



# مطالعه در مورد روغن ریسندگی کامپوزیتی برای فیلامنت پیوسته حجیم شده پلی استر با کارایی بالا

ترجمه: مهندس امیر هلالی، مهندس سید شاهد سجادی / شرکت کاوان شیمی سورن\*

پیشگفتار مترجم :

در جهان معاصر، شتاب روزافزون پیشرفت‌های علمی و فناوریانه امری انکارناپذیر است؛ با این حال، پیاده‌سازی مؤثر و بهره‌برداری هدفمند از این دستاوردها، به‌ویژه در صنایع، مستلزم نگاهی دقیق‌تر و رویکردی سنجیده‌تر است. در حوزه‌های صنعتی، کاربست فناوری‌های نوین بدون ملاحظات فنی و تطبیق با زیرساخت‌های موجود، نه تنها منجر به بهینه‌سازی فرآیند تولید نمی‌شود، بلکه می‌تواند بهره‌وری را نیز تحت‌الشعاع قرار دهد؛ چرا که روند رشد و توسعه علوم، همواره به‌صورت یکنواخت و همزمان در تمامی حوزه‌ها رخ نمی‌دهد.

برای نمونه، ممکن است شرکتی اقدام به تأمین و نصب ماشین‌آلات پیشرفته در زمینه تولید نخ‌های مصنوعی نماید؛ لیکن این پرسش مطرح است که آیا روان‌سازهای ریسندگی یا اسپین فینیش‌های متناسب با این تجهیزات، به‌صورت واقعی و پایدار در بازار داخلی موجود است؟ آیا پلیمرهای مصرفی در دسترس، با استانداردهای عملکردی تعریف‌شده توسط سازنده دستگاه‌ها هم‌راستا هستند؟ از سوی دیگر، می‌توان این موضوع را از منظر معکوس نیز مورد ارزیابی قرار داد: آیا فرمولاسیون‌های نوین اسپین فینیش، که متکی بر مواد اولیه با عملکرد بالا هستند، برای به‌کارگیری در ماشین‌آلات قدیمی یا با فناوری منسوخ مناسب خواهند بود؟ و در صورت وجود، آیا از نظر اقتصادی برای تولیدکننده توجیه‌پذیر هستند؟

بی‌تردید، پاسخ به این دست از پرسش‌ها نقشی تعیین‌کننده در کیفیت محصول نهایی و راندمان تولید دارد. تحقق اهداف اقتصادی یک واحد تولیدی وابسته به اتخاذ تصمیم‌های فنی-تجاری صحیح و مبتنی بر واقعیات فرآیندی است. در مقاله پیش‌رو، به‌صورت عملیاتی نشان داده شده است که تطابق فرمولاسیون اسپین فینیش با نوع ماشین‌آلات، ویژگی‌های پلیمر مصرفی و ساختار فرآیند تولید، چه تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر نتیجه نهایی خواهد داشت. تمرکز صرف بر فعالیت‌های بازاریابی و توسعه بازار، بدون توجه به الزامات فنی، نمی‌تواند به‌تنهایی پاسخگوی نیازهای کیفی و عملکردی صنعت باشد. بر این اساس، به تولیدکنندگان الیاف مصنوعی توصیه می‌گردد در انتخاب شرکای تجاری خود جهت تأمین اسپین فینیش و روان‌سازهای ریسندگی، با در نظر گرفتن کلیه مؤلفه‌های فنی، اقتصادی و عملیاتی، تصمیم‌گیری نمایند تا از بروز مشکلات احتمالی در مسیر تولید جلوگیری شود.

دهد، کشش یکنواخت را بهبود بخشد، نرخ پارگی

فیلامنت‌ها را کاهش دهد و قابلیت ریسندگی را افزایش دهد.

در مقایسه با روش معمول ایر تکسچره، فرآیند تولید فیلامنت پیوسته حجیم شده BCF دارای دمای اکسترودر ذوب بالاتر و سرعت ریسندگی بیشتری است. فرآیندهای کشش، تکسچره و درهم تنیدگی در یک مرحله انجام می‌شوند که نیازمند روغن ریسندگی با کیفیت بالا است.

