

الیاف با کارایی بالا؛ ایفاکننده نقش های مهم



شده‌اند. موارد کاربرد این الیاف روز به روز گسترده‌تر می‌شود مانند ژئوتکستایل ها و ژئوممبران ها، پروژه های مهندسی عمران و ساخت و ساز و همچنین مواد اولیه کامپوزیتی.

الیاف با مدول و استحکام مخصوص بالا را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد: الیاف پلیمری مانند آرامیدها و الیاف پلی اتیلن، الیاف کربن و الیاف غیرارگانیک بر پایه شیشه و الیاف سرامیکی. در این مقاله به گروه اول از الیاف پرداخته شده است.

الیاف آرامید

الیاف پلی آمید آروماتیک (آرامید) به ویژه الیاف متاآرامید از ثبات و مقاومت خوبی در برابر حرارت برخوردار است. مواد اولیه بر پایه این الیاف برای مقاصد صنعتی خاص که نیاز به مقاومت حرارتی است، توسعه می‌یابند.

کامپوزیت های پیشرفته که با الیاف آرامید تقویت می‌شوند نیز در مواردی کاربرد دارند که نسبت استحکام به وزن و سختی به وزن ماده اولیه در مقایسه با مواد اولیه متداول مانند آلومینیوم و فولاد باعث افزایش جذابیت آن می‌شود مانند تولید اجزای ساختاری هواپیما.

الیاف متاآرامید

الیاف نومکس-پلی (ام-فنیلین ایزوفتالامید)- که در اصل HT-1 نامیده می‌شود، نخستین الیاف آرامیدی است که از نظر تجاری در دسترس می‌باشد. این الیاف که توسط کمپانی دوپونت در دهه ۱۹۶۰ توسعه یافته و در سال ۱۹۶۷ تجاری سازی شده است، در ابتدا به عنوان پارچه مورد استفاده در لباس رانندگان خودروهای مسابقه ای مورد استفاده قرار می‌گرفت.

مقاومت الیاف نومکس در برابر شعله و حرارت عالی بوده و از ثبات دمایی خوبی در دماهای تا ۵۰۰۰ °C برخوردار است. پایداری این الیاف نیز در دماهای

الیاف دارای مدول و استحکام مخصوص بالا نقش مهمی را در توسعه منسوجات کارکردی ایفا می‌کنند. پارچه‌های کارکردی-یکی از پیشروترین بخش‌های صنعت نساجی-منسوجاتی هستند که علاوه بر خصوصیات ذاتی خود دارای یک سری ویژگی های اضافی مانند دفع، مقاومت یا ایجاد محافظت برای مثال در برابر مایعات، دماهای خیلی بالا یا پایین یا نور فرابنفش می‌باشند. پارچه های مقاوم در برابر چروک، گردوخاک یا بو و یا شرایط محیطی خاص نیز جزو این دسته از منسوجات قرار می‌گیرند. منسوجات کارکردی در ابتدا برای بازار منسوجات ورزشی و اوت دور و برای انجام فعالیت هایی مانند ایروبیک، دویدن، دوچرخه سواری، کوهنوردی، شنا و اسکی عرضه شدند اما اکنون راه خود را به بخش منسوجات خانگی و فشن نیز باز کرده اند.

طبقه بندی

از بعضی جنبه ها تمامی الیاف معمولی (الیافی که برای بخش خاصی از صنعت تولید نمی‌شوند) و همچنین الیاف طبیعی مانند پنبه، پشم و ابریشم که بیشتر در محصولات فشن مانند پوشاک، مبلمان و پوشش های کف مورد استفاده قرار می‌گیرند را می‌توان جزو الیاف با کارایی بالا طبقه بندی کرد.

در معرفی گسترده الیاف بشرساخت در نیمه اول قرن بیست و یک، منسوجات فنی در یک دسته مشخص قرار گرفتند؛ منسوجاتی که اصولاً در بخش های مهندسی یا صنعتی کاربرد داشتند. نسل بعدی الیاف بشرساخت یعنی الیاف با کارایی یا مدول یا استحکام مخصوص بالا دارای تفاوت اساسی از نظر سختی و استحکام بودند.

