دستگاه اوستر جهت کنترل کیفیت نخ فیلامنتی

ترجمه: مهندس شاهین کاظمی*

مقدمه

بشر هزاران سال است که از الیاف طبیعی جهت تولید منسوجات مختلف استفاده می‌نماید، اما امروزه با افزایش میزان جمعیت مسلماً الیاف طبیعی به تنهایی پاسخگوی نیازهای مختلف نیستند و نیازمند استفاده از الیاف مصنوعی جهت جایگزینی الیاف طبیعی می باشیم. شاید به همین دلیل بتوان اختراع روش تولید الیاف مصنوعی را یکی از مهم‌ترین اختراعات قرن گذشته به حساب آورد.

امروزه افزایش میزان استفاده از نخ‌های فیلامنتی در مقایسه با نخ‌های ریسیده شده سبب گردیده است تا مباحث کنترل کیفیت این نخ‌ها نیز بسیار حائز اهمیت گردد. ارتقای کیفی محصول تولیدی دستگاه‌های مختلف یکی از مواردی است که سازندگان مختلف بر روی آن تمرکز نموده و قدرت خود را با توجه به این معیار به مشتریان ثابت می‌نمایند. علاوه بر آزمایشات رایجی نظیر سنجش استحکام و میزان ازدیاد طول تا حد پارگی، یکی از مهم‌ترین موارد کنترل کیفی در مورد نخ‌های فیلامنتی (POY/FDY) بررسی نایکنواختی‌های وزنی در آنها می باشد. با توجه به اینکه مشکلات ناشی از نایکنواختی وزنی نخ‌های فیلامنتی تاثیرات بسیار قابل توجهی بر روی کیفیت محصول نهایی بافته شده از آنها دارد به همین دلیل تولیدکنندگان مختلف سعی دارند تا در مراحل ابتدایی تولید با بررسی خصوصیات فیلامنت تولیدی حتی الامکان از مشکلات و شکایات مشتریان جلوگیری نموده و فرآیند تولید خود را در حد بهینه نگهدارند.

از دیرباز در مورد نخ‌های ریسیده شده مساله کنترل یکنواختی به دلیل ماهیت فرایند ریسندگی و قرارگیری الیاف استیپل در کنار یکدیگر جهت تبدیل به نخ بسیار مهم و حائز اهمیت بوده است، اما در مورد نخ‌های فیلامنتی با توجه به اینکه ایرادات مربوط به نایکنواختی نخ به راحتی با دید قابل تشخیص نبوده است به همین دلیل این مساله کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

عواملی نظیر همگنی و یکنواختی پلیمر ورودی به خط ذوب ریسی، کنترل دقیق پارامترهای فرآیند تولید مخصوصاً خنک کردن، کشیدن الیاف و پیچیدن نخ از مهم‌ترین موارد تاثیرگذار بر یکنواختی وزنی فیلامنت تولیدی می‌باشند

که با توجه به سرعت بسیار زیاد فرایند تولید (۵۰۰۰ – ۳۰۰۰ متر بر دقیقه) کوچکترین مشکلی در آنها منجر به ایجاد کیلومترها نخ فیلامنتی نایکنواخت می‌شود.

وجود نایکنواختی وزنی در فیلامنت‌های POY می‌تواند مشکلات بسیار زیادی را در فرآیندهای پایین دستی آن نظیر تکسچرایزینگ و کشش ایجاد نماید که در نهایت تاثیر قابل ملاحظه آنها در فرایند رنگرزی به چشم مشتری خواهد آمد.

به همین دلیل امروزه کنترل یکنواختی وزنی نخ‌های فیلامنتی از حالت اختیار به اجبار درآمده است و شرکت‌های بسیار معتبری نظیر اوستر (Uster) دستگاه‌های خاصی را برای این موضوع به بازار عرضه نموده اند.

