٢ - ألياف وخيوط البولى اســتـر Polyester fibers

تحتل الياف وخيوط البولي استر (عديد الاستر) المرتبة الاولى في الانتاج العالمي مقارنة بالالياف الصناعية الاخرى رغم انها الاحداث على المستوى الانتاجي. ويرجع الاستهلاك المرتفع من البولي استر الى كثرة استخدامه في الخلط مع الالياف الاخرى خاصة القطن والصوف الى جانب الاستخدامات الغير نسجية . ويعتبر البولي استر من افضل الالياف الصناعية المخلقة من اصل عضوي في الوقت الحاضر ويتم الحصول عليه من خامات بترولية عن طريق تجميع الذرات في سلاسل موازيه لبعضها البعض من خلال عمليات دقيقة تسمى عمليات البلمرة Polymerization Processes .

ويطلق على البولي استر اسماء تجارية مختلفة طبقا لبلد الصنع . ففي فرنسا يطلق عليه ترجال Tergal وفي امريكا يسمى داكرون Dacron وفي ايطاليا يسمى تريلانكا Terlenka وفي المانيا يسمى تريفيرا Teryvira وهكذا.

ويمكن انتاج البولي استر في صورة الياف قصيرة (شعيرات) Staple Fibers او على شكل خيوط مستمرة Continuous Filament واول من تمكن من الحصول على بولي استر يصلح لصناعة الالياف هما الكيميائي هونيفيلد Hwinfield والكيميائي ديكسون Dion بانجلترا وذلك في ابحاثهما التي تمت في الفترة ١٩٣٩ – ١٩٤٦ م ، عن طريق التفاعل التكاثفي المتكرر بين كل من الايثيلين الجليكولي Monoethylene Glycol وحمض الترفتاليك Terephthalic Acid بنسبة ١ : ١.٢ جزئ على الترتيب.

* تحضير البولى استر:

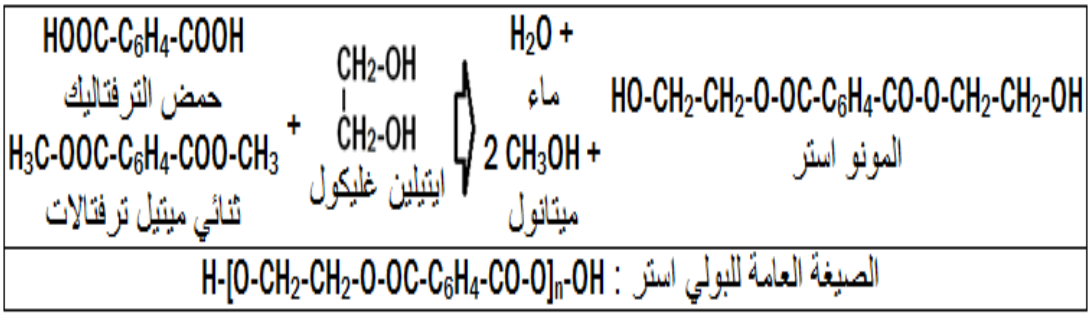
يتم تحضير البولي استر بتكاثف الايثيلين الجليكولي (احادي ايثيلين الجلايكول) مع حمض الترفتاليك (او مع ثنائي ميثيل الترفتالات) وتعتبر المادة الاولى من اهم المواد الكيميائية العضوية الصناعية لسهولة تحضيرها.

كما يتم تحضير حامض التريفتاليك من البترول حيث يؤكسد الاثيلين بواسطة الاكسجين الجوي مع وجود مادة مساعدة هي اكسيد الاثيلين ويحلل بالتميؤ الى الجليكول .

والجيلكول الاثيليني سائل لزج يشبه الجلسرين ويذوب في الماء والكحول وهو شديد الامتصاص للرطوبة.

وتلعب درجة نقاوة المواد المتفاعلة اهمية كبيرة في جودة البولي استر الناتج حيث ان الشوائب تحد من نمو سلسة البوليمر المتكون ولذلك يجب الا تقل النقاوة عن ٩٩ % في المواد المتفاعلة .