الیاف با کارایی بالا که در پنجاه سال گذشته به طور گسترده ای توسعه یافته و تجاری سازی شده‌اند، الیافی هستند که برای مقاصد خاصی که نیازمند استحکام، سختی، مقاومت در برابر حرارت و مواد شیمیایی می‌باشد، مهندسی



ویژگی‌های مثبت الیاف تکنورا به دلیل ساختار کریستالی و بلوری منحصر به فرد آرامید است که در آن زنجیره‌های ملکولی ترجیحا حول محور فیلامنت آرایش پیدا می‌کنند. این محصول از پلیمریزاسیون تراکمی کopolymerهای مختلف تولید و در نهایت الیافی با مدول بالا، خزش پایین و ثبات حرارتی حاصل می‌شود.

از این الیاف به عنوان تقویت‌کننده لاستیک در شلنگ‌های خودرو، در کمربندهای انتقال قدرت در خودرو، موارد صنعتی و کشاورزی و همچنین تقویت‌کننده شلنگ‌های مخصوص در صنعت نفت و گاز استفاده می‌شود. از الیاف تکنورا همچنین به عنوان تقویت‌کننده در لوله‌های انعطاف پذیر، طناب‌های مورد استفاده در دماهای بالا، پارچه‌های مقاوم در برابر حرارت و محصولات مقاوم در برابر برش و پارگی و همچنین تقویت‌کننده‌های کامپوزیتی برای افزایش دوام استفاده می‌شود.

یکی از دیگر از برندهای مطرح تیجین، تاورون-نخ پاراآرامید با عملکرد بالا- است که دارای تعادل خوبی از نظر خواص مکانیکی، مقاومت در برابر مواد شیمیایی و ثبات حرارتی می‌باشد که آن را برای استفاده در طیف گسترده‌ای از صنایع و کاربردهای چالش برانگیز مناسب می‌سازد از محافظت در برابر پرتابه‌ها مانند گلوله و ... تا محافظت در برابر حرارت و برش و از صنایع نفت و گاز تا صنایع خودروسازی و مخابرات. ویژگی‌های منحصر به فرد این الیاف نتیجه ساختار صد در صد پاراکریستالی آن از زنجیره‌های ملکولی که ترجیحا حول محور فیلامنت آرایش یافته اند، می‌باشد.

4 الیاف پلی آریلات

الیاف پلی آریلات نخ‌های چند فیلامنتی با عملکرد بالا هستند که از پلیمرهای بلور مایع (LCP) رسیده می‌شوند. تحقیقات در مورد این پلیمرها از دهه ۱۹۷۰ آغاز شد و نتیجه آن تولید الیاف پلی‌استر کاملا آروماتیک با نام وکتران بود که به دلیل قیمت نسبتا بالای آن همچنان به عنوان محصولی که دارای بازار ویژه می‌باشد، باقی مانده است.

وکتران که برای نخستین بار در سال ۱۹۹۰ تولید شد، تنها الیاف LCP ذوب رسی شده موجود در بازار است که از پلیمر بلور مایع وکتران رسیده می‌شود. این الیاف در ابتدا توسط کمپانی سالانیس تولید شد و در حال حاضر نیز کمپانی

محیطی تا 2200°C طولانی مدت است. علاوه بر آن الیاف نومکس دارای مقاومت بالا در برابر مواد شیمیایی، جمع شدگی پایین در اثر حرارت، خاصیت خود خاموش شونده و کند کنندگی شعله و زبردست نرم می‌باشد که در نهایت باعث می‌شوند تا منسوجی با ویژگی‌های مثبت داشته باشیم.