برای فیلامنت پیوسته حجیم شده پلی استر اصلاح شده PET BCF، به دلیل ساختار پیچیده و دمای تغییر شکل کششی بالا، باید از روغن ریسندگی ویژه برای پاسخگویی به نیازهای تولید

## مقدمه

الیاف مصنوعی به طور گسترده در فرش استفاده می‌شوند، اگرچه به دلیل عدم وجود چربی و موم طبیعی، دارای معایبی مانند جذب رطوبت ضعیف و پدیده الکتریسیته ساکن شدید هستند.

روغن ریسندگی یکی از مواد کمکی کلیدی در فرآیند تولید الیاف مصنوعی است و عملکرد آن تأثیر قابل توجهی بر کیفیت الیاف و فرآیندهای بعدی دارد. به طور خاص، روغن ریسندگی می‌تواند انعطاف‌پذیری الیاف را به طور مؤثر بهبود بخشد. علاوه بر این، یک لایه روغن روی سطح الیاف تشکیل می‌شود که می‌تواند ضریب اصطکاک الیاف را کاهش دهد، پیوستگی الیاف را افزایش

## چکیده

روغن ریسندگی ویژه برای فیلامنت پیوسته حجیم شده، پلی استر اصلاح شده با استفاده از فناوری ترکیبی تهیه شد. مخلوطی از عامل نرم‌کننده، امولسیفایر، عامل جمع‌کننده و عامل ضد استاتیک در نسبت‌های مشخص، اثر هم‌افزایی نشان می‌دهد که به طور کلی کارایی روغن ریسندگی را بهبود می‌بخشد. با توجه به کاربرد اجزای مختلف، روغن‌های ریسندگی پلی اکسی‌اتیلن اتر، پلی‌اتر و روغن سفید به ترتیب سنتز شدند. عملکردهای پایه روغن ریسندگی خود ساخته بهتر از روغن ریسندگی موجود در بازار است و نرخ تولید آن می‌تواند به ۹۳ درصد برسد.



مدت ۸ ساعت .

**دمای دود:** با استفاده از دستگاه HLY- III مطابق استاندارد GB/T ۲۰۷۵۹-۲۰۰۶ اندازه‌گیری شد .

**استحکام فیلم روغن:** با استفاده از دستگاه تست اصطکاک چهارگلوله (A) ۱۰-MRS مطابق استاندارد GB/T ۹۸-۱۲۵۸۳ اندازه‌گیری شد و با مقدار فشار در لحظه پارگی فیلم روغن بیان گردید .

#### \* آزمون‌های عملکرد کاربردی

فیلامنت پیوسته حجیم شده پلی‌استر PET BCF دارای استحکام کششی بالا، حجیم‌شدگی، انقباض کم در آب جوش و ازدیاد طول حرارتی بالا است. آزمون‌های عملکرد کاربردی روغن ریسندگی شامل موارد زیر است :

**نخ‌دهی:** مطابق استاندارد GB/T ۱۴۳۴۳

**استحکام پارگی و ازدیاد طول در نقطه پارگی:**

مطابق استاندارد GB/T ۱۴۳۴۴

**ازدیاد طول حرارتی:** مطابق استاندارد T۵۰۰۳۰/

FZ

**انقباض در آب جوش:** مطابق استاندارد ۶۵۰۵

GB/T

**میزان روغن ریسندگی:** مطابق استاندارد T/

۶۵۰۴ GB

#### \* نرخ تولید:

با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد که در آن:

$$\text{نرخ تولید} = \frac{W_f}{W_f + W_w + W_d + W_t} \times 100\%$$

$W_f$ : وزن کل نخ BCF تولید شده

$W_w$ : وزن نخ BCF ضایعاتی

$W_d$ : وزن نخ BCF معیوب

$W_t$ : وزن نخ BCF انتقالی

تجهیزات اصلی تولید، دستگاه ریسندگی BCF

مدل S ۳ ساخت Neumag آلمان با شرایط کاری

سرعت ریسندگی ۲۵۰ متر بر دقیقه و مشخصات

نخ فرش BCF معادل ۱۲۵۰ دسی‌تکس / ۹۰

فیلامنت بود .

