جمهوری اسلامی ایران

معاونت پژوهش و فناوری

بررسی و ارائه روش‌های مختلف تکمیل ضدآتش منسوجات متداول

(گزارش مرحله اول)

(۱۱-۲۱۷۶)

جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

حمیدرضا علی‌بابایی

گروه پژوهشی تکنولوژی نساجی

بهار ۱۳۹۴

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir

جمهوری اسلامی ایران

معاونت پژوهش و فناوری

بررسی و ارائه روش‌های مختلف تکمیل ضدآتش منسوجات متداول

(گزارش مرحله اول)

(۱۱-۲۱۷۶)

جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

گروه پژوهشی تکنولوژی نساجی

بهار ۱۳۹۴

Archive of SID

www.SID.ir

شناسنامه گزارش

عنوان گزارش: گزارش مرحله اول

شمارهٔ ویرایش: اول

عنوان فارسی طرح پژوهشی: بررسی و ارائه روش‌های مختلف تکمیل ضدآتش منسوجات متداول

عنوان انگلیسی طرح:

Study and Present Various Method of Fir Retardent Finishing for Conventional Textile

کد طرح: ۱۱-۲۱۷۶

نام فایل گزارش: Fire Retardent Textile

تالیف کننده‌ها: حمیدرضا علی‌بابایی، سیده فرخ حسینی شکرابی، ریحانه میرخانی، مهدی ورسه‌ای

ویرایش علمی: حمیدرضا علی‌بابایی

ویرایش ادبی: حمید رضا علی‌بابایی

تاریخ طرحنامه: ۱۳۹۲/۱۰/۳۰

تاریخ تصویب در شورای بررسی نهایی طرح‌ها: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴

تاریخ شروع اجرای طرح: ۱۳۹۳/۰۵/۱۵

سطح دسترسی به سند: نامحدود/ محرمانه(بدون موافقت کتبی، نسخه‌برداری یا تکثیر ممنوع است)

نام مسئول یا همکار	محل استخدام	تخصص	عناوین فعالیت‌هایی که در طرح انجام داده‌اند	کارکرد در طرح به ساعت
حمیدرضا علی‌بابایی	واحد صنعتی امیرکبیر	مهندسی نساجی- تکنولوژی نساجی	مدیریت پروژه، جمع‌آوری اطلاعات و آنالیز آنها	۴۰۰
سیده فرخ حسینی شکرابی	واحد صنعتی امیرکبیر	مهندسی نساجی- شیمی نساجی و علوم الیاف	تولید نمونه‌های آزمایشگاهی، انجام آزمایشات و آنالیز آنها	۴۰۰
ریحانه میرخانی	واحد صنعتی امیرکبیر	مهندسی نساجی- تکنولوژی نساجی	تولید نمونه‌های آزمایشگاهی، انجام آزمایشات و آنالیز آنها	۱۶۰
مهدی ورسه‌ای	واحد صنعتی امیرکبیر	مهندسی نساجی- تکنولوژی نساجی	مشاور پروژه	۱۶۰

سازمان مجری: معاونت پژوهشی صنعتی امیرکبیر

گروه مجری: تکنولوژی نساجی

نشانی: تهران، خ حافظ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، جهاد دانشگاهی واحد امیرکبیر

تلفن محل کار تالیف‌کننده اصلی: ۶۶۹۵۰۹۸۱-۰۲۱

نشانی پست الکترونیک تالیف‌کننده اصلی: alibabaei@acecr.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

چکیده

در این تحقیق از چهار نوع پارچه با جنس‌های پلی‌استر، نایلون، اکریلیک و پنبه/پلی‌استر (۸۰/۲۰)، مورد مصرف در اغلب منسوجات متداول، استفاده شد. منسوجات نایلونی، پلی‌استری و اکریلیکی با رزین SP و منسوج پنبه/پلی‌استر با رزین CE به روش تکمیل شیمیایی ضد آتش شدند. همچنین از رزین‌های مختلف پشت‌پوشی متفاوتی نیز در کنار ماده ضد آتش استفاده شد و اثر هر یک از آنها مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی اشتعال‌پذیری نمونه‌ها با آزمون شعله عمودی و افقی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین خصوصیات کششی، جرخوردگی و ثبات رنگ در برابر شستشو و نور نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده نشان داد که رزین SP به تنهایی و بدون هیچ ماده جانبی عملکرد خوبی برای ضد آتش کردن منسوجات پلی‌استری، اکریلیک و نایلونی دارد. نمونه‌ها با دور شدن شعله خاموش شدند و قطرات مذاب در حین آزمون مشاهده نشد. منسوج پنبه/پلی‌استر ضد آتش شده با رزین CE بعد از سوختن، زغال بجا گذاشت و همچنین سرعت شعله در نمونه‌ها کاهش یافت. همچنین استفاده از مواد ضد آتش تغییری در استحکام کششی، جرخوردگی و ثبات رنگ در برابر شستشو و رنگ ایجاد نکرد.

کلید واژگان: ضد آتش، تکمیل شیمیایی، منسوجات متداول

Archive of SID

www.SID.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: جمع‌بندی طرح‌های پژوهشی انجام شده و بررسی روش‌های ضدآتش کردن منسوجات منتخب	
۱ـ۱ـ مقدمه	۲
۱ـ۲ـ مروری بر تجربیات سه طرح پژوهشی اجرا شده و نتایج آن	۳
۱ـ۲ـ۱ـ دست‌آوردهای طرح پژوهشی "بررسی و مطالعه در خصوص تکنولوژی تولید لباس‌های محافظ در برابر حرارت"	۳
۱ـ۲ـ۲ـ دست‌آوردهای طرح پژوهشی "تکنولوژی ساخت و تولید پوشاک محافظ در برابر حرارت و پاشش مذاب"	۴
۱ـ۲ـ۳ـ دست‌آوردهای طرح پژوهشی صنعتی"تدوین دانش فنی و تولید نمونه مهندسی منسوجات ضد آتش با جنس‌های مختلف به روش پشت‌پوشی"(Back-coating)	۵
۱ـ۳ـ اولویت‌بندی انتخاب چهار نوع منسوج برای ضد آتش کردن	۵
۱ـ۴ـ شناسایی خواص فیزیکی و حرارتی منسوجات منتخب	۶
۱ـ۴ـ۱ـ منسوجات پلی استری	۷
۱ـ۴ـ۲ـ منسوج اکریلیکی	۸
۱ـ۴ـ۳ـ منسوج نایلونی	۹
۱ـ۵ـ مطالعه مواد و روش‌های ضد آتش کردن منسوجات منتخب	۱۰
۱ـ۵ـ۱ـ مکانیزمهای متداول ضد آتش	۱۱
۱ـ۵ـ۲ـ روش‌های تولید منسوجات ضدآتش	۱۱
۱ـ۵ـ۳ـ تکمیل شیمیایی منسوج با مواد ضد آتش	۱۲
۱ـ۵ـ۴ـ ساختمان شیمیایی مواد ضدآتش	۱۹
۱ـ۵ـ۴ـ روش‌های متداول تولید منسوجات ضد آتش	۲۴
۱-۶- روش‌های ارزیابی اشتعال‌پذیری منسوجات	۳۷
۱ـ۶ـ۱ـ ضریب اکسیژن محدود (LOI)	۳۷
۱ـ۶ـ۲ـ روش اندازه‌گیری TGA	۳۹
۱ـ۶ـ۳ـ اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی	۳۹
۱ـ۶ـ۴ـ روش گرماسنجی مخروطی	۴۰
۱ـ۷ـ جمع بندی	۴۱
فصل دوم : تولید نمونه‌های آزمایشگاهی منسوجات منتخب ضدآتش و انتخاب نسخه بهینه	
۲ـ۱ـ مقدمه	۴۴
۲ـ۲ـ مواد مورد نیاز برای ضد آتش کردن منسوجات منتخب	۴۴
۲ـ۲ـ۱ـ مشخصات پارچه‌های استفاده شده	۴۵
۲ـ۲ـ۲ـ رزین ضد آتش	۴۶
۲ـ۲ـ۳ـ رزین پشت پوشی	۴۶
۲ـ۳ـ تجهیزات استفاده شده جهت ضد آتش کردن منسوجات	۴۷
۲ـ۳ـ۱ـ دستگاه فولارد	۴۷
۲ـ۳ـ۲ـ دستگاه استنتر	۴۸

Archive of SID

www.SID.ir

۲ـ۴ـ تعیین فرآیند ضدآتش کردن منسوجات ۴۹
۲ـ۴ـ۱ـ ضد آتش کردن منسوجات پلی‌استری ۴۹
۲ـ۴ـ۲ـ ضد آتش کردن کردن منسوجات پنبه/پلی‌استر ۵۴
۲ـ۴ـ۳ـ ضد آتش کردن منسوجات اکریلیکی ۵۶
۲ـ۴ـ۴ـ ضد آتش کردن منسوجاتی نایلونی ۵۶
۲ـ۵ـ ضد آتش کردن چهار منسوج منتخب ۵۶
۲ـ۶ـ جمع بندی ۵۷
فصل سوم: بررسی ویژگی‌های منسوجات منتخب ضدآتش و جمع‌بندی نتایج
۳ـ۱ـ مقدمه ۵۹
۳ـ۲ـ آزمایش خواص فیزیکی منسوجات قبل و بعد از ضد آتش کردن ۵۹
۳ـ۲ـ۱ـ وزن در واحد سطح نمونه ۵۹
۳ـ۲ـ۲ـ ضخامت پارچه ۶۰
۳ـ۳ـ آزمایش خواص مکانیکی منسوجات قبل و بعد از ضد آتش کردن ۶۱
۳ـ۳ـ۱ـ اندازه‌گیری استحکام کششی پارچه ۶۱
۳ـ۳ـ۲ـ استحکام پارچه در برابر جرخوردگی ۶۳
۳-۴- آزمایش خواص شیمیایی منسوجات قبل و بعد از ضد آتش کردن ۶۴
۳ـ۴ـ۱ـ ثبات نمونه‌ها در برابر نور ۶۴
۳ـ۴ـ۲ـ ثبات شستشویی منسوجات ۶۵
۳ـ۵ـ آزمایش میزان اشتعال‌پذیری منسوجات قبل و بعد از ضد آتش کردن ۶۷
۳ـ۵ـ۱ـ اندازه‌گیری اشتعال‌پذیری افقی نمونه‌ها ۶۷
۳ـ۵ـ۲ـ تست عمودی نمونه‌ها براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳ ۶۸
۳ـ۶ـ نتیجه‌گیری ۷۰
۳ـ۶ـ۱ـ ارزیابی میزان اشتعال‌پذیری منسوجات منتخب ضد آتش شده ۷۱
۳ـ۶ـ۲ـ بررسی تأثیر عملیات ضدآتش کردن بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی منسوجات منتخب ۷۳
مراجع