حامض تيرفثاليك	PTA	HOOC(C6H4)COOH
داي مثيل تيرفثالات	DMT	CH3OOC(C6H4)COOCH3
احادي ايثلين الجلايكول	MEG	HO(C2H4)OH



ويراعى في جميع مراحل تصنيع البولي استر ان تتم في جو مخلخل (فاكيوم) وخالي تماما من الاكسجين منعا لحدوث تكسير جزيئي لسلسلة البوليمر او حدوث اي تفاعلات جانبية تؤدي الى خفض في الوزن الجزيئي له اي انخفاض لزوجته مما يؤدي لصعوبة بالغة في عمليات الغزل . وعموما يمكن تقسيم انواع التحلل الكيميائي للبولي استر Chemical Degradation الى مايلي:-

١- التحلل بالاكسدة : Thermo-Oxidative Degradation

يحدث هذا التحلل في وجود اكسجين الهواء الجوي عند درجات حرارة تتراوح بين ٢٨٢ – ٣٢٣° م وينتج عنه تصاعد نواتج غازية متطايرة Volatile Products مثل اول وثاني اكسيد الكربون CO, CO2 والميثان CH4 والبنزين C6H6 والايثيلين C2H4 والاسيتالدهيد CH3CHO وغيرها ، كما ينتج مواد اخرى غير متطايرة Non Volatile Products مثل الميثيل باراتوليت والداي ميثيل داي فينيل ٤.٤ كربوكسيلات.

٢- التحلل الحراري : Thermal Degradation

يحدث عند درجات الحرارة المرتفعة (اكثر من ٣٥٠ درجة مئوية) حيث ينتج عنه كسر في الروابط الجزيئية لسلسلة البوليمر وظهور مجموعات غير متجانسة من المونيمرات تظهر في صور كتل جيلاتينية تتسبب في انسداد الفواني اثناء عمليات الغزل الى جانب ظهور اصفرار في لون الشعيرات الناتجة.

٣- التحلل المائي : Hydrolytic Degradation

يحدث نتيجة تفاعل الماء مع التركيب الجزيئي للبوليمر عند درجات الحرارة المرتفعة والضغط المرتفع وينتج عنه تكوين اوليجمرات وهي عبارة عن سلاسل جزيئية صغيرة من البوليمرات ذات لزوجة منخفضة.

٤- التحلل بسبب العوامل المساعدة : Catalytic Degradation

يحدث نتيجة عدم نقاء المواد المساعدة المضافة ووجود بعض الشوائب المعدنية في تركيبها مما ينتج عنه تكوين سلاسل فرعية ذات روابط ضعيفة مع السلسلة الرئيسية للبوليمر وبالتالي عدم انتظام التركيب الجزيئي لها مما يؤدي لصعوبة بالغة اثناء عمليات الغزل والسحب والشد.

*** خطوات تصنيع الياف البولى استر :**

- يحضر الاستر بالتكاثف التكاثري بين الجليكول وحامض التريفتاليك او الاستر المثيلي وهو اكثر استخداما ، وذلك لأن باستعمال الاستير يمكن ان نحصل على تفاعل مستقيم وتفادي حدوث التفاعلات الثانوية لهذا الحامض ويتم ذلك بالتسخين الى درجة حرارة مرتفعة وفي جو خال من الهواء (الاكسجين) ويستمر التفاعل حتى تبلغ درجة التكاثف (٨٠) وبعد ذلك يصب المحلول على اسطوانة ونبثق عليه الماء كما يحدث في النايلون ثم تجفف القشور المتكونة.

اولا : تكوين الوحدة البنائية (Monomer) في خطوتين:

١- مبادل الاستر Ester – Inter – Exchange

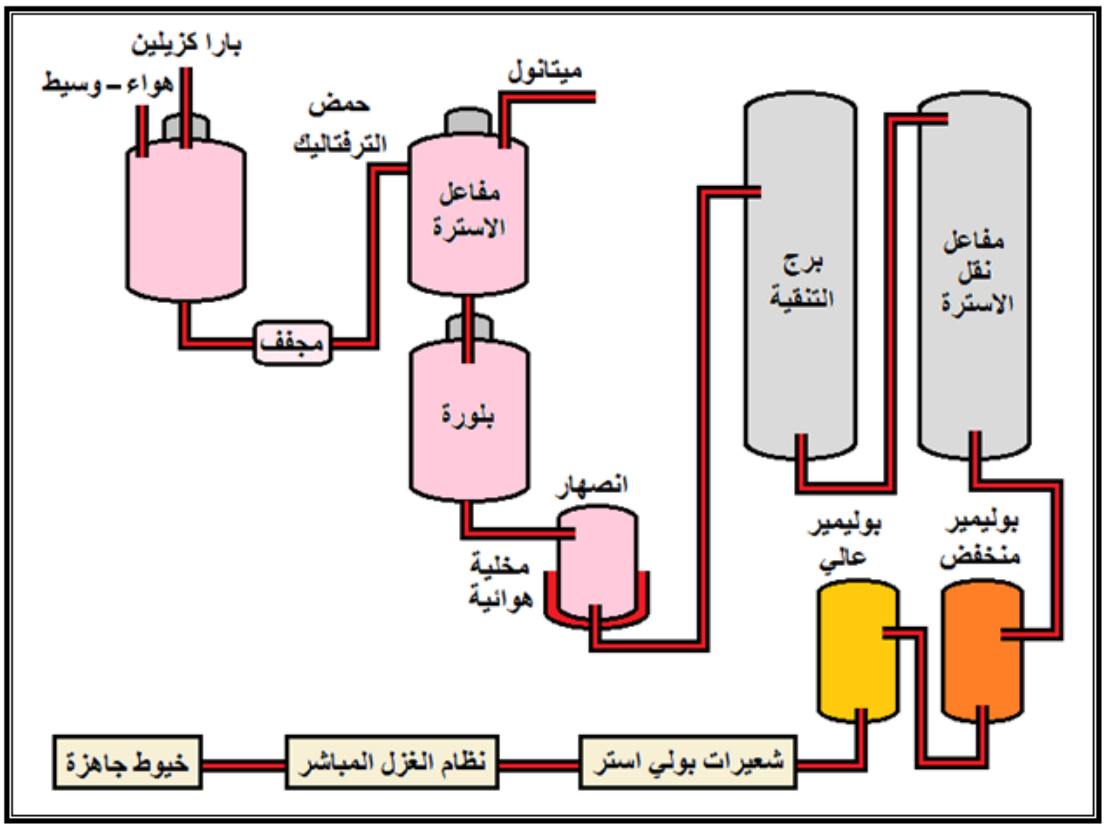
٢- مزيل الجلايكول Glycol Removal

ثانيا : التكاثف (البلمرة) اي تكوين السلاسل الجزيئية في ثلاث خطوات:

٣- مرحلة ما قبل البلمرة Pre-Polycondensation Process

٤- مرحلة البلمرة Polycondensation Process

٥- مرحلة ما بعد البلمرة Post-Polycondensation Process



اولا : تكوين الوحدة البنائية

١- مبادل الاستر :

تتم عملية التفاعل بين كل من ثنائي ميثيل الترفتلات DMT واحادي ايثيلين الجلايكول MEG في مبادل الاستر بالتسخين لدرجة حرارة مرتفعة وفي وجود مادة خلات المنجنيز Manganese Acetate (Mg (CH3 COO)2) كعامل مساعد في بناء السلسلة لتكوين ثنائي جلايكول ترفتلات DGT وهي مادة البناء الاساسية للبولي استر ولها قابلية التجمع في صورة سلاسل جزيئية طويلة لتكوين البوليمر المطلوب.

٢- مزيل الجلايكول :

تتم فيه ازالة الجلايكول الزائد عن التفاعل اولا بأول بالحرارة والفاكيوم (ضغط مخلخل) والتقليب ثم تتم اضافة مادة حمض الفوسفوريك (H3PO4) لتثبيت السلاسل الجزيئية (البوليمر) حتى نحصل على اكبر نسبة تحول للمواد المتفاعلة High Conversion Ratio .

ثانيا : التكاثف (البلمرة)

تتم عملية البلمرة على ثلاث خطوات متتالية هي مرحلة بدء البلمرة يليها مرحلة البلمرة ثم مرحلة البوست ويتم في هذه المراحل السماح بتكوين تجمعات جزيئية من ثنائي جلايكول الترفتلات (المونيمر) وبالتالي زيادة الوزن الجزيئي للنواتج وتضاف مادة ثالث اكسيد الانتيمون (Sb2o3) Antimony Trioxide لهذا الغرض حيث تزيد لزوجة الجزيئات بزيادة درجة تكاثفها برفع درجة الحرارة والتقليب كما تضاف مادة ثاني اكسيد التيتانيوم (TiO2) لتقليل درجة الشفافية في البوليمر ويصبح البوليمر نصف مطفي . وينتج عن هذه العمليات جميعها مركب طويل السلاسل حيث يمكن التحكم في طول هذه السلاسل اي الوزن الجزيئي للبوليمر الناتج للحصول على الخواص الفيزيائية والميكانيكية التي تناسب تشغيلة سواء كشعيرات قصيرة (الالياف) Staple Fibers او كخيوط مستمرة Continuous Filament .

