضریب شکست با دمای مذاب [۳]