Archive of SID
www.SID.ir

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: ساختار تکرار شونده الیاف پلی اتیلن ترفتالات	۸
شکل ۱ـ۲: ساختمان شیمیایی الیاف اکریلیک	۸
شکل ۱-۳: ساختار شیمیایی نایلون ۶ و نایلون ۶۶	۹
شکل ۱-۴: پلی فسفاژن	۲۰
شکل ۱-۵: فرمول کلی POSS	۲۲
شکل ۱-۶: انتشار زنجیروار رادیکال‌ها هنگام سوختن اتان	۲۳
شکل ۱-۷: واکنش رادیکال‌های تولید شده حین سوختن با رادیکال‌های هالوژن	۲۳
شکل ۱-۸: Tris (2, 3_dibromo Propyl) Phosphat	۲۵
شکل ۱ـ۹: ترکیبات حلقوی فسفات / فسفونات	۲۵
شکل ۱ـ۱۰: هگزا برمو سیکلو دودکان (Hexa Bromo Cyclo Dodecane)	۲۶
شکل۱-۱۱: میزانLOI منسوجاتی PET پیوند داده با PANI، POAN، POT	۲۷
شکل ۱-۱۲: روش‌های تولید الیاف اکریلیک	۲۸
شکل ۱-۱۳: ازدیاد طول تا حد پارگی و استحکام کششی پلی آمید خام، پلی آمید۶/۳ ٪ سولفات آمونیوم و پلی آمید ۶/۵ ٪ سولفات آمونیم	۳۲
شکل ۱-۱۵: تغییرات میزان پیوند مونومر اکریل آمید a با تغییر زمان b با تغییر دما	۳۴
شکل ۱-۱۶: نحوه واکنش اتصال دهنده DMDHEU با ترکیب HFPO	۳۵
شکل ۱-۱۷: سرعت رهایش گرما برای نمونه خام و نمونه عمل‌آوری شده با HFPO	۳۵
شکل ۱-۱۸: گرماسنج مخروطی	۴۱
شکل ۲ـ۱: دستگاه فولارد	۴۸
شکل ۲ـ۲: دستگاه استنتر	۴۹
شکل ۲ـ۳: طول سوختگی پتو پلی‌استری a) تکمیل شده بدون نمک b) تکمیل شده به همراه نمک	۵۲
شکل ۲-۴: پارچه پنبه/پلی‌استر خام	۵۴
شکل ۲-۵: پارچه پنبه/پلی‌استر تکمیل شده با رزین SP	۵۴
شکل ۲-۶: پارچه پنبه/پلی‌استر عمل‌آوری شده با رزین CE	۵۵
شکل ۲-۷: پارچه پنبه پلی‌استر عمل‌آوری شده با مخلوط رزین SP و CE	۵۵
شکل ۳ـ۱: نحوه قرارگیری نمونه در برابر آتش مطابق استاندارد FAR ۲۵،۸۵۳	۵۵

Archive of SID
www.SID.ir

فهرست نمودارها

نمودار ۲ـ۱: بررسی اثر رزین‌های پشت‌پوشی بر طول سوختگی منسوجاتی پلی‌استری ۵۱
نمودار ۲ـ۲: بررسی اثر غلظت رزین ضد آتش در ضد آتش کردن منسوجاتی پلی‌استری ۵۳
نمودار۳ـ۱: نمودار وزن در واحد سطح نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد ضد آتش کننده ۶۰
نمودار ۳ـ۲: استحکام کششی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد ضد آتش ۶۲
نمودار۳ـ۳: ازدیاد طول تا حد پارگی پارچه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد ضد آتش ۶۳
نمودار۳ـ۴: استحکام در برابر جرخوردگی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیر سوز کننده ۶۴

Archive of SID

www.SID.ir

فهرست جداول

عنوان | صفحه

جدول ۱ـ۱: مواد ضد آتش استفاده شده برای منسوجات در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ ۳
جدول ۱–۲: دمای انتقال حرارتی و ضریب اکسیژن محدود تعدادی از الیاف ۷
جدول ۱ـ۳: ترکیبات انتخابی ضد آتش به روش تورم حرارتی ۱۶
جدول ۱ـ۴: تکمیل شیمیایی منسوجاتی پلی‌آمیدی ۳۳
جدول ۱ـ۵: مقادیر ضریب اکسیژن محدود (LOI) الیاف و نوع سوختن آنها در هوا ۳۸
جدول ۲–۱: مشخصات پارچه‌های مورد استفاده در این تحقیق ۴۵
جدول ۲ـ۲: رزین‌های ضدآتش استفاده شده جهت ضد آتش کردن منسوجات ۴۶
جدول ۲ـ۳: رزین‌های پشت‌پوشی استفاده شده جهت ضد آتش کردن منسوجات ۴۷
جدول ۲ـ۴: بررسی اثر رزین‌های ضد آتش در ضد آتش شدن منسوجاتی پلی‌استری ۵۰
جدول ۲–۵: بررسی اثر رزین پشت‌پوشی در دیر سوز شدن منسوجاتی پلی‌استری ۵۲
جدول ۳ـ۱: ضخامت نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد ضد آتش کننده آتش ۶۱
جدول ۳–۲: ثبات نوری نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل ۶۵
جدول ۳ـ۳: نوع نمونه‌های همراه مورد استفاده در نمونه‌ی مرکب ۶۶
جدول ۳ـ۴: ثبات شستشویی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل ۶۶
جدول ۳–۵: آزمایش اشتعال‌پذیری افقی نمونه‌ها ۶۸
جدول ۳ـ۶: نتایج تست عمودی نمونه‌ها براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳ ۶۹

Archive of SID

www.SID.ir

فصل اول

جمع‌بندی طرح‌های پژوهشی انجام شده و بررسی روش‌های ضدآتش کردن منسوجات منتخب

Archive of SID

www.SID.ir

۱ـ۱ـ مقدمه

با توجه به کاربرد الیاف و منسوجات در زندگی روزمره و این که منسوجات ازجمله مواد قابل اشتعال می‌باشند و از طرفی این مواد می‌توانند هر ساله خسارات مالی وجانی زیادی دراثر آتش گرفتن به وجود آورند لازم است دربعضی موارد منسوجاتی ضدآتش تولید شود. در عمل هرگز نمی‌توان پارچه را به صورتی درآورد که اصلاً آتش نگیرد ولی با استفاده از الیاف ضد آتش یا به‌کارگیری مواد شیمیایی جهت تکمیل پارچه، در نهایت می‌توان منسوجاتی تولید نمود که قابلیت کندکنندگی شعله را داشته باشند .

شناسایی مواد تأخیرانداز شعله در طول جنگ جهانی دوم توسعه یافت و در زمان‌های صلح و آرامش نیز این تحقیقات تا توسعه تجاری الیاف و منسوجات ضدآتش، ادامه پیدا کرد. سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰ را دوره طلایی تحقیقات ضدآتش نامیده‌اند. در این سال‌ها و در سال‌های اولیه آن اولین اختراعات با تعدادی از ارگانو فسفرهای با ثبات بالا برای پنبه ثبت گردید این تحقیقات ادامه یافت تا به تولید مواد ضدآتش کراس‌لینک‌کننده بر پایه نمک تتراکیس هیدروکسی متیل فسفیم رسید.

در کنار توسعه الیاف مصنوعی، الیاف مقاوم در برابر حرارت با ساختمان پلیمری آروماتیک مانند پلی متا آرامید (نومکس) تولید گردید که در دهه ۱۹۶۰ به عنوان الیاف برای استفاده در فیلترهای مورد استفاده در دمای بالا و سپس در لباس راننده‌های مسابقات اتومبیل رانی استفاده شد. پس از آن در انتهای دهه ۱۹۶۰ الیاف پلی پارا آرامید (کولار) با استحکام و مدول بالا که در مقابل حرارت و آتش نیز مقاوم بود تولید گردید. جدول ۱-۱ مواد ضدآتش تولید شده در این دهه را نشان می‌دهد[۱].