شرکت اوستر فعالیت خود را از سال ۱۹۲۷ با عرضه ماشین‌آلات مقدمات بافندگی در سوئیس آغاز نمود و در سال ۱۹۴۸ اولین ماشین سنجش میزان نایکنواختی وزنی نخ‌های ریسیده شده پنبه‌ای را به بازار عرضه کرد که آغازگر تحولی در کنترل کیفیت نخ‌های ریسیده بود. متعاقب آن در سال ۱۹۵۵ اولین نسل از دستگاه‌های سنجش میزان نایکنواختی در نخ‌های فیلامنتی نیز توسط این شرکت طراحی و ساخته شد که با پیشرفت‌ها و اصلاحات صورت گرفته بر روی آن از سال ۲۰۰۵ نسل جدیدتر آن با امکانات ویژه در اختیار شرکت‌های ذوب ریسی قرار گرفته است. اصول کلی کار تمام این دستگاه‌ها از نسل اول تا پنجم همگی بر مبنای سنجش ظرفیت خازنی است که مسیر عبور نخ از بین صفحات آن طراحی شده است. در دستگاه‌های جدید اوستر می‌توان نخ را با سرعت ۸۰۰ متر در دقیقه مورد آزمایش قرار داد که با توجه به قابلیت تعویض اتوماتیک ۲۴ سرنخ امکان استفاده از این دستگاه را در کارخانجات بسیار بزرگ ذوب ریسی نیز فراهم نموده است.

دلایل ایجاد نایکنواختی در نخ‌های فیلامنتی

بطور کلی نخ‌های فیلامنتی مصنوعی را می‌توان به روش‌های مختلفی نظیر: ذوب ریسی، خشک ریسی، تر ریسی و ... تولید نمود که در جدول ۱ پلیمرها و مواد قابل استفاده در هر کدام از این روش‌ها ذکر شده است.

همانگونه که مشخص است فرآیند ذوب ریسی به دلیل سهولت نسبت به سایر فرآیندها (عدم استفاده از حلال و اجتناب از مشکلات متداول حلال‌ها) رایج ترین روش جهت تولید نخ‌های فیلامنتی محسوب می‌شود و به همین دلیل محققان بسیاری پارامترهای موثر بر روی این فرآیند را از دیدگاه صنعتی و آزمایشگاهی مورد بررسی و آزمایش قرار داده‌اند.

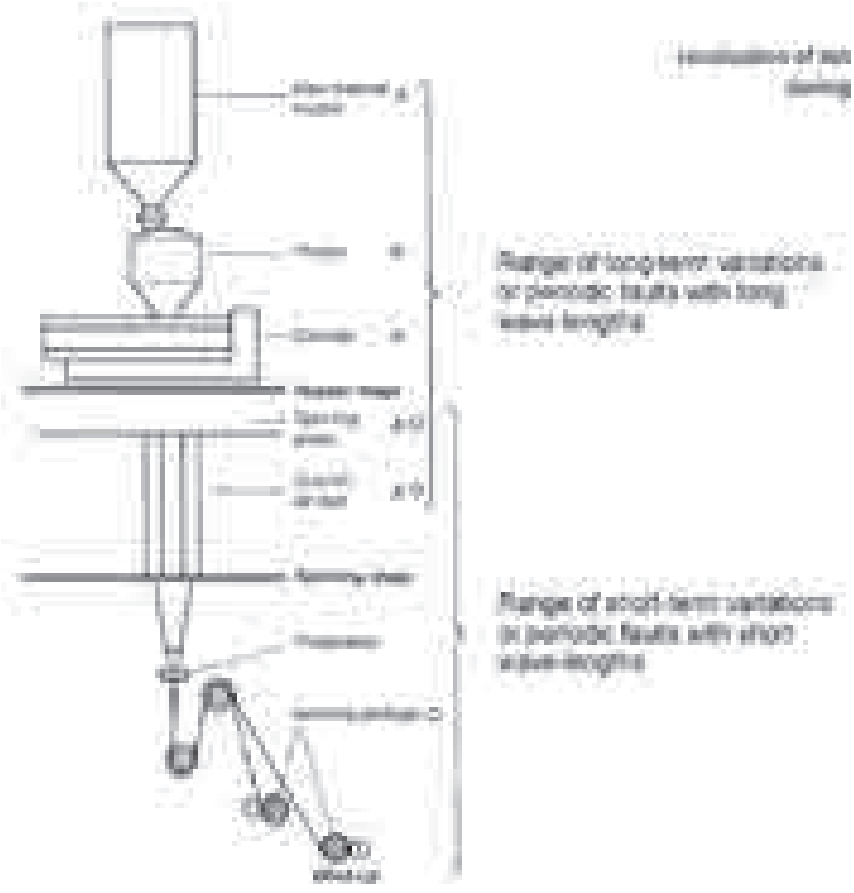
اصولاً در فرآیند ریسندگی دما در مراحل مختلف نقش بسیار قابل ملاحظه‌ای دارد به گونه‌ای که دمای ذوب ریسی، دمای خنک کردن فیلامنت‌ها، دمای کشش، دمای پیچش نخ و ... همگی بر روی یکنواختی نخ فیلامنتی تاثیرگذار هستند.

همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است بطور کلی دستگاه ذوب ریسی را می‌توان به سه قسمت و یا طبقه تقسیم نمود:

۱. قسمت تولید مذاب (طبقه فوقانی)
۲. قسمت خنک کردن رشته‌های مذاب نخ (طبقه میانی)
۳. قسمت کشش و پیچش نخ فیلامنتی (طبقه پایینی)

در قسمت اول مواد اولیه ورودی از قیف‌های تغذیه به کمک دستگاه اکسترودر ذوب می‌شوند و توسط لوله‌هایی به بیم ریسندگی تغذیه می شوند. در داخل بیم ریسندگی جریان مذاب با عبور از پک ریسندگی شامل پمپ، صفحات توزیع کننده، فیلترها و صفحه رشته‌ساز به صورت رشته‌های مذاب در می آیند که این رشته‌ها در طبقه میانی با عبور از داخل کانال خنک کننده و قرارگیری در معرض وزش هوای مرطوب و خنک به صورت جامد درآمده و با روغن های مخصوصی آغشته می‌شوند.

سپس نخ فیلامنتی با توجه به نوع فرآیند به صورت کم آرایش یافته (LOY)، نیمه آرایش یافته (POY) و کاملاً آرایش یافته (FOY)



شکل ۱ – قسمتهای مختلف دستگاه ذوب ریسی موثر بر کیفیت نخ فیلامنتی

با عبور از روی غلطک‌های گودت و کشش به میزان لازم، تولید شده و در دستگاه وایندر بر روی بوبین پیچیده می‌شود.

هر کدام از قسمت‌های دستگاه ذوب ریسی می‌تواند بر روی خصوصیات کیفی نخ تاثیر نوسانی و دوره‌ای (پریودیک) بگذارند. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است قسمت‌های فوقانی دستگاه عمدتاً ایرادات با دامنه نوسان بزرگ ایجاد می‌نمایند که با علامت مثلث در شکل ۱ نشان داده شده‌اند و قسمت‌های پایین دستگاه تولیدکننده ایرادات با دامنه نوسان کوچکتر می‌باشند که با علامت دایره مشخص شده‌اند. این ایرادات را در خروجی دستگاه اوستر به صورت دیاگرام، اسپکتروگرام، میزان یکنواختی، منحنی انحراف معیار– طول و نمره نسبی می‌توان مشاهده نمود.