#### نتایج و بحث

##### نتایج و بحث در مرحله آزمایشی

**ظاهر:** ظاهر روغن ریسندگی خودساخته در مرحله

آزمایشی در شکل ۱ نشان داده شده است.

افزودنی حاصل از اپوکسید و یک آغازگر منحصر به فرد، پلی‌اکسی‌اتیلن‌استر روغن کرچک .

#### عامل امولسیون‌کننده:

اتوکسیلات الکل عامل جمع‌کننده: مونو اولئات پلی‌اتیلن الکل دو عاملی ۲۶۴ یا مونو اولئات پلی‌اتیلن الکل دو عاملی ۴۲ .

#### عامل ضداسانتیک:

آمونوم استر فسفات آلکیل یا نیترات کواترنری هیدروکسی اتیل دی‌متیل اکتادسیل .

این مواد از کارخانه Jiangsu Haian Petroleum Chemical چین خریداری شدند. روغن ریسندگی شماره ۹ که یک روغن تجاری موجود در بازار است، به‌عنوان نمونه مقایسه استفاده شد .

#### \* روش سنتز روغن ریسندگی

مقادیر مشخصی از عوامل امولسیون‌کننده، جمع‌کننده و ضداسانتیک در یک راکتور مخلوط شدند.

پس از افزایش دما تا ۱۸۰ درجه سانتیگراد، مخلوطی از عوامل امولسیون‌کننده اضافه شد و با سرعت همزده شد تا کاملاً ترکیب شوند. این مواد به مدت ۲ ساعت در دمای ثابت ۱۸۰ درجه سانتیگراد همزده شدند و سپس تا دمای محیط خنک شدند. در نهایت، روغن ریسندگی PET BCF اصلاح شده به‌دست آمد .

#### \* آزمون‌های عملکرد پایه

آزمون‌های عملکرد پایه روغن ریسندگی شامل موارد زیر است :

**ظاهر:** بررسی رنگ، شفافیت، رسوب، ذرات معلق و ناخالصی‌ها .

**پایداری:** مشاهده تغییرات امولسیون روغن ریسندگی با غلظت ۲ درصد در آب به مدت ۷۲ ساعت .

**ویسکوزیته:** مطابق استاندارد GB/T ۲۰۰۸-۱۰۲۴۷ و با استفاده از ویسکوزیتر دوار SNB-۱ اندازه‌گیری شد.

**فراریت:** محاسبه کاهش وزن ۵ گرم نمونه روغن ریسندگی پس از خشک‌شدن در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵ ساعت .

**میزان باقیمانده کک:** محاسبه باقیمانده

حلال‌های یک گرم نمونه روغن ریسندگی پس از خشک شدن در دمای ۲۲۰ درجه سانتیگراد به

استفاده کرد. پیش از این، روغن ریسندگی برای فیلامنت پیوسته حجیم شده پلی‌پروپیلن BCF PP و پلی‌آمید PA BCF گزارش شده است. روغن ریسندگی برای پلی‌استر معمولی در چین به واردات یا شرکت‌های مشترک چین و خارج وابسته است. با این حال، روغن ریسندگی ویژه برای PET BCF اصلاح شده هنوز گزارش نشده است.

در حال حاضر، بیشتر شرکت‌های تولیدکننده PET BCF اصلاح شده از روغن ریسندگی وارداتی پلی‌پروپیلن استفاده می‌کنند. بیشتر شرکت‌های تولیدکننده فیلامنت پیوسته حجیم شده پلی‌استر اصلاح شده PET BCF از روغن ریسندگی گرانقیمت پلی‌پروپیلن PP یا پلی‌آمید PA BCF استفاده می‌کنند. برای کاهش هزینه‌ها، بسیاری از این شرکت‌ها از روغن ریسندگی معمولی PET استفاده می‌کنند اما در هر صورت، مشکلاتی مانند مقاومت حرارتی ضعیف، تعداد زیاد فیلامنت‌های شکسته و پارگی انتها همچنان وجود دارد. بنابراین، توسعه روغن ریسندگی بهبودیافته برای پاسخگویی به نیازهای تولید، امری ضروری است .