از سال ۱۹۸۰ تا حدود ۲۰۰۰ قوانین زیادی برای پارچه‌های ضد آتش وضع گردید، این قوانین توسعه مواد ضد آتش را برای پشت‌پوشی همه نوع از الیاف افزایش داد و استفاده از مواد ضد آتش هالوژنی بیشتر مورد توجه قرار گرفت. این در حالی است که در کنار آن فشار برای مضر بودن این مواد به ویژه دکا برومودی فنیل اتر نیز افزایش یافت. بعد از آن از سال ۲۰۰۰ محدوده‌هایی که بیشتر مورد توجه قرار گرفت عبارتند از:

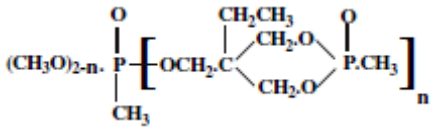
- کوشش برای توسعه بیشتر مواد ضد آتش در جدول ۱-۱؛
- ارزیابی خطر محیط زیستی مواد ضد آتش مورد استفاده برای منسوجات با تمرکز روی به‌کارگیری برم؛
- تلاش برای تولید ذغال بیشتر برای الیاف مصنوعی متداول؛

استفاده از نانو تکنولوژی؛

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱ـ۱: مواد ضد آتش استفاده شده برای منسوجات در سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۸۰

الیاف نساجی	فرمول عمومی
سلولز (پنبه، ویسکوز و ترکیب آن با الیاف دیگر) بدون ثبات	آمونیوم فسفات و مخلوط آن با دیگر نمک‌ها، برمید آمونیوم، آمونیوم سولفامات، آمونیوم فسفات‌ها، ترکیبات آلی دارای عنصر فسفر و نیتروژن، بوراکس به همراه ترکیبات بالا
دارای ثبات	نمک تتراکیس(هیدروکسی متیل) فسفنیم (THPX)، ترکیبات N-متیلول و N,N-دی متیلول دی آلکیل فسفونوپروپیونامیدها و مشتقات آن
پشت پوشی(قابل استفاده برای همه منسوجات)	هالو ارگانیک- اکسید آنتیموآن (ATO)، ترکیب (BDE/HBCD)
پشم (ثبات در برابر خشک شویی)	کمپلکس زیرکونیوم و تیتانیوم هگزا فلور، تترا برومو فتالیک انیدرید (TBPA)
پلی‌استر (دارای ثبات)	سیکلو ارگانوفسفونات 
پلی‌آمید (دارای ثبات)	پلی کندانس‌های حاوی N- و S-برای مثال تیو اوره و فرمالدئید
اکریلیک (ترکیب آن در کامپوزیت‌ها)	پشت پوشی با ترکیبات هالوژنه (ATO)

تلاش برای جایگزینی مواد ضد آتش با موادی که سازگار با محیط زیست بوده و ارزان‌تر باشد همچنان ادامه دارد و بیشتر توجه‌ها به سمت تولید موادی بدون فرمالدهید و برم که دارای ثبات بالایی برای پشت‌پوشی پارچه‌های پنبه و ترکیب آن با الیاف مصنوعی، جلب شده است. در این فصل به شناسایی پارچه‌های متداول در زندگی روزمره مردم پرداخته و در ادامه رفتار آنها در برابر آتش، نحوه ضد آتش شدن این پارچه‌ها ارائه می‌شوند [۱].

۱ـ۲ـ مروری بر تجربیات سه طرح پژوهشی اجرا شده و نتایج آن

گروه پژوهشی تکنولوژی نساجی جهاددانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر در راستای دست‌یابی به دانش فنی منسوجات مقاوم در برابر آتش، تاکنون سه طرح پژوهشی مطالعاتی، آزمایشگاهی و صنعتی انجام داده است که در ادامه نتایج آنها ارائه می‌شود.

۱ـ۲ـ۱ـ دست‌آوردهای طرح پژوهشی "بررسی و مطالعه در خصوص تکنولوژی تولید لباس‌های محافظ در برابر حرارت"

در این طرح پژوهشی مطالعاتی، روش‌های گوناگونی برای تولید منسوجات مقاوم در برابر حرارت، حریق و پاشش مورد بررسی قرار گرفت که مهمترین آنها عبارتند از:

Archive of SID

www.SID.ir

الف ـ استفاده از پارچه‌هایی از جنس الیاف ضدآتش و مقاوم در برابر حرارت

ب ـ تکمیل شیمیایی پارچه‌ها با مواد شیمیایی ضدآتش

علاوه بر روش‌های اشاره شده، با استفاده از اصلاح شیمیایی پلیمرها و کوپلیمرسازی نیز، الیاف مورد مصرف در منسوجات مقاوم در برابر حرارت و شعله تولید می‌شوند. از بین روش‌های متعدد تولید پوشاک مقاوم در برابر حرارت، حریق و پاشش مذاب، روش تکمیل پارچه با مواد شیمیایی ضدآتش بیشتر از دیگر روش‌ها در صنعت نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال برای لباس‌های محافظ در برابر حرارت و شعله با سطح ایمنی بالا، می‌توان از ترکیبی از روش‌های فوق بهره گرفت.

دست‌آوردهای مهم انجام طرح مطالعاتی برای محققین گروه پژوهشی تکنولوژی نساجی واحد، شناسایی روش‌های تولید منسوجات ضدآتش و بررسی اجمالی مسائل فنی و اقتصادی این روش‌ها بود. در این مطالعات مشخص شد، به‌کارگیری روش تکمیل منسوجات با استفاده از مواد شیمیایی ضدآتش برای تولید پوشاک مقاوم در برابر حرارت، شعله و پاشش مذاب دارای مزایای فنی و اقتصادی بسیاری است و می‌تواند بخش اعظمی از نیاز پرسنل واحدهای صنعتی ذوت فلزات، به این دسته از پوشاک را برآورده نماید.

۱ـ۲ـ۲ـ دست‌آوردهای طرح پژوهشی "تکنولوژی ساخت و تولید پوشاک محافظ در برابر حرارت و پاشش مذاب"

در این طرح پژوهشی آزمایشگاهی برای اولین بار در کشور، پارچه پنبه‌ای ضدآتشی تولید شد که برخی پارامتر مرتبط با مقاومت آن در برابر شعله، نسبت به پارچه پنبه‌ای معمول، بسیار بهبود یافته است. برای اجرای این طرح پژوهشی براساس مطالعات انجام شده در طرح مطالعاتی، مراحل تولید آزمایشی پارچه پنبه‌ای، از الیاف پنبه تا تکمیل ضدآتش آن انجام گرفت. پس از انجام عملیات تکمیل پارچه، ویژگی‌های مکانیکی و ضدآتش پارچه تکمیل‌شده نهایی، اندازه‌گیری شد. بررسی نتایج نشان داد که عملیات تکمیل ضدآتش باعث شده است خاصیت ضدآتش در پارچه نهایی نسبت به پارچه پنبه‌ای اولیه بسیار افزایش یابد. به‌طوریکه شاخص ضریب اکسیژن محدود (LOI) پارچه ضدآتش شده با افزایش ۷۰ درصدی نسبت به پارچه ضدآتش نشده، به حدود ۳۵ درصد رسید. نکته قابل توجه، ثبات شستشویی و استحکام نمونه¬ها بود که اندکی با نمونه‌های استاندارد فاصله داشت و می‌بایست مورد مطالعه و بررسی بیشتر قرار می‌گرفت تا منسوجاتیی با کیفیت بهتر تولید گردد.

دست‌آوردهای قابل توجه تولید آزمایشگاهی پارچه پنبه¬ای ضدآتش، باعث شد محققین گروه پژوهشی تکنولوژی نساجی واحد برای انجام تحقیقات تکمیلی در جهت بهبود ویژگی ضدآتش محصول تولید شده و

Archive of SID

www.SID.ir

بهره‌برداری از نتایج آن برای دست‌یابی به دانش فنی تولید لباس‌کار پنبه‌ای ضدآتش و تولید صنعتی آن مصصم شوند. به عبارت دیگر، تجارب کسب شده و دست‌آوردهای طرح پژوهشی "تکنولوژی ساخت و تولید پوشاک محافظ در برابر حرارت و پاشش مذاب"، نقطه شروع اقدامات اجرایی و پایه علمی طرح تحقیقاتی بعدی، به ویژه در خصوص پارچه ۱۰۰درصد پنبه‌ای، شد.

۱ـ۲ـ۳ـ دست‌آوردهای طرح پژوهشی صنعتی"تدوین دانش فنی و تولید نمونه مهندسی منسوجات ضد آتش با جنس‌های مختلف به روش پشت‌پوشی"(Back-coating)

در راستای مطالعات انجام شده در طرح‌های قبلی و نتایج آزمایشگاهی بدست آمده، تمامی پارامترهای موثر در تولید پارچه و تکمیل شیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت و جهت دستیابی به ثبات شستشویی بهتر، روش پشت پوشی، جهت تکمیل ضدآتش پارچه پنبه‌ای و پنبه/پلی استر انتخاب شد. پس از انجام آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و انتخاب درست مواد و نوع پارچه، حدود ۱۰۰۰ متر منسوجاتی پنبه و پنبه/پلی استر در مقیاس صنعتی تولید گردید سپس به روش پشت ـ پوشی تکمیل شد.

پس از تولید پارچه ضد آتش، خواص فیزیکی و مکانیکی آن اعم از طول سوختگی و سرعت سوختگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که پارچه پنبه‌ای تولید شده در مقیاس بالا، خاصیت ضد آتش خوبی داشته و ثبات شستشویی آن نیز افزایش یافته است. از دیگر کارهای انجام شده تکمیل منسوجاتی پنبه/پلی استر بود که روند تکمیل آن نیز به خوبی انجام شد و منسوجاتی تولید شده در حین سوختن قطره قطره نشده و از خود سوخته ذغالی به جای گذاشت، که در مقایسه با فرایند سوختن موادی که در حین سوختن ذوب می‌شوند دستاورد بسیار عالی می باشد.

با توجه به تکمیل پارچه پنبه‌ای ضد آتش و تولید صنعتی آن محققین جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر بر آن شدند که تحقیقات خود را گسترش داده و به تکمیل دیگر منسوجاتی که به صورت متداول و در زندگی روزمره استفاده می‌شود، بپردازند تا علاوه بر تولید لباس کار پنبه‌ای ضد آتش شده، امکان تولید دیگر منسوجات ضد آتش را نیز بررسی کرده باشند.