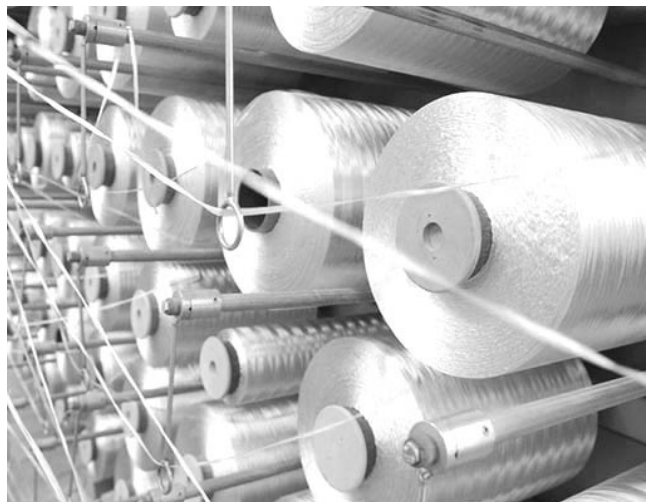
نومکس در مقایسه با الیاف پاراآرامید کولار دارای مدول و استحکام کششی پایین‌تری می‌باشد اما انعطاف پذیری و ازدیاد طول آن بیشتر است که آن را به نخی مناسب برای تولید پارچه تبدیل می‌کند.

الیاف متا آرامید کمپانی تیجین با نام تیجین کانکس دارای مقاومت عالی در برابر حرارت، شعله و مواد شیمیایی بوده و در نتیجه برای استفاده در تولید منسوجات محافظ و سایر کاربردهای صنعتی مانند شلنگ، فیلتر و غیره مناسب است. الیاف تیجین کانکس را می‌توان در طول‌ها و با چگالی خطی متفاوتی تولید کرد. این الیاف نه تنها به رنگ سفید خام در دسترس است بلکه برای ایجاد رنگ همانندی در ترکیب با الیاف پارا آرامید می‌توان آن را در طیف‌های رنگی مختلف نیز رنگ‌رزی کرد. علاوه بر آن نوع جدید این الیاف را می‌توان به هر رنگی رنگ‌رزی کرد و لباس‌های کار محافظ را به رنگ سفارشی شرکت تولید نمود.

4 الیاف پارا آرامید

شاید در حال حاضر موثرترین الیاف پارا آرامید موجود، الیاف کولار-پلی(پی)-فنیلین ترفتالامید (PPTA) باشد. این الیاف برای نخستین بار در دهه ۱۹۳۰ و توسط متخصص شیمی کمپانی دوپونت-استفانی کولک-توسعه یافت اما تا دهه ۱۹۷۰ به طور تجاری مورد استفاده قرار نگرفته بود یعنی تا زمانی که به عنوان جایگزینی برای فولاد در لاستیک ماشین‌های مسابقه مورد استفاده قرار گرفت. الیاف کولار دارای نسبت استحکام به وزن بالا، ازدیاد طول تا حد پارگی پایین، مقاومت خوب در برابر حرارت و شعله، مقاومت خوب در برابر مواد شیمیایی، مقاومت در برابر پارگی عالی و خواص بالستیکی عالی می‌باشند.

تکنورا که برای نخستین بار در سال ۱۹۸۷ به صورت تجاری وارد بازار شد، نخ پارا آرامید بر پایه PPTA با عملکرد و کیفیت عالی تیجین است. این الیاف هشت برابر محکم‌تر از فولاد بوده و دارای مدول بالا و مقاومت عالی در برابر حرارت و مواد شیمیایی می‌باشد.





بلورینگی زیاد تشکیل شده است. زنجیره های پلیمری بلند با تقویت فعل و انفعالات بین ملکولی امکان انتقال بار را فراهم می کنند.

الیاف UHMWPE به روش ژل ریزی تولید می شود. این الیاف دارای نسبت استحکام به وزن عالی، مقاومت سایشی بالا، وزن مخصوص پایین، پایداری در برابر امواج فرابنفش بوده و از نظر شیمیایی (به جز در مورد اسیدهای اکسیدکننده) بی اثر است و در برابر خستگی و اصطکاک داخلی نیز مقاوم می باشد. الیاف اسپکترا از کمپانی هانی ول و الیاف داینیما از کمپانی دی اس ام جزو الیاف پلی اتیلن با وزن ملکولی بسیار بالا به شمار می روند. کمپانی هلندی دی اس ام اخیرا اعلام کرده که حدود ۱/۵ میلیارد دلار مواد اولیه محافظ شامل الیاف داینیما به تولیدکننده تخصصی مواد اولیه پلیمری در آمریکا یعنی کمپانی آوینت فروش داشته است.