در این پژوهش، با استفاده از فناوری ترکیبی، مقادیر مشخصی از عامل نرم‌کننده، امولسیفایر، عامل جمع‌کننده و عامل ضداسانتیک مخلوط شدند که اثر هم‌افزایی آنها منجر به تولید روغن ریسندگی ویژه با کارایی بهتر برای PET BCF اصلاح شده شد. به‌طور خاص، از پلی‌اترها، روغن سفید و پلی‌اکسی‌اتیلن‌اترها به‌عنوان مواد اولیه اصلی برای سنتز سه نوع روغن ریسندگی استفاده شد.

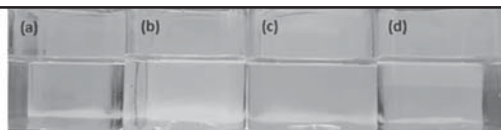
پس از مقایسه عملکرد پایه این روغن‌ها با روغن ریسندگی شماره ۹ که به‌طور گسترده در صنعت استفاده می‌شد، مشخص شد که یکی از روغن‌های سنتز شده عملکردی مشابه یا بهتر دارد. بهترین روغن سنتز شده در مقیاس بزرگ تولید شد و از نظر عملکرد کاربردی با روغن شماره ۳ مقایسه گردید. این نتایج مرجعی نظری برای تحقیقات بیشتر در زمینه روغن ریسندگی فراهم می‌کند .

#### \* مواد و روش‌ها

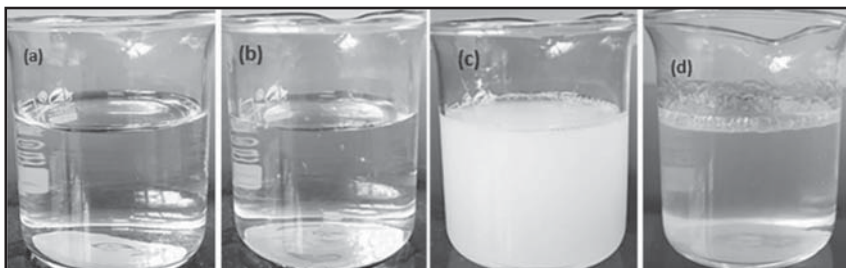
##### مواد

##### عامل نرم‌کننده:

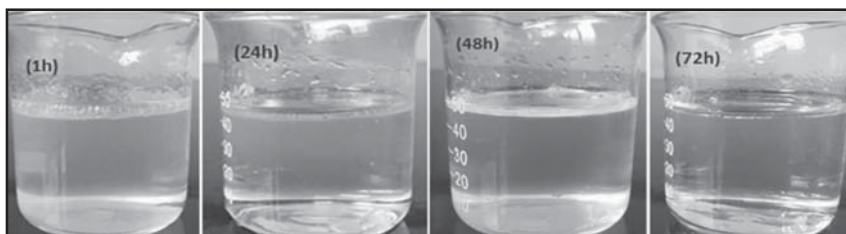
شامل اتوکسیلات‌های الکل ایزومری، کوپلیمر بلوک پلی‌اکسی‌اتیلن-پلی‌اکسی‌پروپیلن، پلیمرهای



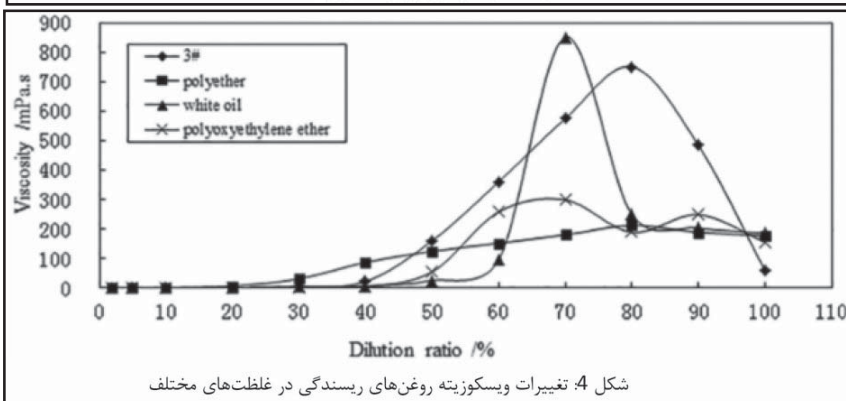
شکل 1: ظاهر روغن ریسندگی پلی اکسی اتیلن اتر (A)، روغن ریسندگی پلی اتر (B)، روغن ریسندگی شماره 3 (C)، و روغن ریسندگی سفید (D).