۱ـ۳ـ اولویت‌بندی انتخاب چهار نوع منسوج برای ضد آتش کردن

یکی از عوامل بروز حوادث، آتش و دمای بالا است که جان بسیاری از انسان‌ها را در بسیاری از مشاغل و برخی از موقعیت‌ها تهدید می‌کند، لذا منسوجات محافظ در برابر حرارت و آتش، نقش موثری در کاهش آسیب‌های روحی و جانی و ایجاد خسارات مادی دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

وقوع ناخواسته و خارج از کنترل حوادث آتش‌سوزی در موقعیت‌هایی که تجمع افراد و مواد آتش پذیر وجود دارد (نظیر سالن‌های سینما و همایش‌ها، قطار و هواپیما، هتل‌ها و ساختمان‌های سازمان‌های پر مخاطب)، خسارات مادی و معنوی جبران‌ناپذیری را در پی دارد و بازتاب آن در سطح ملی و بین‌المللی، باعث سلب اعتماد عمومی و کاهش احساس امنیت در جامعه می‌شود. بنابراین توجه به حفاظت انسان‌ها و اموال در برابر شعله آتش، دمای بالا و اجسام داغ، لازم و ضروری است و منسوجات مختلف و پوشاک، نقش موثری در کاهش یا افزایش سطح ایمنی محیط‌های ذکر شده دارد. چراکه اولا" انواع منسوجات در مبلمان، پوشش و زیبا سازی ساختمان‌های مسکونی، اداری و صنعتی، مصرف گسترده‌ای دارند و اکثر آنها، ذاتا" آتش‌پذیر هستند. ثانیا" حفاظ انسان‌ها در برابر کلیه عوامل محیطی، پوشاک است و میزان مقاومت آن در برابر شعله آتش، دمای بالا و اجسام داغ، تعیین‌کننده سطح ایمنی افراد می‌باشد.

امروزه، الیاف جدید و بهبودیافته متعددی به‌صورت تکی یا مخلوط در تولید منسوجات متداول کاربرد دارند که ضدآتش کردن آنها پیچیدگی‌های خاص خود را دارد. بنابراین در طرح تحقیقاتی حاضر، مقاوم کردن منسوجات با الیاف متداول نظیر پلی‌استر، نایلون، اکریلیک و پنبه/پلی‌استر در برابر حرارت و آتش، مدنظر قرار گرفت.

۱ـ۴ـ شناسایی خواص فیزیکی و حرارتی منسوجات منتخب

برای انتخاب مواد مناسب جهت ضد آتش کردن منسوجات، لازم است تا رفتار حرارتی آنها در برابر آتش شناخته شود. مواد پلیمری هنگاهی که می‌سوزند تولید گازهای CO، NO2، HCN و مشابه این مواد می‌کنند که اکثر این مواد سمی هستند. مطابق قوانین استانداردهای بین‌المللی(ISO) و مدل آزمایش میزان گاز N، مشاهده شد که میزان گاز CO تولید شده از الیاف مختلف با یکدیگر متفاوت است و ترتیب میزان آن به صورت زیر دسته‌بندی می شود:

پنبه > پلی پروپیلن > نایلون۶۶ > پلی اورتان > پلی وینیل کلراید >پشم

همانطور که مشاهده می شود الیاف پنبه بیشترین میزان در تولید گاز CO و پشم کمترین میزان را در میان الیاف استفاده شده یرای منسوجات دارند.[۲]

رفتار منسوجات را به هنگام سوختن را می‌توان به صورت ذیل دسته‌بندی کرد:

۱ـ الیافی که در هنگام سوختن تولید ذغال می‌کنند نظیر ویسکوز، پنبه، پشم؛

۲ـ الیافی که در هنگام سوختن ذوب می‌شوند مانند پلی‌آمیدها، پلی استرها، پلی‌پروپیلن.

Archive of SID

www.SID.ir

به طور کلی ترکیبات شیمیایی، انرژی پیوند و نیروهای بین مولکولی فاکتورهایی هستند که رفتار حرارتی هر پلیمری را تحت تأثیر قرار داده و متمایز می‌سازند.[۲]

برای مطالعه رفتار الیاف هنگام سوختن، علاوه بر دمای شیشه‌ای شدن (T_g) و ذوب (T_m) دو مشخصه دمای پیرولیز و اشتعال نیز می‌بایستی بررسی شود. در دمای پیرولیز، تخریب شیمیایی در حضور گرما و هوا انجام می‌شود و اولین مرحله در سوختن پلیمرها می‌باشد. در دمای اشتعال تخریب شیمیایی که با ترکیب جسم با اکسیژن همراه می‌باشد که در این دما تولید گرما و نور می‌شود. ضریب اکسیژن محدود (LOI) عبارت است از مقدار اکسیژن در مخلوط اکسیژن و نیتروژن است که مانع از سوختن نمونه می‌گردد که در بخش‌های بعدی به طور مفصل شرح داده می‌شود. مشخصه‌های سوختن الیاف طبیعی و مصنوعی در جدول ۱ـ۲ ارائه شده است.

جدول ۱-۲: دمای انتقال حرارتی و ضریب اکسیژن محدود تعدادی از الیاف [۲]

الیاف	T_c°C (دمای تخریب)	T_p°C (دمای پیرولیز)	T_m°C	T_g°C	LoI (٪)
نایلون ۶	۴۵۰	۴۳۱	۲۱۵	۵۰	۲۱-۲۲
نایلون ۶۶	۵۳۰	۴۰۳	۲۶۵	۵۰	۲۱-۲۲
پلی‌استر	۴۸۰	۴۰۰-۴۷۷	۲۵۰-۲۵۵	۸۰-۹۰	۲۲
اکریلیک	>۲۵۰	۲۹۰	>۳۲۰	۹۰-۱۰۰	۱۹
پنبه	۳۵۰	۳۵۰	-	-	۱۸-۲۰
ویسکوز	۴۲۰	۳۵۰	-	-	۱۸-۱۹
پشم	۶۰۰	۲۴۵	-	-	۲۵-۲۷

در میان الیاف طبیعی و الیاف متداول مصنوعی الیاف پشمی بیشترین دمای اشتعال را در حدود ۶۰۰ با بیشترین میزان LOI (۲۵-۲۷درصد) و اکریلیک، پنبه و ویسکوز کمترین دمای پیرولیز و اشتعال را دارند. الیاف پلی‌آمید و پلی‌استر که الیافی ترموپلاستیک بوده، با حرارت ذوب شده و تولید قطره‌های مذاب می‌کنند که این چکه‌های مذاب برای پوست خطرناک بوده و صدمات وارده را تشدید می‌کنند.

با توجه به رفتار حرارتی و مشخصه‌های فیزیکی هر لیف که با یکدیگر متفاوت بوده و در مقابل حرارت رفتار خاص خود را دارند، در ادامه به بررسی مشخصه‌های فیزیکی و حرارتی لیف‌های منتخب پرداخته و مشخصه‌های اشتعال هر لیف پرداخته می‌شود.

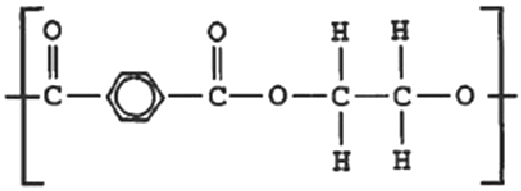
۱ـ۴ـ۱ـ منسوجات پلی استری

پلی استر به پلیمرهایی اطلاق می‌گردد که دارای گروه استر -CO-O- در زنجیره اصلی خود باشند. این گروه استری، حاصل واکنش بین الکل‌های دو ظرفیتی و کربوکسیلیک اسیدهای دو ظرفیتی می‌باشد. الیاف

Archive of SID

www.SID.ir

پلی‌استر که بیشتر منظور لیف پلی‌اتیلن ترفتالات است، مهمترین لیف در صنعت الیاف مصنوعی دنیا می‌باشد. در شکل ۱ـ۱، ساختار شیمیایی پلی‌اتیلن ترفتالات آمده است [۳].



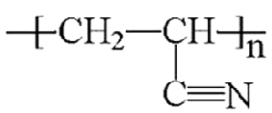
شکل ۱-۱: ساختار تکرار شونده الیاف پلی اتیلن ترفتالات

دمای ذوب الیاف پلی‌استری در حدود ۲۵۰ بوده و دارای دمای اشتعال در حدود ۴۵۰ است که این میزان نسبت به اکریلیک بیشتر بوده ولی نسبت به پشم با دمای اشتعال ۶۰۰ کمتر می‌باشد. الیاف پلی‌استری در حضور شعله ذوب شده و تولید دود می‌کنند.

هر چند این الیاف در زنجیر پلیمری خود دارای ساختمانی حلقوی می‌باشند ولی الیاف پلی‌استری به شدت اشتعال‌پذیرند و با اکسیژن موجود در اتمسفر ۱۵ درصد به راحتی می‌سوزند و در دمای بالا تولید موادی چون اسید ترفتالیک و بنزوئیک، تا اندکی الیگومرهایی از PET و کربنات‌های آروماتیک سایسیلیک می‌کنند. با توجه به قدرت اشتعال‌پذیری بالای این مواد و نیاز روزافزون به استفاده از آنها در منسوجات و صنایع مختلف، نیلزمند تولید این الیاف با اشتعال‌پذیری پایین هستیم[۴].

۱ـ۴ـ۲ـ منسوج اکریلیکی

اکریلیک به الیافی اطلاق می‌شود که حداقل ۸۵ درصد وزن ماکرومولکول‌های آن را واحدهای اکریلونیتریل تشکیل دهد در شکل ۱ـ۲، ساختار شیمیایی اکریلو نیتریل ارائه شده است. چنانچه درصد اکریلونیتریل بین ۳۵ تا ۸۵ باشد الیاف به عنوان مداکریلیک شناخته می‌شوند.



شکل ۱ـ۲: ساختمان شیمیایی الیاف اکریلیک

برای تهیه الیاف اکریلیک در بیشتر موارد مقادیر ۵ تا ۱۰ درصد از منومرهای دیگر مانند متیل اکریلات، متیل متااکریلات، متیل استات و ونیل استات با اکریلونیتریل کوپلیمریزه می‌گردد تا حلالیت آن در حلال‌های مختلف و همچنین نفوذ رنگینه به داخل آن افزایش یابد [۴].