کاربرد الیاف UHMWPE در زره، دستکش های ضد پارگی، زه کمان، تجهیزات کوهنوردی، بوکسل کردن ماشین، نخ ماهیگیری، طناب تفنگ های نیزه ای، طناب های معلق در پاراشوت و پاراگلایدر و طناب های مورد استفاده در قایق ها و کایت ها می باشد.

پلی اتیلن با عملکرد بالا

ویژگی های الیاف پلی اتیلن با عملکرد بالا (HPPE) آنها را برای استفاده در محافظت بالستیکی، دستکش های ضد برش، لباس شمشیر بازی و همچنین لباس های مورد استفاده در هنگام کار با اهر برقی مناسب می سازد.

بیشترین سطح محافظت در برابر برش زمانی حاصل می شود که الیاف با عملکرد بالا را با فولاد ضدزنگ یا الیاف شیشه ترکیب کنیم. برای بهبود راحتی پوشش نیز می توان الیافی مانند پلی آمید، پلی استر و پنبه را به آن اضافه کرد. در کامپوزیت های غیربالستیکی معمولاً از الیاف HPPE برای بهبود مقاومت در برابر ضربه و جذب انرژی محصولات تقویت شده با الیاف کربن یا شیشه استفاده می شود. استفاده از این الیاف همچنین باعث کاهش وزن محصول نهایی مانند کلاه ایمنی موتورسواری می شود. از ترکیب این الیاف با لایه های چوب نیز می توان در بدنه قایق ها استفاده کرد.

وزن پایین و استحکام الیاف پلی اتیلن با عملکرد بالا آن را برای استفاده در طناب های سنگین که قابلیت شناور شدن بر روی آب را دارند، مناسب می سازد. این طناب ها انعطاف پذیر بوده و دارای ازدیاد طول تا حد پارگی پایینی هستند و در نتیجه گرفتن آن ها با دست راحت است ضمن این که مقاومت سایشی و مقاومت در برابر خستگی خوبی از خود نشان می دهند.

البیکس الیاف پلی اتیلن با مدول بالا و فوق العاده مستحکم است که توسط کمپانی دی اس ام تولید می شود. در فرایند تولید این الیاف، فیلامنت ها را به رزین ترموپلاست با عملکرد بالا آغشته می کنند. این ماده اولیه کامپوزیتی دارای استحکام بالایی بوده و در برابر سایش و نور فرابنفش مقاوم است. این محصول برای موارد بحرانی که در آن استحکام و دوام اهمیت زیادی دارد، طراحی شده است.

الیاف PBI

الیاف پلی بنزیمیدازول (PBI) دسته ای از الیاف مصنوعی است که به طور کامل از پلی آمیدهای آروماتیک به دست می آید و در برابر دماهای بسیار بالا مقاوم

کورارای تولیدکننده آن است (الیاف وکتران از نظر شیمیایی یک پلی استر آروماتیک است که از طریق پلیمریزاسیون تراکمی ۴-هیدروکسی بنزویک اسید و ۶-هیدروکسی نفتالین ۲-کربوکسیلیک اسید حاصل می شود).

وکتران از طریق فرایند مذاب-اکستروژن تولید می شود که باعث آرایش یافتگی ملکول ها حول محور الیاف شده که نتیجه آن الیافی با استحکام مخصوص بالاست که ۵ برابر محکم تر از فولاد و ۱۰ برابر محکم تر از آلومینیوم می باشد. مقاومت این الیاف در برابر مواد شیمیایی نیز بالاست.

از دیگر ویژگی های وکتران می توان به مقاومت سایشی خوب، مقاومت در برابر دماهای بالا، مدول و استحکام مخصوص بالا اشاره کرد. این الیاف علاوه بر جذب رطوبت حداقل و قابلیت میراسازی منحصر به فرد ارتعاشات، در برابر بارهای استاتیک پایدار بوده و خزش ناچیزی از خود نشان می دهند اما نسبت به نور ماورای بنفش حساسند.