شکل 2: پایداری امولسیون روغن ریسندگی پلی اکسی اتیلن اتر (A)، پلی اتر (B)، شماره 3 (C)، و روغن سفید (D).



شکل 3: تغییرات امولسیون روغن سفید پس از 24 ساعت



شکل 4: تغییرات ویسکوزیته روغن های ریسندگی در غلظت های مختلف

می شود. برای اطمینان از ریسندگی روان، ضروری است که ویسکوزیته روغن با تغییر غلظت، ثابت بماند. ویسکوزیته چهار نوع روغن ریسندگی در شکل 4 نشان داده شده است. همانطور که در شکل 4 مشاهده می شود، ویسکوزیته روغن پلی اتر به تدریج با تغییر غلظت تغییر می کند، در حالی که ویسکوزیته سایر نمونه ها نوسانات قابل توجهی دارد. این نوسانات به ویژه در محدوده غلظت ۶۰ تا ۹۰ درصد مشهود است. در فرآیند ریسندگی، اگر رطوبت و دمای کارگاه بالا باشد، می تواند باعث تغییر ویسکوزیته روغن های شماره ۳، روغن سفید و پلی اکسی اتیلن اتر شود و در نتیجه منجر به نوسان تنش و تأثیر بر کیفیت الیاف گردد.

امولسیون روغن سفید پس از ۲۴ ساعت به یک مایع شفاف تبدیل می شود، اما یک لایه نازک روغن در بالای امولسیون تشکیل می شود و جدایش واضحی بین روغن و آب رخ می دهد. این نتایج نشان می دهند که سازگاری و امولسیون سازی تأثیر زیادی بر پایداری امولسیون دارند.

#### آزمون ویسکوزیته

در طی فرآیند اصطکاک با سرعت بالا بر روی الیاف، دما و فشار به طور قابل توجهی تغییر می کنند. غلظت روغن ریسندگی بر روی الیاف به دلیل تبخیر آب در دمای بالا افزایش می یابد. اگر ویسکوزیته روغن با تغییر غلظت به طور قابل توجهی تغییر کند، باعث تغییر در فرم اصطکاک و نوسان تنش

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود، روغن ریسندگی پلی اتر یک مایع شفاف و بی رنگ است، در حالی که روغن ریسندگی پلی اکسی اتیلن اتر و روغن شماره ۳ مایعاتی زردرنگ و شفاف هستند. روغن سفید به وضوح لایه بندی شده است، به طوری که لایه بالایی آن زرد کم رنگ و لایه پایینی زرد پررنگ است.

#### آزمون های پایداری

پایداری یکی از شاخص های مهم برای ارزیابی روغن ریسندگی است و عمدتاً به این موضوع اشاره دارد که آیا امولسیون روغن ریسندگی در دمای مشخصی لایه بندی می شود یا خیر.

ناپایداری امولسیون عمدتاً به سه شکل زیر رخ می دهد:

\* لایه بندی: امولسیون به طور کامل از بین نمی رود، اما به دو نوع امولسیون مجزا تقسیم می شود.

\* تغییر فاز: امولسیون از نوع روغن در آب (یا آب در روغن) به امولسیون آب در روغن (یا روغن در آب) تبدیل می شود.

این تغییر زمانی رخ می دهد که حجم فاز داخلی امولسیون از ۴۷ درصد بیشتر شود.