Archive of SID

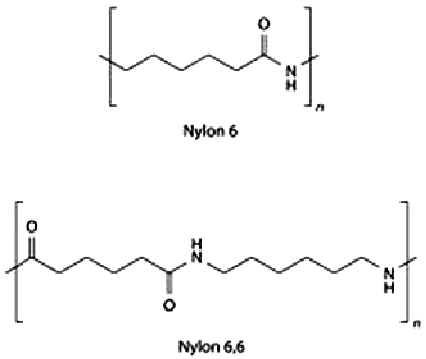
www.SID.ir

الیاف اکریلیک در مقایسه با الیاف دیگر مانند پشم، نایلون، پلی پروپیلن و پنبه سرعت سوختن بالایی دارد و ضریب اکسیژن آن در حدود ۱۸ درصد می‌باشد که این میزان در مقایسه با همه الیاف پایین‌تر است. دمای اشتعال این الیاف ۵۶۰ بوده و در مقابل حرارت جمع می‌شوند بنابراین امکان احتراق‌های تصادفی را کاهش می‌دهند. تمامی الیاف در دماهای حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ تولید گاز می‌کنند و الیاف اکریلیک مخصوصاً زمانی که ساختمان آنها پرز زیاد یا ساختمان شلی داشته باشند به شدت در برابر حرارت می‌سوزند و تولید دود سیاه رنگی می‌کنند که با سوختن این الیاف الکل، هیدروکربنات، کتون و گاز HCN تولید می‌شود که گاز HCN تولید شده بسیار خطرناک بوده و استشمام بیش از اندازه آن موجب مرگ و میر می‌شود[۵].

با نگاه به گذشته متوجه می‌شویم اکثر آتش‌سوزی‌ها در خانه‌ها اتفاق افتاده است و از آنجا که الیاف اکریلیک به طور وسیعی برای لباس‌ها، مصارف خانگی مانند پوشش مبلمان‌ها، پرده‌ها و پرزهای بلند فرش‌ها استفاده می‌شود با توجه به این موارد، این الیاف نیاز به فرایند ضدآتش کردن هستند. پیشگیری از فاجعه، ایمنی و مقررات قانونی سختگیرانه از دیگر انگیزه‌های است که می‌تواند منجر به تولید الیاف اکریلیک ضد آتش گردد.

۱ـ۴ـ۳ـ منسوج نایلونی

پلی‌آمیدها ترکیبات کندانسه‌ای هستند که مطابق شکل ۱ـ۳، دارای گروه تکرار شونده آمید در طول زنجیر اصلی می‌باشند. گرچه از نقطه نظر تئوری تعداد زیادی پلی‌آمید را می‌توان با انتخاب منومرهای مختلف تولید نمود ولی فقط تعداد کمی پلی آمید مانند نایلون ۶۶ و نایلون ۶ که عمدتاً از نوع خطی می‌باشند، به صورت تجاری به بازار عرضه شده‌اند. الیاف نایلون ۶۶ از پلیمریزاسیون هگزامتیلن دی آمین و آدیپیک اسید و الیاف نایلون ۶ از پلیمریزاسیون کاپرولاکتام تهیه می‌گردند. منومرها در هر دو لیف از طریق گروه‌های آمید با یکدیگر پیوند برقرار می‌کنند.[۳]



شکل ۱-۳: ساختار شیمیایی نایلون ۶ و نایلون ۶۶

Archive of SID

www.SID.ir

کاربردهای اصلی الیاف نایلون ۶ و نایلون ۶۶ را نخ کفپوش‌های تافتینگ، نخ خامه قالی، پوشاک به ویژه جوراب تشکیل می‌دهد. انواع نخ‌های نایلونی با استحکام بالا در مواردی مانند تقویت تایر خودرو و هواپیما مورد استفاده قرار می‌گیرند. این الیاف دارای مقاومت بالا در مقابل سایش می‌باشند. الیاف نایلونی با توجه به استحکام بالا و سختی برای تولیدهایی مانند طناب، کمربند ایمنی، چتر نجات، نخ و تور ماهیگیری مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان LOI برای نایلون ۶۶ حدود ۲۰ و برای نایلون ۶ حدود ۲۱ می باشد[۳].

نایلون ۶ و ۶۶ هر دو در دمای ۵۰ نرم می‌شوند و در دمای ۲۱۵ و ۲۶۵ به ترتیب ذوب می‌گردند. نایلون ۶ در دمای بالای ۴۳۰ درجه پیرولیز شده و در دمای ۴۵۰ درجه شعله‌ور می‌شود و نایلون ۶۶ در دمای ۴۰۳ پیرولیز شده و در دمای ۵۳۰ شعله‌ور می‌گردد. کمینه میزان اکسیژن برای احتراق هر دو نایلون در حدود ۲۱تا ۲۲ درصد می‌باشد. نایلون ۶ دمای ذوب پایین‌تری از الیاف نایلون ۶۶ دارد و به موجب همین تفاوت، کند کردن آتش برای نایلون ۶ سخت تر از نایلون ۶۶ است[۲].

پلی‌آمیدها به آرامی می‌سوزند، تولید چکه‌های پلیمری کرده و به علت جمع‌شدگی و تولید قطره به هنگام سوختن، تا حدودی خاصیت خود خاموش شوندگی دارند . از جمله مشکلات در سوختن این الیاف تفاوت زیاد بین دمای ذوب و اشتعال آنهاست که با مشکل ویسکوزیته پایین مذاب آنها همراه می‌شود. همچنین نایلون‌ها خیلی راحت‌تر از دیگر الیاف طبیعی مشتعل می‌شوند[۲].

از آنجا که نایلون‌ها تا حدودی خاصیت خود خاموش‌شوندگی دارند، ولی زمانیکه به صورت ترکیب با دیگر الیاف غیر ترموپلاستیک مورد استفاده قرار گیرند منجر به ایجاد "اثر داربست[1]" می‌شود. بعنوان مثال در ترکیب آن با الیاف سلولزی، این الیاف تولید ذغال کرده و ذغال تولید شده از الیاف سلولزی، موجب می‌گردند که مذاب تولید شده در منطقه آتش باقی مانده و در نهایت ترکیب الیاف به سرعت آتش بگیرد.

در شرایط بسته و در دمای بالای ۳۰۰ محصولات اصلی تجزیه شده از نایلون‌ها، حدود ۹۵ درصد مواد غیر فرار می‌باشد و مواد فرار به طور کلی شامل CO_2، CO، آب، اتانول، بنزن، سیکلوپنتانون، آمونیاک، تعدادی از هیدروکربن‌های آروماتیک و آلیفاتیک و مولکول‌های اشباع شده و غیر اشباع می باشند[۲].

۱ـ۵ـ مطالعه مواد و روش‌های ضد آتش کردن منسوجات منتخب

روش‌های متفاوتی برای ضد آتش کردن منسوجات استفاده می‌شود که با توجه به نوع و جنس لیف، این روش‌ها و مواد استفاده شده متفاوت خواهد بود. تحقیقات زیادی بر روی پارچه با جنس‌های مختلف، انجام شده است که در به‌کارگیری این روش‌ها باید به نوع لیف و همچنین امکانات موجود در کشور توجه شود تا هم خاصیت ضد آتشی قابل توجه و امکان تولید آن در کشور فراهم باشد. در ادامه انواع روش‌های متفاوت

1. Scaffolding effect

Archive of SID

www.SID.ir

جهت ضد آتش کردن منسوجات و معرفی موادی با قابلیت کاهش اشتعال‌پذیری منسوجات پرداخته می‌شود. در انتها نیز راهکارهای استفاده شده در ضد آتش کردن منسوجات منتخب بررسی می‌شود.

۱ـ۵ـ۱ـ مکانیزمهای متداول ضد آتش

روش‌های مختلفی برای جلوگیری از احتراق یا کند کردن آتش وجود دارد که در ادامه به آنها اشاره می‌شود:

۱ـ مکانیزم سرد کردن: در این روش، از موادی استفاده می‌شود که جاذب حرارت بوده و با ایجاد آب و گازهای غیرقابل اشتعال نظیر CO_2 سبب سردشدن گازهای پیرولیز می‌شوند. از جمله مواد مورد استفاده در این مکانیزم، ترکیبات هیدروکسیدآلومینیوم یا کربنات‌کلسیم می‌باشد.

۲ـ مکانیزم پوششی: عمل ضد آتش کردن در این روش به‌وسیله پوشش‌دهی الیاف با موادی غیرقابل نفوذ به اکسیژن انجام می‌گیرد که عمل براکس، اسیدبریک و دیگر مشتقات آنها جهت دفع آتش از این دسته‌اند. هنگامیکه این ترکیبات حرارت داده می‌شوند، با از دست دادن آب، ترکیباتی با نقطه ذوب پایین به‌صورت کف ضدآتش تولید می‌کنند که از انتقال اکسیژن و حرارت ممانعت می‌کند.

۳ـ مکانیزم فاز متراکم شده: در این روش با ایجاد خاکستر غیرقابل احتراق یا به‌وسیله ترکیباتی که در اثر حرارت، گازهای غیرقابل احتراق تولید می‌کنند، آتش خفه می‌شود. ترکیبات سولفات و فسفات بدین روش عمل ضدآتش را انجام می‌دهند.

۴ـ مکانیزم اختلال در ایجاد رادیکال آزاد: در این روش از اختلال در ایجاد رادیکال‌های آزاد جهت مقابله با آتش در فاز گازی کمک گرفته می‌شود. ترکیباتی نظیر هالوژن‌ها و اکسیدهای تیتانیوم، آنتی‌موان و قلع در فاز گازی با مکانیزم اختلال در ایجاد رادیکال آزاد مانع از احتراق کالای نساجی می‌گردد.