نتایج دستگاه سنجش نایکنواختی

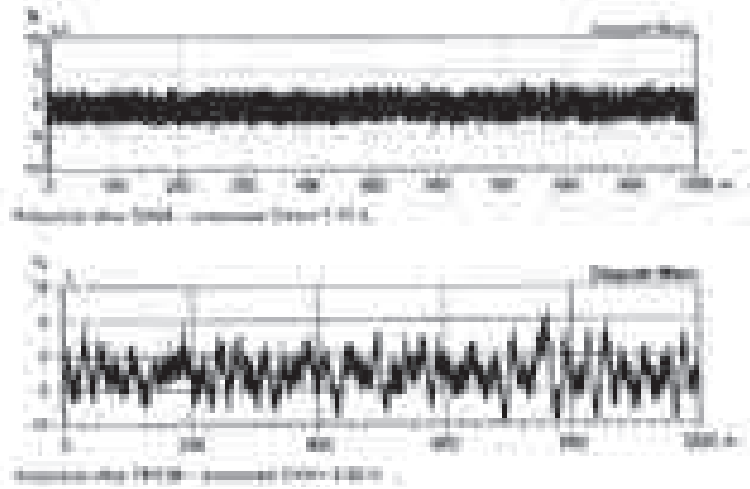
همانگونه که در قسمت‌های قبل نیز توضیح داده شد، یکنواختی وزنی نخ‌های فیلامنتی را می‌توان به سرعت توسط دستگاه اوستر مورد ارزیابی قرار داد. نتایج حاصل از دستگاه اوستر هم به صورت نموداری (گراف) و هم به صورت عددی توسط دستگاه قابل گزارش است.

در غالب موارد جهت تحلیل میزان نایکنواختی نخ‌های فیلامنتی از خروجی‌هایی نظیر: دیاگرام، اسپکتروگرام و داده‌های عددی استفاده می‌شود که در ادامه هر کدام از آنها بطور مختصر معرفی می شوند.

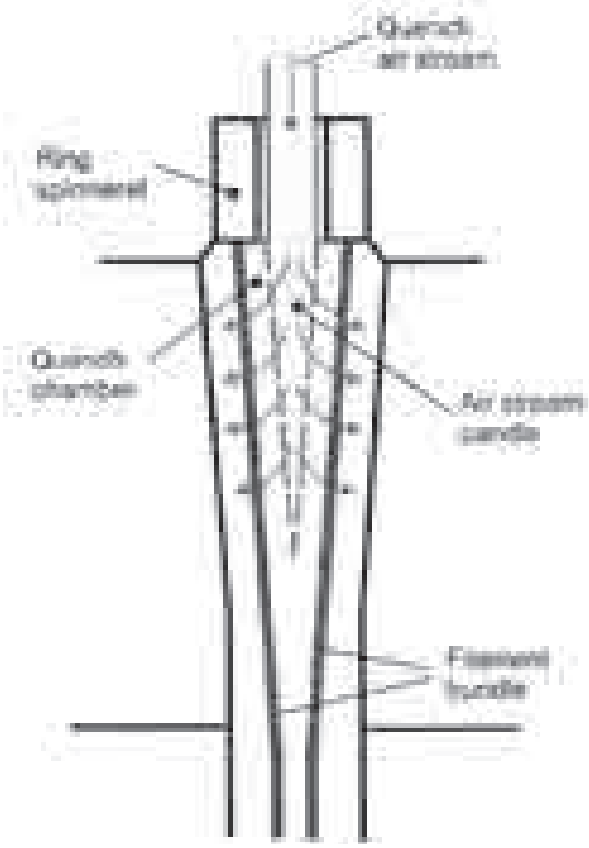
دیاگرام

دیاگرام را می توان مهمترین نوع خروجی دستگاه اوستر در نظر گرفت که داده ها و نتایج بسیار زیادی در ارتباط با فرایند ذوب ریسی از آن قابل استخراج است.