وبإنتهاء عملية البلمرة وانتظام لزوجة البوليمر، يكون مصهور البوليمر جاهزا لعملية الغزل حيث يضخ المصهور الى فواني الغزل لانتاج الشعيرات القصيرة (الالياف) Staple Fibers او يتم تحويله الى وحدة انتاج الخرز حيث يحول الى حبل يمرر تحت الماء ليتجمد ثم يقطع على هيئة حبيبات صغيرة ذات ابعاد معينة تسمى خرز البولي استر Polyester Chips حيث يستخدم هذا الخرز في انتاج الخيوط المستمرة او يحول البوليمر مباشرة لماكينات غزل خيوط POY او FOY .

*** غزل الياف البولى استر : Spinning of Polyester**

- يضخ البوليمر المصهور الناتج من عمليات البلمرة عن طريق طلمبات من خلال فونيات الغزل Spinnerates ذات الثقوب الدقيقة (مرفق قطاع عرضي لمجمع فونيات غزل الالياف) ويخرج البوليمر من الفونية على شكل حزمة من الشعيرات المستمرة الرفيعة التي لا تلبث ان تتجمد تحت تأثير تيار من الهواء البارد يدفع عليها بعد خروجها من الفونية مباشرة وتسمى هذه العملية بالتقسية ثم تجمع حزم الالياف الناتجة في صورة حبل Tow بعد مرورها على زيت التجهيز في اسطوانات كبيرة تمهيدا لمرحلة السحب والشد.

*** انواع خيوط البولى استر:**

- يتحدد قطر او سمك خيوط البولي استر وتحديد النمرة على اساس :

١- سرعة مرور محلول البولي استر من المغزل.

٢- عدد الثقوب الموجودة بالمغزل.

٣- سرعة سحب الشعيرات.

- ويتم الحصول على الخيوط بأنواعها المتعددة واقطارها المختلفة ذات الشعيرات المستمرة حيث الخيوط على شكل :

أ – خيوط ذات شعيرات مستمرة Continuous Filament.

ب – خيوط مغزولة ذات شعيرات قصيرة محددة الطول Staple Fibers.

*** مرحلة السحب والشد والتقطيع :**

- يتم تجميع مجموعة معينة من الحبال Tows ذات اللزوجات المتجانسة من داخل الكانات في صورة كريل حيث يتم سحبها وامرارها على احواض زيت التجهيز ثم الى مجموعة سلندرات الشد عبر حمام بخار ثم الى مجموعة من الكالندرات حيث تتم عملية التثبيت الحراري ثم تغمر الحبال مرة اخرى في احواض زيت التجهيز ومنها الى العصارة Squeezer للتخلص من نسبة الزيت الزائد الى المجعد Crimer الى المجفف Dryer واخيرا الى القاطع Cutter حيث يتم قطع الحبال للاطوال المطلوبة ثم تكبس الالياف الناتجة في بالات تعرف بإسم الياف البولي استر القطني التي تصلح للخلط مع الياف القطن او الياف البوليستر الصوفي التي تخلط مع الصوف.

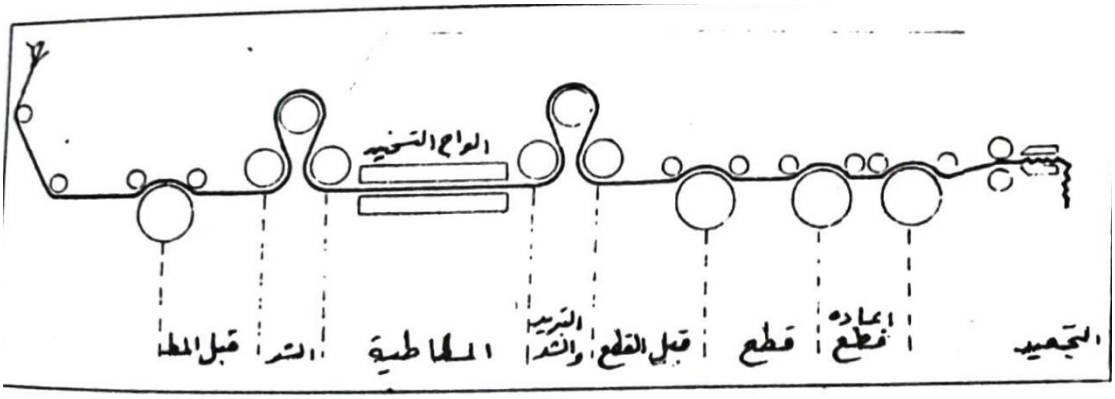
ويجدر الاشارة الى ان مرحلة السحب والشد والمعالجات الحرارية التي تتم فيها تؤثر تأثيرا مباشرا على التركيب الدقيق للالياف الناتجة وينعكس التغير في التركيب الدقيق انعكاسا مباشرا على الخواص الطبيعية والميكانيكة لهذه الالياف وكذلك على الظروف اللاحقة لتشغيلها وعلى