۱ـ۵ـ۲ـ روش‌های تولید منسوجات ضدآتش

در سال‌های اخیر تقاضای جهانی برای انواع منسوجات ضد حریق به شدت افزایش یافته است که دلیل آن، افزایش سطح ایمنی مردم در کشورهای صنعتی می‌باشد. تحقیقات متعددی در این زمینه برای دست‌یابی به منسوجات مقاوم در برابر حرارت، شعله انجام گرفته و در حال حاضر نیز این تحقیقات ادامه دارد. به‌طور کلی روش‌های گوناگونی برای مقاوم کردن منسوجات در برابر آتش وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از:

- استفاده از الیافی که به طور ذاتی ضدآتش و مقاوم در برابر حرارت هستند نظیر: کربن، شیشه، آرامید، فنولیک، شبه کربنی؛
- کوپلیمر سازی و اصلاح شیمیایی پلیمر الیاف؛

Archive of SID

www.SID.ir

– تکمیل پارچه‌های متداول با مواد شیمیایی ضدحریق؛

برخی از الیاف به طور ذاتی نسوز هستند و در برابر حرارت و شعله مقاوم می‌باشند. این دسته از الیاف جزء الیاف مصنوعی یا الیاف معدنی هستند و به‌دلیل ساختار شیمیایی زنجیرهای ملکولی و نوع پیوندهای بین زنجیره‌ها، به‌طور ذاتی در برابر شعله و حرارت مقاوم می‌باشند. الیاف آرامیدی، الیاف مداکریلیک، الیاف پلی‌وینیل‌کلراید، الیاف پلی‌بنزیمیدازول (PBI)، الیاف شبه‌کربنی و الیاف فنولیک نمونه‌هایی از الیاف مقاوم در برابر حرارت و شعله هستند[۸].

تولید الیافی که به طور ذاتی در برابر حرارت و شعله مقاوم می‌باشند، با استفاده از تکنولوژی بسیار پیشرفته‌ای امکان‌پذیر است که در اختیار شرکت‌های بزرگ تولید الیاف نظیر؛ DuPont، Teijin، Celanese_Hoechst و Poulene_Rhone قرار دارد. همچنین هزینهٔ منسوجات تولید شده از الیاف ذاتاً نسوز، نظیر؛ الیاف آرامیدی، الیاف پلی‌بنزیمیدازول، الیاف کربن و الیاف فنولیک بسیار بالا است. تولید انبوه این دسته از منسوجات مقرون به صرفه نیست و برای کارگاه‌های کوچک امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین از الیاف فوق‌الذکر برای تولید پوشاک محافظ پیشرفته، نظیر لباس فضانوردان استفاده می‌شود و به‌ندرت از آنها برای تولید منسوجات متداول استفاده می‌گردد [۸].

با استفاده از اصلاح شیمیایی پلیمرها و کوپلیمرسازی نیز، می‌توان الیاف مورد مصرف در منسوجات مقاوم در برابر حرارت و شعله تولید کرد ولی تولید منسوج مقاوم در برابر حرارت به روش تکمیل پارچه با مواد شیمیایی ضدآتش، بیشتر از دیگر روش‌ها در صنعت نساجی مورد استفاده قرار می‌گیرد و تولید منسوج با این روش به صرفه بوده و نیازمند دستگاه و تجهیزات زیادی برای آن نخواهد بود از طرفی استحکام و دیگر خواص مکانیکی منسوجات مانند روش کوپلیمرسازی چندان کاهش نمی‌یابد. در ادامه به معرفی روش‌های تکمیل منسوجاتی نساجی می‌پردازیم.

۱ـ۵ـ۳ـ تکمیل شیمیایی منسوج با مواد ضد آتش

همانطور که توضیح داده شد یکی از روشهای متداول ضد آتش کردن منسوجات، استفاده از مواد ضد آتش بر منسوج می‌باشد، در این روش مواد شیمیایی بر سطح منسوجات می‌نشیند و در صورت برقراری پیوند با منسوج طی فرایند از ثبات بالایی نیز برخودار خواهد بود. تکمیل شیمیایی ضد اتش کردن منسوجات متداول با استفاده از مواد شیمیایی و پوشش‌دهی آنها، که از اهداف این طرح پژوهشی است، در ابتدا به آن پرداخته و در ادامه نیز به صورت خلاصه استفاده از تورم حرارتی[1] و تکنولوژی‌های نوین شرح داده می‌شود.

1. Intumescent

Archive of SID

www.SID.ir

۱ـ ضدآتش کردن منسوجات با استفاده از پوشش‌دهی و لمینیت کردن منسوجات

معمولاً از پوشش‌دهی‌های ضدآتش انتظار می‌رود که تا یک سطح تعریف شده‌ای در مقابل آتش مقاوم باشند و به طور کلی معمولاً اثر بخشی منسوجات پوشش‌دهی یا لمینیت شده بر اساس میزان اشتعال‌پذیری زیرلایه پارچه مشخص می‌شود. الیاف و مخلوط‌هایی که ذاتاً ضدآتش نیستند، نظیر: پنبه/ پلی‌استر، ۱۰۰٪ پلی‌استر، پلی‌آمید یا پلی‌پروپیلن به عنوان زیر لایه استفاده می‌شود و یا الیاف و مخلوط آن‌ها که یا ضد آتش شده است نظیر پنبه مقاوم در برابر حرارت بکار می‌رود. به هر حال بین دولایه بکار رفته در لایه زیرین و پوشش سطحی و یا لمینیت بکار رفته دوجنس و یا ساختار مختلف ممکن است بکار رود و از این‌رو در هنگام کار و درجه پوشش‌دهی این نکته باید مد نظر قرار گیرد.

ساده‌ترین حالت هنگامی است که پوشش رویی ترکیب ضد آتش است ولی زیر لایه و پوشش داخلی ضد آتش نیست. در هنگامی که الیاف ذاتاً ضد آتش‌اند، و یا خاصیت ضد آتش بودن بر اساس یک ماده‌ی افزودنی یا کوپلیمر ایجاد شود، می‌توانند در این راهکار استفاده شود مگر اینکه مواد شیمیایی قرار گرفته در قسمت زیرین موادی باشد که در حال حاضر در قسمت پوشش‌دهی استفاده می‌شود. بنابراین، به عنوان مثال انواع فسفری که در پلی‌استر Trevira CS (Trevira GmbH) که ذاتاً ضدآتش است، وجود دارد مثل خیلی از مواد افزودنی دارای فسفر هستند که می‌توانند در فرمول‌بندی پوشش‌دهی استفاده شود. و یا اگر یک ضدآتش با پایه هالوژن در الیاف یا پوشش وجود داشته باشد آن وقت احتمال دارد که فعل و انفعال معکوسی ایجاد شود.

برای نمونه در برخی از نمونه‌های پوشش‌دهی ضدآتش، هنگامی که PVC بر روی پارچه پنبه‌ای با عامل‌های فسفر ضدآتش شده، قرار گیرد نامرغوب‌تر از این است که همان پوشش‌دهی را روی یک پارچه پنبه‌ای ضدآتش نشده قرار دهیم. متأسفانه، ضدآتش کردن یک علم دقیق و کامل نیست و پیش‌بینی کردن موارد خاص معمولاً غیرممکن است؛ راهکارهای تجربی معمولاً برای به دست آوردن ضدآتش‌ها، منسوجات پوشش‌دهی و لمینیت شده است.

پلیمرهایی که به طور معمول برای پوشش‌دهی و لمینیت کردن استفاده می‌شوند در زیر آورده شده است:

- لاستیک‌های طبیعی و مصنوعی که شامل پلی‌ایزو بوتیلن(یا بوتیل)، استایرن بوتادین (SBR)، پلی‌بوتادین ـ اکریلونیتریل (یا نیتریل)، پلی‌کلروپرین (یا نیوپرین)، پلی‌اتیلن کلرو سولفونات، پلی فلوئورو کربن و الاستومرهای سیلیکونی می‌شود. در این ترکیبات میزان هالوژن، سیلیکون و/ یا سولفید آن‌ها درجه ضدآتش بودن این مواد را تغییر می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

• پلی‌وینیل کلراید یا PVC و امولسیون‌ها به طور گسترده‌ای به‌دلیل مقرون به صرفه بودن در هر دو خاصیت ضد آب و آتش استفاده می‌شوند. میزان ضد آب و آتش بودن آنها به‌دلیل حضور پلیمر کلرین است. اما مشکلات زیست محیطی به خاطر میزان زیاد کلرین و پلاستی سایزرها سبب جایگزینی آن‌ها، حتی با محصولات گران تر شده است.

• پلی‌وینیل الکل یا PVA ها که از پلی‌وینیل استات تهیه شده‌اند، بسته به درجه صابون شدن قابلیت حلالیت در آب متنوعی دارند، در نهایت استفاده آنها دوام بالایی در هنگام شست و شو ندارند و به خاطر این موضوع نه تنها باید همان میزان ضدآتش بودن را که یک پلیمر ضدآتش معمول ارائه می‌دهد، داشته باشد بلکه باید دوام بالایی داشته باشد.

• رزین‌های بر پایه‌ی فرم آلدهید که شامل فنول، اوره و ملامین فرم آلدهید هستند و میزان نسبتاً کمی دوام دارند، اینها پوشش‌دهی‌های پلیمریی‌ها هستند که برای ضدآتش بودن معرفی می‌شوند. ساختار فنولی این برتری را دارند که میزان ضدآتش بودن بالاتری را ایجاد می‌کنند.

• کوپلیمرهای اکریلیک (یا اکریلیک‌های معمولی) به ما سطح بالایی از انعطاف پذیری و نرمی می‌دهند و همچنین به میزانی جاذب رطوبت‌اند و هنگامی که نمونه‌های محصول زیبایی قرار است تولید شود این مواد مقدم و ارجح‌اند. این مواد معمولاً پرده‌ها و آستر، پرده‌های پلیسه دار و با غلتک، تشک‌ها و حوله و ملافه برای نفوذناپذیری گرد و خاک و میکروب و همچنین پشت پوشی منسوجات برای ضدآتش شدن، استفاده می‌شود. این ترکیبات از سال‌های ۱۹۸۸، به بعد اهمیت ویژه‌ای یافته است زیرا در قانون استفاده از مبلمان انگلیس این مواد مورد تأیید قرار گرفته‌اند.