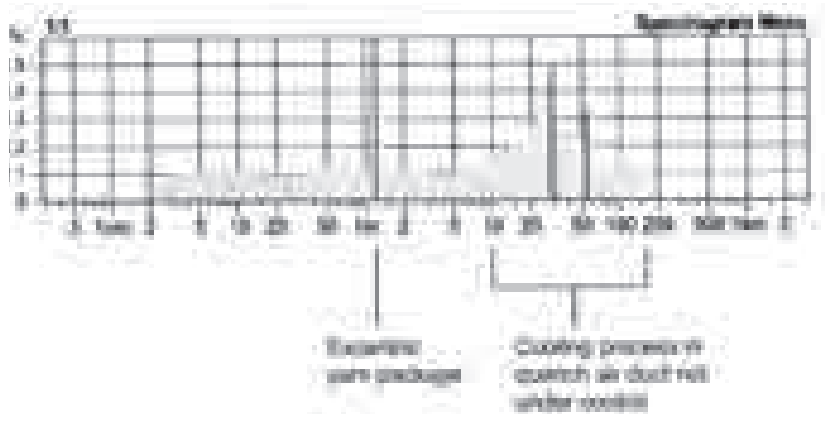
به عنوان مثال در شکل ۲ دیاگرام اوستر ۲ نخ فیلامنتی مختلف در کنار یکدیگر نشان داده شده است. در این شکل نمودار پایینی نشان دهنده تغییرات و نوسانات شدید در وزن نخ فیلامنتی می باشد، در حالیکه در نخ بالایی این تغییرات به مراتب کمتر است. میزان یکنواختی نخ فوقانی در حد $CVm = 1.15\%$ و در مورد نخ پایینی در حد $CVm = 2.60\%$ می باشد. تجربه نشان داده است که مهمترین دلیل تغییر و نوسانات وزنی به علت شدت نامناسب وزش هوا و نحوه هدایت هوا در داخل کانال خنک کننده است که منجر به ایجاد نوسانات در هنگام جامد شدن نخ فیلامنتی در داخل کانال می شود.



شکل ۲ – دیاگرام نوسانات وزنی نخ پلی استر فیلامنتی



شکل ۴ – تصویر شماتیک کانال خنک کننده در حالت وزش هوایی دایروی از داخل به خارج



شکل ۳ – اسپکتروگرام نوسانات وزنی نخ پلی استر فیلامنتی

داده های عددی

در جدول ۲ گزیده ای از اطلاعات عددی دریافتی از دستگاه اوستر در آزمایش نخ فیلامنتی پلی استری با ظرافت ۷۶ دنیر و ۱۰۰ فیلامنت نشان داده شده است. این آزمایش بر روی ۱۰ بوبین نخ POY و به طول ۱۰۰۰ متر از هر کدام از آنها انجام شده است. در این جدول U% میزان یکنواختی و CVm میزان انحراف معیار وزنی نخ هنگامیکه دستگاه در حالت انجام آزمایش استاندارد قرار دارد را نشان می دهد. اعداد CVm یک متر، ۳ متر، ۱۰ متر و ۵۰ متر بیانگر میزان انحراف معیار وزنی نخ در طول های برش مختلف و ستون نمره نسبی نشان دهنده ظرافت نسبی نخ نسبت به متوسط می باشند. بدین منظور نرم افزار دستگاه متوسط نمره نخ را بر مبنای تمام آزمایشات یک سری نخ محاسبه نموده و عدد صفر را به آن اختصاص می دهد، پس از آن میزان انحراف در متوسط نمره هر بوبین نخ نسبت به متوسط کل به عنوان ظرافت نسبی نشان داده می شود.

اصول و مبنای کلی این دستگاه بر مبنای تغییر در ظرفیت خازن در تمام آزمایشها می باشد. ستون mMin و mMax نیز نشان دهنده حداکثر انحراف از میزان متوسط است.

اسپکتروگرام

اسپکتروگرام نمایش داده شده در شکل ۳ نشان دهنده فرکانس تغییر وزن در یک نمونه نخ فیلامنتی پلی استری با نمره ۷۶ دنیر و ۱۰۰ فیلامنت می باشد که داده های عددی آن در جدول ۲ آورده شده است.