\* تخریب امولسیون: امولسیون به طور کامل از بین می رود که دلایل آن می تواند شامل فرمولاسیون نامناسب، تغییر کیفیت یکی از اجزای روغن ریسندگی، یا ترکیب نادرست امولسیون باشد. با توجه به مراجع، استاندارد جهانی مشخصی برای مدت زمان آزمون پایداری وجود ندارد. در این آزمایش، مدت زمان ۷۲ ساعت برای آزمون پایداری انتخاب شد.

نتایج آزمون پایداری امولسیون ۲ درصد روغن های ریسندگی مختلف در آب در شکل ۲ نشان داده شده است. امولسیون های روغن پلی اتر و پلی اکسی اتیلن اتر مایعاتی شفاف و بی رنگ هستند، در حالی که امولسیون روغن شماره ۳ به رنگ سفید مرواریدی و امولسیون روغن سفید به رنگ خاکستری نیمه شفاف است.

پس از نگهداری چهار نوع روغن ریسندگی در دمای محیط به مدت ۲۱، ۴۲، ۸۴ و ۲۷ ساعت، هیچ تغییری در امولسیون روغن های شماره ۳، پلی اتر و پلی اکسی اتیلن اتر مشاهده نشد، اما امولسیون روغن سفید تغییر کرد.

همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است،



خودساخته<sup>۱</sup> BCFx-۰۱ و BCFx-۰۲ در دو شیف و از روغن شماره ۳ در دو شیف دیگر استفاده شد.

نتایج آزمون عملکرد کاربردی روغن‌های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که تحت شرایط یکسان تجهیزات و فرآیند فنی، میزان روغن ریسندگی در الیاف تولید شده با BCFx-۰۱ و BCFx-۰۲ بیشتر از روغن شماره ۳ است و سایر عملکردهای کاربردی آنها نیز بهبود یافته‌اند.

#### نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روغن‌های ریسندگی خودساخته<sup>۱</sup> BCFx-۰۱ و BCFx-۰۲ از نظر عملکردی مشابه روغن شماره ۳ هستند. نرخ تولید این روغن‌ها به ۹۳ درصد می‌رسد و به‌طور کامل نیازهای عملی تولید الیاف را برآورده می‌کنند.

#### نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه، چندین نوع سورفکتانت به‌عنوان عوامل نرم‌کننده، امولسیون‌کننده، جمع‌کننده و ضد استاتیک برای سنتر روغن‌های ریسندگی پلی‌اتر، پلی‌اکسی‌اتیلن اتر و روغن سفید انتخاب شدند. روغن‌های شماره ۳، پلی‌اتر و پلی‌اکسی‌اتیلن اتر از پایداری خوبی برخوردار بودند. ویسکوزیته روغن پلی‌اتر با تغییر غلظت، تغییرات کمی نشان داد، در حالیکه ویسکوزیته سایر نمونه‌ها نوسانات قابل‌توجهی داشت.

روغن‌های خودساخته مقاومت حرارتی بهتری نسبت به روغن شماره ۳ دارند و مقدار  $P_b$  آنها نیز بالاتر است. این روغن‌ها از قابلیت ریسندگی خوبی برخوردارند و نرخ تولید آنها مشابه روغن شماره ۳ است.

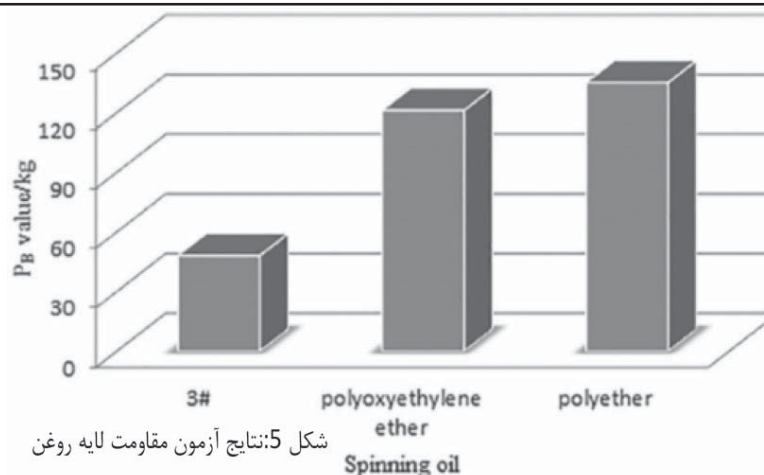
توضیح: BCF مخفف فیلامنت پیوسته حجیم شده است.