• کوپلیمرهای وینیل استات (شامل انواع مختلف ساختمان شبکه ای) با وینیل کلراید و/ با اتیلن. اینها پوشش های انعطاف پذیر مناسب در تجهیزات رو مبلی و پرده‌ای به‌کار می‌رود که رفتاری مشابه با اکریلیک‌ها دارند و در حضور وینیل کلرید به طور کلی به میزان ضدآتش بودن آنها اضافه می‌شود.

• پلی‌یورتان‌ها (یا PURها) در منسوجات به صورت حلال و در حال حاضر به صورت مذاب داغ و پودرهای مستقیم کاربرد دارند. میزان ضدآتش بودن آنها موثر است اما، باید طوری انتخاب شوند تا بتوانند برای کاربرد و روش استفاده شان مناسب باشند.

• سیلیکون‌ها خاصیت ضد آب بودن نیز می‌دهند و ذاتاً ضدآتش‌اند و به دلیل افزایش در شکل سوخته‌ی زغالی سیلیکاسیوس[1] و در آخر سیلیس(سیلیکا) ارتقاء یافته‌اند. اما هنگامی که روی منسوجات ترکیبی

[1] silicaceous

Archive of SID

www.SID.ir

استفاده می‌شود ممکن است از چکیدن ماده‌ی ذوب شده جلوگیری کنند که در نتیجه باعث می شود که انرژی منسوجی که در حال سوختن خود، به صورت قطره‌ی مذاب در می‌آید حذف نشود. در نتیجه، منسوجات با پوشش‌دهی سیلیکونی می‌توانند نسبتاً اشتعال‌زا باشند نسبت به منسوجی و رزینی که به تنهایی موجود است. معمولاً این مشکل وجود دارد، بنابراین برای افزایش میزان ضدآتش بودن از مواد افزودنی استفاده می‌شود.

- فلوئورو کربن‌ها بر اساس پلی‌تترا فلوئورو اتیلن (PTFE) به صورت نمونه وجود دارند در حالی که مواد دیگری مثل پلیمرهای فلورین دار اتیلن (یا FEPها) و پلی‌وینیل فلوراید (PVF) وجود دارد. همه‌ی اینها سطح‌های متنوعی از ضدآتش بودن دارند که هنگامی در زیر لایه‌های ضدآتش به کار برده می‌شوند، میزان کارایی‌شان را بالا می‌برند اگرچه، حضورشان معمولاً باعث نمی‌شود که زیر لایه به صورت کامل ضدآتش شود.

۲ـ سیستم‌های تورم حرارتی

اکثریت این مواد بر پایه‌ی آلومینیوم پلی‌فسفات (APP) ترکیبات شیمیایی ملامین هستند، مثال‌های منتخب شده در جدول (۱ـ۳) ارائه شده است. همه آن مواد، ذرات جامدند که یکی از ترکیبات یا بیشتر می‌توانند در آب حل شوند، برای همین برای پایداری و دوام در آب، این مواد می‌توانند در ماتریس پلیمرهای آبگریز استفاده شوند که این پلیمرها در پروسه می‌توانند مشکل دیسپرس شدن ایجاد کنند. از این رو بیشتر ذرات تجاری پوشش داده شده و یا آنها را میکروکپسوله می‌کنند، تا میزان انحلال آنها را در آب کاهش دهند و یا اختلاط و سازگاری ماتریس پلیمر را بهتر کنند. از این گذشته، تولیدکنندگان قصد دارند تا سایز ذرات به خصوص APP و ملامین فسفات را کاهش دهند [۹].

در حالی که APP ذاتاً خاصیت تورم حرارتی ندارد، اما در زمان حضور پلیمرها و کوپلیمرهای شامل اکسیژن، شکل سوخته‌ی زغالی قوی پیدا می‌کنند. برای اینکه فعالیت تورم حرارتی را تضمین کنیم، در ترکیباتی با عامل‌های دیگر مثل پنتا اریتریتول[1] و ملامین استفاده می‌شود. ملامین فسفات‌هایی ارائه شده در جدول ۱ـ۳، درجه بیشتری در فعالیت ذاتی تورم حرارتی دارند از آنجایی که جزء اسیدی فسفات به صورت شیمیایی با ملامینی که گازی‌ست ترکیب شده است. همچنین آنها قبل از پوشش‌دهی یا میکروکپسوله کردن معمولاً کمتر از $1g/100cm^3$ در آب حل می‌شوند. سایز ذره‌ها معمولاً کمتر از سایز نرمال نمونه‌ی APP است و امکان دارد که ابعاد ذرات در حدود $D50 \leq 8\mu m$ باشد [۹].

[1] . Pentaerythritol

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱ـ۳: ترکیبات انتخابی ضد آتش به روش تورم حرارتی

فرمول شیمیایی/ نام	مثال های تجاری	انتقادها
آمونیوم فسفات	انواع فازهای ۱*: Antiblaze MC; Albemarle Exolit AP 412; Clariant 485; Budenheim_FR CROS 480	حلالیت در آب تقریباً برابر است با 4g/100cm3
		حلالیت در آب تقریباً برابر است با 4g/100cm3
	انواع فازهای ۲*: Exolit AP 422; Clariant FR CROS 484; Budenheim انواع فازهای ۲ پوشش‌دهی شده: Exolit AP 4 26؛ ۴۶۳&	میکروکپسوله شدن نوع(AP 422) ؛ حلالیت در آب بیشتر از 0.5g/100cm3 پوشش سیلان: پوشش ملامین ـ فرم آلدهید (MF): حلالیت در آب تقریباً برابر است 0.1g/100cm3
	FR CROS 486; Budenheim FR CROS 487; Budenheim FR CROS C30/ C40/ C60/ C70/ 489; Budenheim	سطح واکنش دهنده ی MF، سایز متنوع ذرات D_{50}=7 ـ 18 µm؛ حلالیت در آب ≥0.1g/100cm3
ملامین فسفات	BUDIT 310; Budenheim Antiblaze ND; Albemarle BUDIT 311; Budenheim BUDIT 312; Budenheim Antiblaze NH; Albemarle Melapur MP; Ciba Antiblaze NJ; Albemarle Melapur 200; Ciba BUDIT 3141; Budenheim	دی ملامین ارتو فسفات
		دی ملامین ارتو فسفات
		دی ملامین پیرو فسفات
		ملامین فسفات
		ملامین فسفات
		ملامین فسفات
		ملامین پیرو فسفات
		ملامین پلی فسفات
		ملامین پلی فسفات
نمک‌های ملامین دیگر	BUDIT 313; Budenheim BUDIT 314; Budenheim Melapur MP; Ciba	ملامین بورات
		ملامین سیانورات
		ملامین سیانورات
دیگرمشتقات‌پنتا اریتریتول	Great Lakes NH 1197; Chemtura Great Lakes NH 1511; Chemtura	اریتریتول فسفره شده اریتریتول فسفره شده/ نمک ملامین
مخلوط های تورم حرارتی	BUDIT 3077 and related products; Budenheim Antiblaze NW; Albemarle	ملامین فسفات و دی پنتا اریتریتول

*** فاز ۱ و ۲ به سطح‌های مختلف وزن مولکولی و شبکه مولکولی برمی‌گردد و بنابراین ویژگی‌های کریستالی، انواع APP فاز ۱ دارای درجه‌های پایین‌تری از پلیمریزاسیون و شبکه‌ای بودن هستند ولی میزان حلالیت آبی بالاتری دارند.**

از تمام ابداع‌هایی که در چند سال اخیر برای پوشش‌دهی‌های ضدآتش انجام شده است، بیشترین مواد مورد استفاده، ضدآتش‌های تورم حرارتی گزارش شده است. در واقع منسوجات ضدآتش در فضای باز به تازگی در مراکز تجاری آمریکایی در خواست شده است و بر اساس آیین نامه کالیفرنیا توصیه شده است که

Archive of SID

www.SID.ir

برای مبلمان (TB 133) و تشک (TB 129 & 630) و بر اساس فدرال کمیسیون امنیت محصولات مصرف کننده آمریکا (CPSC 16 CFR 1633) محصولات ضد آتش به روش تورم حرارتی به‌کار رود. پیشرفت پوشش‌دهی‌های تورم حرارتی به کاربرده برای ضدآتش کردن الیافی نظیر شیشه که به‌صورت ذاتی ضد آتش هستند توسط کارخانجات بین‌المللیSandel وSprings به‌کار گرفته شده است.

۳ـ استفاده از روش های نوین در ضد آتش کردن منسوجات

امروزه تلاش‌های بسیاری برای اصلاح سطحی و عمل‌آوری منسوجات جهت رسیدن به خصوصیاتی متفاوت انجام شده است که تقریبا این عمل‌آوری نباید موجب تغییر در خصوصیات منسوجات گردد. برای جلوگیری از این کار می‌توانیم از اصلاح سطحی منسوجات و پوشش‌دهی با اندازه‌های میکرو یا نانو استفاده نماییم. در روش‌های جدید استفاده شده برای پوشش‌دهی پارچه، از ترکیبات غیر آلی و یا آلی-غیر آلی مواد استفاده شده که با استفاده از روش‌های متفاوتی می توان آن را بر منسوجات به کاربرد که این روش‌ها عبارتند از:

- جذب سطحی نانو ذرات
- استفاده از روش لایه به لایه[1]
- روش سل ـ ژل[2]
- عمل‌آوری پلاسما [۹].

در ادامه به معرفی هر یک از این روش‌ها می پردازیم.