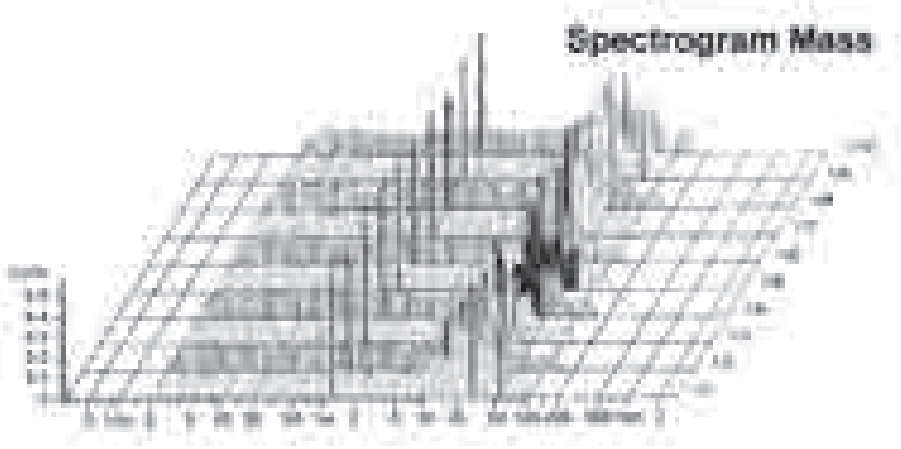
در درجه اول این اسپکتروگرام نشان دهنده ایرادات نوسانی با فرکانس ۱/۲ متر می باشد که احتمالاً به دلیل مشکل در سیستم پیچش وایندر است. دومین ایرادی که این اسپکتروگرام نشان می دهد افزایش انحراف معیار در فاصله ۸۰-۱۰ متری نخ می باشد که این ایراد به دلیل جریان نایکنواخت هوای کانال خنک کننده ایجاد شده است. البته در صورتیکه برای تفسیر این موضوع تنها به دیاگرام اتکا کنیم شاید به دلیل ظاهر پریودیک تغییرات در تفسیر آن دچار اشتباه شویم و به همین دلیل حتماً نیازمند استفاده از اسپکتروگرام هستیم.

همانگونه که مشخص است کانال خنک کردن فیلامنت‌ها (شکل۴) یکی از مهم‌ترین قسمتهای دستگاه ذوب ریسی می باشد و عدم کنترل بر جریان هوای خنک در این قسمت مشکلات زیادی را در کیفیت نخ ایجاد می نماید. با توجه به اینکه معمولاً سرعت فرایند تولید نخهای فیلامنتی بسیار زیاد است، مساله کنترل جریان هوا در کانال در حدی که بتواند فیلامنتها را کاملاً به صورت جامد در آورده و از طرف دیگر نایکنواختی در آنها ایجاد ننماید بسیار حائز اهمیت است.

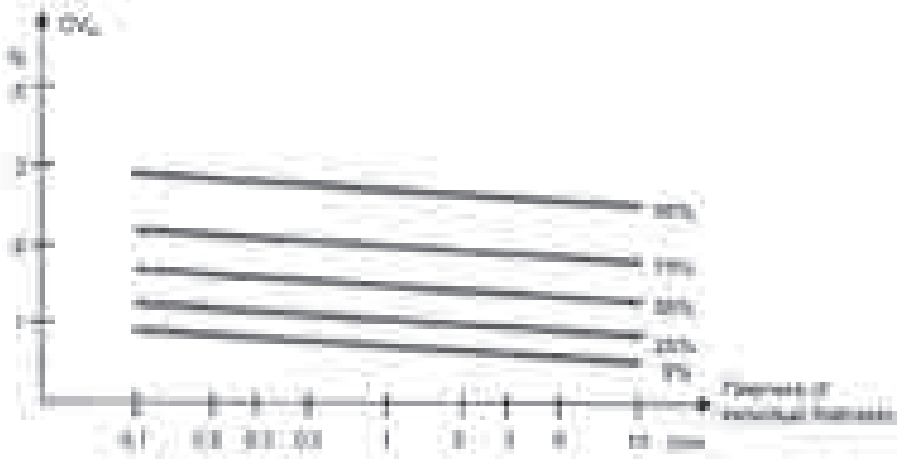
محاسبه نقطه ای که فیلامنتها به صورت جامد در می آیند نیز نقش بسیار مهمی در این موضوع دارد زیرا هرچند که اگر این نقطه به سمت پایین کانال متمایل شود میزان آرایش یافتگی مولکولها در نخ فیلامنتی افزایش می یابد ولی از طرف دیگر ریسک ایجاد نوسانات موجی در مذاب نخ ناشی از وزش هوا نیز بیشتر می شود.