ثبات ابعادها وخلوها من العقد الصغيرة (النبس) Neps والكبيرة (الاسلبس) Slubs والشعيرات الملتحمة Maried Fibers وغيرها.

- لتحضير الياف البولي استر المقطوعة او المحددة الطول ، يسحب البولي استر ذات الشرائط المزدوجة من الياف البولي استر حيث تحول عن طريق شدها وذلك لتخفيض او تقليل الطول حسب الانتظامية المطلوبة الى شريط وبعد ذلك تجعد الشعيرات وتحول من شريط منتظم من الشعيرات حيث تقطع الى شعيرات مقصوصة تستخدم في عمليات الغزل.

- كما يمكن ان تغزل شعيرات البولي استر المقصوصة مباشرة الى خيوط او تخلط مع خامات اخرى مثل القطن ، الصوف أو الرايون وتحول الى غزل .

- وتعتمد نوعيات الالياف المقصوصة الى اطوال محددة حسب الاستعمال النهائي والياف البولي استر لها مرونة عالية ، كما يمكن انتاج نوعين من الخيوط المتضخمة.



*** طريقة غزل الخيوط المستمرة (انتاج خيوط الـــ POY)**

Spinning of Continuous Filament

- يتم غزل خيوط البولي استر بطريقة الانصهار كما يحدث في حالة غزل الياف النايلون وتصنع الالياف على هيئة خيوط ذات شعيرات مستمرة.

- وتنتج خيوط البولي استر بتخانات واطوال حسب الاستخدام المطلوب حيث تتطلب بعض الخيوط ان تكون لامعة او شبه مطفي واحيانا تجهز لتقليل التجعد والانكماش بالخيط.

وخيوط البولي استر المستمرة الشعيرات تكون منتظمة ذات لزوجة متوسطة ونسبة تماسك مرتفعة.

- يمكن توضيح مراحل الانتاج في الخطوات التالية :

١- نقل خرز البولي استر من مكان التخزين الى منطقة الشحن.

٢- نقل الخرز من داخل العبوات الي تنكات الشحن لتقليبه وخلطه لضمان تجانسه وفصل الشوائب منه عن طريق هزاز Agitator وباستعمال الفاكيوم (هواء مخلخل) .

٣- نقل الخرز الى المجفف حيث تتم بلورته Crystallization وتجفيفه بواسطة تيار من الهواء الساخن عند درجة حرارة ١٨٠ ° م للتخلص من الرطوبة السطحية والداخلية بالخرز وذلك لمنع حدوث اي تحلل مائي للبوليمر اثناء صهره.

٤- ينقل الخرز المجفف الى المصهر الحلزوني حيث يتم تحويله الى مصهور خلال مناطق حرارية بالمصهر تتراوح درجات الحرارة فيها بين ٢٨٠ – ٢٩٠ ° م وهذه الحرارة اعلى قليلا من درجة انصهار البولي استر (٢٦٠ ° م) وذلك لضمان تحويل الخرز بصورة كاملة الى مصهور يسهل غزله.

٥- يتم تنقية المصهور بواسطة فلتر ثم ينقل بواسطة طلمبات الى بكات تحتوي على بودرة معدنية تقوم بحجز اي رواسب او شوائب دقيقة حيث تسمح فقط بمرور البوليمر النقي تماما خلال فواني بها عدد من الثقوب الدقيقة تندفع خلالها الشعيرات.