وکتران اصولاً در صنایع ساختمان سازی، نساجی و پوشش دهی مورد استفاده قرار می گیرد. کاربردهای اصلی این الیاف در لباس ها و دستکش های مقاوم در برابر پارگی، پارچه های بادبانی، نخ ماهیگیری، کابل یدک کشی، سازه های بادی، لاستیک های دوچرخه ضد پنجره و طناب های کشتی است. الیاف وکتران به دلیل عملکرد منحصر به فرد خود در سیستم های فضایی ناسا مورد استفاده قرار می گیرند.

به گفته کمپانی هلندی فایبر-ایکس ال پروفورمنس چند تفاوت اساسی بین الیاف وکتران و دولیف با کارایی بالای دیگر یعنی آرامید و پلی اتیلن با وزن ملکولی بسیار بالا (UHMWPE) وجود دارد. الیاف وکتران ترموتروپیک و ذوب ریزی شده است و در دمای بالا ذوب می شود. الیاف آرامید لیوتروپیک است، به روش حلال ریزی تولید شده و در دمای بالا ذوب نمی شود. الیاف UHMWPE نیز ژل ریزی شده و در دمای پایین ذوب می شود.

پلی اتیلن با استحکام بالا

پلی اتیلن با وزن ملکولی بسیار بالا (UHMWPE) برای نخستین بار در دهه ۱۹۵۰ پلیمریزه و تولید شد و نخستین الیاف UHMWPE است که در اواخر دهه ۱۹۷۰ به صورت تجاری وارد بازار شد. این الیاف نوعی پلی اولفین بوده که از زنجیره های بلند پلی اتیلن با درصدی بالا از آرایش یافتگی موازی و



ریسی و حلال پلی آمیک اسید تولید کرد. الیاف پیش ماده سپس طی یک فرایند تکمیل حرارتی به الیاف پلی ایمید تبدیل خواهند شد.

الیاف پلی ایمید ضمن این که فرایند تولیدشان سخت و هزینه بر است، دارای دمای انتقال شیشه (حدود 400°C) و نقطه ذوب بسیار بالاتری نسبت به سایر الیاف نظیر پلی استر و اکریلیک می باشند. این الیاف همچنین به دلیل ساختار آروماتیک خود دارای اشتعال پذیری پایین و مقاومت خوبی در برابر بیشتر مواد شیمیایی هستند ضمن این که وزن آنها نیز پایین است.

الیاف پلی ایمید در صنایع الکترونیک در کابل های انعطاف پذیر با عملکرد بالا و در صنایع مواد شیمیایی به عنوان ماده اولیه فیلتر گازهای داغ و همچنین لباس های محافظ در برابر حرارت کاربرد دارند. این الیاف در عایق های چندلایه فضاپیماها و لباس های فضانوردان نیز مورد استفاده قرار می گیرند.

ماده اولیه اصلی برای الیاف PI P84 که توسط کمپانی اوونیک تولید می شود، تنها از واحدهای آروماتیک تشکیل شده است.

این ماده از دیان هیدریدها و دی ایزوسیانات های آروماتیک مشتق شده و دارای ثبات حرارتی خوبی است. علی رغم ساختار آروماتیک غیرذوب شونده و فاقد هالوژن، این الیاف در دسته مواد اشتعال ناپذیر با شاخص اکسیژن محدود ۳۸ درصد قرار می گیرند.

الیاف P 84 به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی خود دارای کاربردهای مختلفی می باشند از فیلترهای مورد استفاده در فیلتراسیون در دماهای بالا، لباس های محافظ و مواد آب بندی کننده در بدنه فضاپیماها گرفته تا موارد استفاده در دماهای بالا برای مثال عایق های حرارتی.

توسعه الیاف در طول این سال ها از الیاف کاربردی و پیش صنعتی گرفته تا الیاف بشرساخت و در حال حاضر نیز الیاف با کارایی و عملکرد بالا نشان دهنده این است که پیشرفت این بخش به این زودی متوقف نخواهد.

نسل بعدی الیاف که همان الیاف هوشمند هستند، قادرند به محرک های بیرونی مانند دما یا نور واکنش نشان دهند و داده ها را ثبت، ذخیره سازی و منتقل نمایند.