در شکل ۵، اسپکتروگرام مربوط به ۱۰ بوبین نخ تولید شده بر روی یک وایندر در کنار یکدیگر نمایش داده شده است. همانگونه که از این نمودارها مشخص است ایرادات مربوط به هر ۲۰ بوبین تقریباً مشابه یکدیگر است.

البته باید توجه داشت که لزومی به تفسیر تمام پیک‌های نمودار اسپکتروگرام نیست و برای بسیاری از آنها نمی‌توان دلیل مشخصی ذکر نمود. به همین دلیل در دستگاه اوستر نرم افزار خاصی طراحی شده است که به تفسیر دقیق پیکها کمک می کند. پایه و اصول این نرم افزار بر مبنای اطلاعات جمع آوری



شکل ۵ - اسپکتروگرام نوسانات وزنی ۱۰ بوبین نخ پلی استر فیلامنتی تولید شده بر روی یک وایندر



شکل ۶ - نمودار مقایسه ای کیفیت نخهای فیلامنتی اوستر

شده از کارخانجات تولید نخهای فیلامنتی در اقصی نقاط دنیا نوشته شده است و همانگونه که مشخص است هرچقدر تعداد این شرکتها افزایش یابد دقت نرم افزار نیز افزایش می‌یابد، به همین دلیل دستگاه اوستر نسبت به سایر دستگاه‌های مشابه دارای ارجحیت است.

مقایسه با رقبا

یکی از مزایای ویژه دستگاه اوستر امکان مقایسه محصول تولیدی با سایر شرکت‌های تولیدکننده محصول مشابه در نقاط مختلف جهان می باشد.

به عنوان مثال در شکل ۶ نمودار تغییرات متوسط انحراف معیار %CVm در مقابل ظرافت نخ POY پلی استری آورده شده است. همانگونه که از این شکل مشخص است به عنوان مثال در مورد نخهایی که از فیلامنتهایی با ظرافت ۰٫۱ دسی تکس تشکیل شده‌اند تنها ۵% از کل تولیدکنندگان جهانی انحراف معیاری کمتر از ۱% دارند و از طرف دیگر تنها ۵% از تولیدکنندگان جهانی این نخها انحراف معیاری بیش از ۳% دارند.

حال با توجه به این نمودار می توان موقعیت خود را در بین شرکت‌های مختلف تامین کننده این نخ ارزیابی کنیم.

جدول ۱ – روشهای مختلف تولید الیاف مصنوعی

محلول ریسی		
ذوب ریسی	خشک ریسی	تر ریسی
پلی آمیدها (نایلونها)	دی و تری استات سلولز	ویسکوز
پلی استرها	اکریلیک	اکریلیک
پلی پروپیلن	پلی یورتان	پلی یورتان
پلی اتیلن	پلی وینیل کلراید	پلی وینیل الکل

پی نوشت:

* دانشجوی دکتری مهندسی شیمی نساجی و علوم الیاف، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

ماخذ:

1. Kretzschmar S.D., Further, F., Process optimization in a filament yarn plant, ManMade Fiber Year Book 2009, pp. 62-65.
2. Tester for filament production, Chemical Fibers Internationl, 1/2012, Page 42.