٦- تتم عملية التقسية للشعيرات بمجرد خروجها من الفواني عن طريق تعريضها لهواء رطوبته ٦٥% وحرارته ٢٠ ° م ويسمى هواء التقسية يتم دفعه بصورة منتظمة وبسرعة ثابتة.

٧- يتم تزويد الشعيرات المغزولة بزيوت تجهيز خاصة لمنع تكوين شحنات الكهرباء الاستاتيكية التي تحدث بسب الاحتكاك بين الشعيرات وبعضها وبين الشعيرات واجزاء الماكينة.

٨- يتم تجميع الشعيرات الناتجة على وحدات سحب (وحدات التك آب) على صورة خيوط يطلق عليها خيوط POY .

*** خصائص ألياف البولي استر:**

الخواص الفيزيائية:

تعتبر ألياف البوليستر من الألياف ضعيفة الألفة للماء و ذلك بسبب بنيتها الداخلية المنتظمة و عدم احتوائها على مجموعات هيدروفيلية ، و هذا يعني محتواها من الرطوبة أقل و بالتالي قدرة على التجفيف بشكل أسرع و عزل أكبر وصعوبة الصباغة و ظهور الكهربائية الساكنة و إضافة إلى ما ذكر فإن البوليستر يتمتع بمقاومة ممتازة للتعفن و الهجوم البكتيري.

تمتاز ألياف البولي إستر بمتانتها ومرونتها و تختلف هذه المتانة والمرونة بإختلاف مقدار الشد الواقع عقب الغزل وتمتص ألياف البولي إستر الرطوبة في الظروف العادية بمقدار ٠.٥ % رطوبة ممتصة في درجات الحرارة العادية. تتحمل ألياف البولي إستر التسخين فترة طويلة.

لا يمكن صباغة ألياف البولي إستر بسهولة بسبب عدم إنتفاخها و تفتحها و تحتاج عملية صباغتها إلى بعض المواد المساعدة على الإنتفاخ و أحيانا الصباغة في درجات الحرارة المرتفعة للمساعدة على تحلل المادة الصابغة داخل مسام الألياف.

الخصائص الكيميائية :

- تبدي ألياف البوليستر مقاومة جيدة للأحماض المعدنية الضعيفة حتى في درجة حرارة الغليان و لمعظم الأحماض القوية في درجة الحرارة العادية ، و لكنها تنحل بشكل جزئي في حمض الكبريت المركز في الحرارة العادية و تذوب بشكل تام في الحرارة العالية .
- أما مقاومته للقلويات الضعيفة فهي جيدة و لكنه حساس للقلويات القوية مثل هيدروكسيد الصوديوم.
- يبدي البوليستر مقاومة جيدة للعوامل المؤكسدة.

*** يمكن تلخيص المميزات الرئيسية لالياف البولي استر او المنتجات المصنعة منها فيما يلي :**

١- تتميز هذه الالياف بمتانة عالية ومعامل مرونة مرتفع الامر الذي يكعل المنتجات المصنعة منها ذات قابلية سريعة لاستعادة شكلها بعد التعرض لاجهاد محدد . ولهذا يرجع السبب في كون هذه المنتجات لا تتكسر او تتكرمش بسهولة ، وتتسم بثبات ابعادها سواء في الحالة الجافة او الرطبة وعند درجات الحرارة المنخفضة والعالية.

٢- تتسم باستطالة اقل من استطالة الياف البولي اميد عند التعرض لاجهادات منخفضة ، مما يحبذ استخدامها في انتاج خيوط الحياكة والكورد.

٣- ذات قدرة عالية على مقاومة تأثير الاحتكاك.

٤- ذات قدرة ممتازة على تحمل تأثير الحرارة ، ويمكن كيها عند درجات حرارة عالية نظرا لارتفاع نقطة الليونة الحرارية (اكبر من ٣٢٠ ° م) الخاصة بها.

٥- تحتفظ بالاشكال الزخرفية والكسرات المكتسبة حتى بعد الابتلال والتجفيف المتكرر.

٦- تتميز بقدرة عالية على مقاومة تأثير الضوء والظروف الجوية الامرالذي يجعلها ملائمة للاستخدام في صناعة فرش السيارات.

٧- تتسم بخواص عزل كهربي جيدة.

٨- ذات قدرة عالية على مقاومة تأثير الكيماويات وخاصة الاحماض وكذلك على مقاومة التحلل البيولوجي.