مرجع:

Geoff Fisher, "High-performance fibers fulfill demanding roles", International Fiber Journal, June 2022

تهیه و تنظیم: شبنم سادات امامی رئوف

است. ماده تشکیل دهنده در این الیاف یک پلیمر آروماتیک با زنجیره بلند است که دارای گروه های ایمیدازول به عنوان یکی از واحدهای ساختاری تکرار شونده در ساختار اصلی پلیمر می باشد.

الیاف PBI از یک تترا آمین آروماتیک و یک دی کربوکسیلیک اسید آروماتیک یا یکی از مشتقات آن تهیه می شود. این رزین سپس ریسیده شده و از طریق فرایند خشک ریسی و با استفاده از دی متیل استامید به عنوان حلال به الیاف تبدیل می شود. تنها الیاف PBI تجاری در حال حاضر پلی (۲-۲-ام-فنیلین-۵-۵-بیزیمیدازول) است. کمپانی هوکست سلانیس نخستین شرکتی بود که محصولات PBI را با نام تجاری Celazole (U-series) عرضه کرد و پس از آن نیز به سرعت ترکیبات PBI-پلی آریلین کتون (T-Series) به بازار آمد. الیاف PBI از ابتدا توسط کمپانی سلانیس و برای برنامه فضایی ناسا آپولو تولید شد چون این الیاف ذاتا دارای خاصیت مقاومت در برابر شعله و پایداری در برابر مواد شیمیایی بود. امروزه تنها تولیدکننده الیاف PBI کمپانی پی بی آی پرفورمنس پراداکتز زیرمجموعه گروه اینترتک می باشد.

الیاف PBO

الیاف پلی بنزو کسازول (PBO) الیاف با عملکرد بالا و مقاوم در برابر حرارت بوده که دارای ساختار حلقه ای اکسازول با اتصالات بنزن می باشد. استحکام این الیاف تقریباً دو برابر الیاف آرامید نظیر کولار و نومکس و ده برابر فولاد است و در نتیجه محکم ترین الیاف ارگانیک بشرساخت در جهان به شمار می روند. دمای تجزیه این الیاف 100°C بالاتر از آرامید است و تحت فشار خزش کمی دارد و در نتیجه برای تحمل بارهای زیاد مداوم مناسب است. کمپانی تویوبو تنها تولیدکننده این الیاف بوده که آن را با نام تجاری زایلون به فروش می رساند.

این الیاف دو نوع هستند: AS (تازه رشته) و HM (مدول بالا). الیاف HM دارای مدول بیشتر و ازدیاد طول تا حد پارگی کمتری می باشند.

زایلون پلی بنزو کسازول یک پلیمر کریستالی ایزوتروپیک است که به روش تریسی به الیاف تبدیل می شود. تولید این الیاف سخت و نسبتاً گران است.

کاربردهای مختلف الیاف PBO عبارت است از جلیقه های ضدگلوله، لباس های مقاوم در برابر حرارت (دستکش های ایمنی و لباس های آتش نشانی)، منسوجات ورزشی با عملکرد بالا (پره دوچرخه، طناب قایق، راکت، اسنوبرد و لباس سوار کاری) و مواد اولیه مورد استفاده در مهندسی عمران.

الیاف پلی ایمید

الیاف پلی ایمید (PI) دسته ای از الیاف مصنوعی مقاوم در برابر حرارت و نسبتاً محکم با طیف رنگی از نارنجی تا زرد می باشد. این الیاف طی یک فرایند دو مرحله ای از تترا کربوکسیلیک دیانیدرید و دی آمین های آروماتیک تهیه می شود.

الیاف پلی ایمید اغلب در مواردی مورد استفاده قرار می گیرد که به مقاومت بالایی در برابر حرارت، خوردگی و خزش نیاز باشد. عملکرد بالای این الیاف در صورت استفاده مداوم تا دمای 260°C و قرارگیری کوتاه مدت در معرض دمای 550°C حفظ خواهد شد. الیاف PI را می توان با استفاده از فرایند خشک