جدول ۲ – داده های عددی نوسانات وزنی نخ پلی استر فیلامنتی

شماره	٪ U	CVm ٪	٪ CVm ۱ متر	٪ CVm ۳ متر	٪ CVm ۱۰ متر	٪ CVm ۵۰ متر	ظرافت نسبی ٪	٪ mMin ۱ متر	٪ mMax ۱ متر	٪ mMin ۱۰ متر	٪ mMax ۱۰ متر
۱	۱٫۳۱	۱٫۶۶	۱٫۲۶	۱٫۲۰	۱٫۰۱	۰٫۲۶	۰٫۲	- ۳٫۵	۳٫۸	- ۲٫۰	۳٫۱
۲	۱٫۱۲	۱٫۴۳	۱٫۰۵	۰٫۹۷	۰٫۷۵	۰٫۲۶	۰٫۲	- ۳٫۳	۳٫۴	- ۱٫۸	۱٫۵
۳	۱٫۱۶	۱٫۴۹	۱٫۰۹	۱٫۰۳	۰٫۸۴	۰٫۲۴	۰٫۰	- ۳٫۱	۳٫۶	- ۱٫۸	۲٫۱
۴	۱٫۱۰	۱٫۴۲	۰٫۹۹	۰٫۹۳	۰٫۷۷	۰٫۲۸	۰٫۰	- ۳٫۲	۳٫۳	- ۱٫۹	۱٫۹
۵	۱٫۱۳	۱٫۴۵	۱٫۰۴	۰٫۹۸	۰٫۸۳	۰٫۳۳	۰٫۲	- ۳٫۳	۳٫۴	- ۱٫۹	۲٫۲
۶	۱٫۱۵	۱٫۵۰	۱٫۰۳	۰٫۹۶	۰٫۷۵	۰٫۲۲	۰٫۰	- ۳٫۱	۳٫۴	- ۱٫۸	۲٫۳
۷	۱٫۱۲	۱٫۴۳	۱٫۰۵	۰٫۹۹	۰٫۸۲	۰٫۳۵	- ۰٫۱	- ۳٫۲	۳٫۹	- ۲٫۱	۲٫۶
۸	۱٫۱۳	۱٫۴۳	۱٫۱۳	۱٫۰۶	۰٫۸۳	۰٫۲۵	- ۰٫۳	- ۳٫۵	۳٫۹	- ۲٫۱	۱٫۸
۹	۱٫۲۵	۱٫۵۸	۱٫۲۴	۱٫۱۹	۱٫۰۱	۰٫۴۸	- ۰٫۲	- ۳٫۲	۴٫۰	- ۲٫۲	۲٫۵
۱۰	۱٫۲۱	۱٫۵۴	۱٫۱۵	۱٫۰۷	۰٫۹۱	۰٫۳۰	- ۰٫۱	- ۳٫۶	۴٫۰	- ۲٫۵	۲٫۷
متوسط	۱٫۱۷	۱٫۴۹	۱٫۱۰	۱٫۰۴	۰٫۸۵	۰٫۳۰	۰٫۰	- ۳٫۳	۳٫۸	- ۲٫۰	۲٫۳
CV	۷٫۵	۵٫۴	۸٫۳	۹٫۱	۱۱٫۴	۲۵٫۵	۰٫۲	۵٫۴	۱۲٫۲	۱۱٫۸	۲۰٫۸
S	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۰۸	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۵	۰٫۲	۰٫۵
Q۹۵	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۵	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۳
Max	۱٫۳۱	۱٫۶۶	۱٫۲۶	۱٫۲۰	۱٫۰۱	۰٫۴۸	۰٫۲	- ۳٫۱	۴٫۹	- ۱٫۸	۳٫۱
Min	۱٫۱۰	۱٫۴۲	۰٫۹۹	۰٫۹۳	۰٫۷۵	۰٫۲۲	- ۰٫۳	- ۳٫۶	۳٫۳	- ۲٫۵	۱٫۵