٩- تتسم المنتجات المصنعة منها بملمس مخالف للملمس الصناعي مما يعطى شعورا عاما بالراحة والدفء.

*** وفي المقابل تتسم هذه الالياف وكذلك المنتجات المصنعة منها بعدة عيوب اهمها :**

١- تحتوي على كميات كبيرة من الشحنات الكهروستاتيكية الامر الذي يجعلها قابلة للإمتزاج بالاتساخات والشحوم والزيوت.

٢- تتطلب عملية صباغتها اجراء معالجات وتحويرات محددة مثل تخليق الالياف من الكوبولي استرات بدلا من الهوموبولي استرات.

٣- عدم القدرة على امتصاص الماء والعرق ، هذا وقد امكن التغلب على هذا العيب عن طريق استحداث تركيبات نسجية محددة وكذلك باستخدام الشعيرات ذات القة الفائقة (Microfibers) في تصنيع المنتجات ، وقد ادى ذلك الى سهولة انتقال العرق والماء الى سطح النسيج الامر الذي كفل الشعور بالراحة اثناء اللبس وقد امكن ايضا زيادة قدرة الالياف على امتصاص الرطوبة من خلال المعالجات الكيميائية لها.

٤- قابلية المنسوجات المصنعة من هذه الالياف لتغيير شكلها الخارجي من خلال ظاهرة التكور (Pilling Effect) ، وقد امكن التغلب على هذه الظاهرة عن طريق انتاج الياف محورة تتسم بخاصية تكور منخفضة.

*** مجالات استخدام الياف البولي استر :**

- تعتبر ألياف البولي استر من الألياف الصناعية الأكثر شيوعا. تستخدم أقمشة البولي استر في الثياب وأقمشة المفروشات مثل أغطية الأسرة، والملاءة، والستائر والأغطية. ويستخدم في التطبيقات الصناعية كما في إطارات السيارات وأحزمة الأمان في جميع السيارات. وتستخدم ألياف البولي استر أيضا كمواد مالئة كما في الوسائد والحشوات والدثائر المريحة واللحف.

- تعرف أقمشة البولي استر لأنها أقل راحة من مثيلاتها المصنوعة من الألياف الطبيعية مثل القطن ولكنها تتميز عنها بعدة مزايا مثل مقاومة الاهتراء، ومقاومة التجعيد. وللاستفادة من خصائص كلا النوعين من الألياف، عمد إلى انتاج غزول تحتوي على كلا النوعين وبنسب مختلف طبقا للمواصفات والتطبيقات المختلفة.

- ويستخدم البولي استر في صناعة القوارير، والأغشية الرقيقة، والقماش المشمع، والمصافي والمرشحات، والأغشية العازلة كهربائيا، وأغلفة الأسلاك الكهربائية، إلخ..

- تستخدم خيوط البولي استر المتضخمة في انتاج اقمشة التريكو والاقمشة المنسوجة وفي انتاج البلوزات الحريمي واربطة العنق والمفروشات والملابس الرياضية واقمشة الشماسي.

- تستخدم الخيوط العالية المتانة في الاغراض التكتيكية مثل تصنيع خيوط الحياكة والكورد وفي تصنيع سيور نقل الحركة واحزمة النقل ، والمنسوجات متعددة الطبقات والاحزمة والجوارب وخراطيم الحريق والحبال واقمشة الاشرعة والخيام وكذلك في صناعة االمصافي والمرشحات المنسوجة التي تستخدم على سبيل المثال في صناعة الورق.

بعض الاختصارات المستخدمة فى مجال الألياف الصناعية

LOY : Low Oriented Yarn

MOY : Medium Oriented Yarn

POY : Partially Oriented Yarn

HOY : Highly Oriented Yarn

FOY : Fully Oriented Yarn

FDY : Fully Drawn Yarn

DTY : Drawn Textured Yarn

PSY : Polyester Spun Yarn

PFY : Polyester Filament Yarn

HSY : High Shrinkage Yarn

HTY : High Tenacity Yarn

HMLS : High Modulus Low Shrink

SSP : Solid State Polymerization

WDS : Warp Drawn - Sizing System

BCF : Bulked Continuous Filament For Carpets

SD : Semi-dull Fibers Or Filaments

BR : Bright Fibers Or Filaments

PET : Polyethylene Terphthalate

PTT : Polytrimethylene Terphthalate

PBT : Polybutylene Terphthalate