#### نویسندگان:

- \*موسسه فیزیک شیمیایی لانژو، آکادمی علوم چین، لانژو، چین
- \*مرکز تحقیقات و توسعه مواد عملکردی ییوو، موسسه فیزیک شیمیایی لانژو، آکادمی علوم چین، ییوو، چین

جدول ۱: نتایج آزمون مقاومت حرارتی

| روغن شماره ۳ | پلی‌اکسی‌اتیلن اتر | روغن سفید | روغن پلی‌اتر | روغن ریسندگی                          |
|--------------|--------------------|-----------|--------------|---------------------------------------|
| 167          | 204                | 180       | 220          | دمای دود                              |
| 23.99        | 13.96              | 15.26     | 20.41        | فراریت (%) (دمای ۲۰۰°C، ۵ ساعت)       |
| 68.23        | 48.04              | 9.27      | 17.34        | باقیمانده کک (%) (دمای ۲۲۴°C، ۸ ساعت) |



شکل ۵: نتایج آزمون مقاومت لایه روغن

کک آنها نیز کمتر است. روغن پلی‌اتر از مقاومت حرارتی بالاتری برخوردار است.

#### آزمون استحکام فیلم روغن

در این آزمایش، استحکام فیلم روغن سه نوع روغن ریسندگی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). مقاومت در برابر سایش می‌تواند ویژگی‌های اصطکاکی روغن ریسندگی را منعکس کند. فیلم روغن روی سطح الیاف نباید تحت تأثیر دمای بالا، نرخ برش زیاد و فشار ثابت از بین برود؛ در غیر این صورت، رفتار اصطکاکی الیاف تغییر کرده و بر قابلیت ریسندگی آنها تأثیر می‌گذارد.

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، مقادیر  $P_b$  برای روغن‌های پلی‌اکسی‌اتیلن اتر و پلی‌اتر بالاتر از روغن شماره ۳ است.

#### نتایج و بحث در مرحله آزمایش میانی

بر اساس نتایج آزمایشگاهی، روغن‌های ریسندگی پلی‌اکسی‌اتیلن اتر و پلی‌اتر برای تولید پایلوت انتخاب شدند. روغن<sup>۱</sup> BCFx-۰۱ نشان‌دهنده روغن پلی‌اکسی‌اتیلن اتر و روغن<sup>۲</sup> BCFx-۰۲ نشان‌دهنده روغن پلی‌اتر است.

عملکرد کاربردی انواع مختلف روغن‌های ریسندگی مورد تحلیل قرار گرفت. از روغن‌های

#### آزمون مقاومت حرارتی

مقاومت حرارتی روغن ریسندگی دو جنبه دارد: \*کمترین میزان تبخیر: روغن ریسندگی روی الیاف باید کمترین میزان تبخیر را داشته باشد، شکل‌پذیری خوبی از خود نشان دهد و پس از کشش روی غلتک‌های داغ، فیلامنت‌های شکسته ایجاد نشود. \*تحمل دمای بالا: در فرآیند کشش از گرمایش تماسی استفاده می‌شود و روغن ریسندگی باید در برابر این دماها مقاوم باشد.

#### آزمون مقاومت حرارتی

نتایج آزمون مقاومت حرارتی در جدول ۱ ارائه شده است. جدول ۱ نتایج آزمون مقاومت حرارتی روغن ریسندگی با سرعت بالا باید در زمان کوتاه کمترین میزان تبخیر و در زمان طولانی‌تر تبخیر بیشتری داشته باشد. بنابراین، دمای دود باید بالای ۱۶۵°C و دمای تجزیه زیر ۲۲۰°C باشد. نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد که دمای دود تمام نمونه‌ها بالای ۱۶۵°C است. دمای دود روغن‌های ریسندگی خودساخته بالاتر از روغن شماره ۹ است و میزان فراریت و باقیمانده