الف ـ استفاده از جذب سطحی نانو ذرات

جذب سطحی، ساده ترین راه برای تکمیل و به کارگیری ذرات بر سطح پارچه است. در این روش پارچه مورد نظر صرف نظر از جنس پارچه در محلول سوسپانسیون نانو ذرات غوطه‌ور شده و این ذرات رسوب داده بر سطح پارچه، قادر به محافظت پلیمر در مقابل گرما، اکسیژن و آتش است. طی فرایند احتراق ذرات موجود بر سطح پارچه همانند عایقی عمل کرده که قادر به بدام انداختن مواد تولید شده در حین احتراق می باشند. در نهایت منسوجات محافظت شده و منجر به پیرولیز به جای سوختن می‌گردد [۱۰].

ب ـ روش لایه به لایه

در این روش لایه‌ای از مواد به صورت مرحله به مرحله بر سطح منسوجات قرار گرفته و مبنای کار براساس تعامل الکترواستاتیکی بین لایه‌ها می‌باشد. روش لایه به لایه اولین بار در سال ۱۹۹۱ برای پلی

1. layer by layer
2. Sol-gel

Archive of SID

www.SID.ir

آنیون و پلی کاتیون‌ها معرفی و تحت نام پلی‌الکترولیت چند لایه نامیده شد سپس به استفاده از این روش با واکنش‌های متفاوت (پیوندهای کووالانسی و هیدروژنی) و همچنین الکترواستاتیک برای نانو ذرات، گسترش یافت. برای این کار منسوجات به صورت جداگانه و متوالی در محلول‌های دارای بار مثبت و منفی غوطه‌ور می‌شود.

به تازگی پوشش‌دهی لایه به لایه توسط گروه‌های متفاوتی برای دستیابی به سیستم عایق بودن پارچه مورد بررسی قرار گرفته است. در این روش بعضی از این مواد توانایی محافظت پارچه در برابر حرارت را داشته و با تشکیل ذغال بیشتر و جلوگیری از تولید مواد قابل احتراق، به ضد آتش شدن منسوجات کمک می‌کنند. در اولین کار صورت گرفته برای منسوجات گرونلان[1] و همکارانش نانو صفحات لاپونیت[2] (لایه منفی) و پلی اتیلن ایمین (لایه مثبت) بر منسوجاتی پنبه‌ای به کار بردند نتایج نشان داده بود که استفاده از ۱۰ لایه از مواد، توانایی ضد آتش کردن منسوجات را نداشته است. با جایگزینی سدیم مونمورولونیت[3] بر منسوجات به جای لاپونیت نتایج بهبود یافت. با این روش استفاده کامل از مواد غیر آلی در پوشش‌دهی پارچه با استفاده از محلول کلوئیدی سیلیکا[4] (سیلیکا (-)/سیلیکا (+)) مانند ترکیبات POSS بر منسوجاتی پنبه‌ای موجب بهبود بهتر نتایج می‌گردد [۹].

ج – روش سل – ژل

سل ـ ژل از جمله روش‌هایی است که دارای همگنی بالایی در سطح مولکول بوده و خصوصیات شیمیایی و فیزیکی منسوجات را تغییر نمی‌دهد و طی این فرایند سطح با مواد غیر آلی یا مواد آلی-غیر آلی پوشش-دهی می‌شود. در این نوع پوشش‌دهی مواد اولیه آلکوکسیدهای فلزی بوده و اساس کار بر دو واکنش هیدرولیز و تراکم استوار است. عوامل زیادی از جمله نوع اتم فلزی در ساختمان آلکوکسید، نسبت آب/آلکوکسید، pH، دما، زمان واکنش و حلال استفاده شده در محیط واکنش، در مورفولوژی،کریستالی بودن واندازه ذرات تأثیرگذارند.

روش سل ـ ژل از سال ۱۹۵۰ شناخته شد ولی به تازگی در ضد آتش کردن منسوجات استفاده گردید. در استفاده از روش سل ـ ژل باید توجه داشت ضخامت پارچه‌ها در مقایسه با مواد دیگرکم بوده در نتیجه مواد قرار گرفته بر سطح منسوجات اندک می‌باشد. بنابراین جهت دستیابی به اثر ضد آتش، نیازمند به‌کارگیری موادی خواهیم بود که دارای خاصیت هم‌افزایی باشند، به همین منظور ترکیبات ضد آتش فسفردار و نیتروژن‌دار این مواد مخصوصا سیلیکا به کار برده می‌شود. امکان استفاده از این ترکیبات هم در ساختار آلکوکسیدها و گروه‌های

1. Grunlan
2. Laponite
3. Sodium montmorillonite

Archive of SID

www.SID.ir

آلکیل عامل‌دار امکان‌پذیر است و هم به صورت به‌کارگیری ترکیباتی دارای -P و -N که در کنار این شبکه اکسیژنی موجب هم‌افزایی و تأخیر در شعله می‌گردد [۹].

د ـ استفاده از عمل‌آوری پلاسما

روش پلاسما فرایندی سطحی است که با کمک آن گروه‌های عاملی کوچک، از ترکیبات ماکرومولکول می‌توانند با سطح‌های متفاوت پیوند دهند با این روش امکان تغییر کلی خواص منسوجات وجود ندارد. در حدود ۴۰ سال است که از این روش برای عمل‌آوری الیاف استفاده می‌شود ولی بکارگیری آن به تازگی تجاری شده است. بعضی از کاربردهای خاص این روش عبارتند از:

- اصلاح سطحی مواد با استفاده از گازهای غیر قابل پلیمریزه شدن؛
- پیوند مواد فسفردار غیر قابل فرار در پلاسمای سرد؛
- استفاده از روش نیتروژن پلاسما به صورت جزئی؛
- استفاده از مونومرهای اکریلیک برای پیوند دادن؛
- جذب پلیمریزاسیون ارگانوسیلان‌ها با کمک پلاسما؛

با استفاده از این روش می‌توان منسوجی را تولید کرد که خاصیت ضد آتش را دارا بوده و بیشتر برای الیافی با گروه‌های عاملی کمتر کاربرد دارد تا سطح لیف از لحاظ شیمیایی فعال شده و امکان واکنش با مواد ضد آتش را داشته باشد. باید توجه داشت که این روش برای تکمیل منسوجات، روشی به صرفه نبوده و قابلیت کاربرد آنچنانی در مقیاس بالا را ندارد [۹].

با توجه به استفاده وسیع منسوجات و نیاز روز افزون برای تولید منسوجاتی ضد آتش در ادامه به معرفی شیوه‌های ضد آتش کردن الیاف منتخب می‌پردازیم. لازم به ذکر است که منسوجات با توجه به شرایط و امکانات موجود در کشور، قابلیت ضدآتش شدن را دارا می باشند و تمامی ظرفیت‌های موجود در داخل کشور، برای تولید منسوجاتی ضد آتش باید در نظر گرفته شود.

۱ـ۵ـ۴ـ ساختمان شیمیایی مواد ضدآتش

به‌طور کلی دو نوع مواد افزودنی و مواد واکنشی برای ضد آتش کردن منسوجات استفاده می‌گردد. مواد افزودنی که به طور وسیعی استفاده می‌شود به طور فیزیکی به پلیمرها اضافه شده و یکی از روش‌های اقتصادی در تولید مواد تأخیرانداز شعله محسوب می‌شود ولی مشکلات زیادی مانند امتزاج ضعیف، کاهش خصوصیات مکانیکی و استحکام کششی پایین را به همراه دارد. نوع دیگر مواد، استفاده از مواد ضد آتش واکنشی مانند منومرها و اصلاح سطحی منسوجات و یا اصلاح پلیمرهای موجود در حین پلیمریزاسیون می باشد. استفاده از اینگونه مواد به نسبت اقتصادی نبوده ولی به علت برقراری پیوند کووالانسی با زنجیرهای

Archive of SID

www.SID.ir

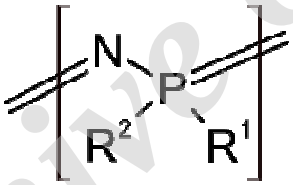
پلیمری در حالی که خصوصیات مکانیکی و فیزیکی منسوجات همچنان ثابت است مورد توجه قرار گرفته است. [۶]

جهت ضدآتش کردن پارچه، مواد و ترکیبات زیادی استفاده می‌شود که این ترکیبات شامل عناصری چون فسفر، سیلیکون، بور، نیتروژن و هالوژن‌ها می‌باشد که در ادامه به معرفی هر یک از این ترکیبات می‌پردازیم.

۱- مواد ضد آتش حاوی فسفر

مواد ضدآتش فسفردار محدوده وسیعی از مواد را شامل می‌شود که با توجه به ترکیب آنها با اکسیژن ساختارهای متفاوتی را مانند فسفین‌ها[۱]، فسفین اکسیدها[۲]، فسفونات‌ها[۳]، ترکیبات فسفونیوم[۴]، فسفیت‌ها[۵]، فسفات‌ها[۶] و همچنین عنصر فسفر قرمز به عنوان مواد ضدآتش به وجود می‌آورند. ارگانو فسفرهای ضدآتش از از نوع واکنشی به طور گسترده در سه دسته تقسیم بندی می شوند که عبارتند از :

- منومرهای ساده فسفاتی واکنشی؛
- پلی فسفازن[۷] های خطی (شکل ۱ـ۴)؛
- فسفازن‌های آروماتیک حلقوی؛



شکل ۱-۴: پلی فسفازن

این ترکیبات ممکن است با زنجیرهای پلیمری به صورت هموپلیمریزاسیون، کوپلیمریزاسیون پیوند داده و یا به صورت اصلاح سطحی و به صورت ترکیبی بر منسوجات به کار برده شوند. این مواد با مکانیزم فاز متراکم عمل کرده و موجب افزایش میزان کربن باقیمانده و ذغال در منسوجات می‌گردند. دو مکانیزم در شکل‌گیری ذغال وجود دارد که ۱- تغییر مسیر واکنش‌های شیمیایی به سمت واکنش‌های درگیر در تجزیه و تولید کربن به جای CO و CO_2؛ ۲- شکل‌گیری لایه سطحی از ذغال به عنوان محافظ. در فرایند احتراق مواد فسفردار، نوع واکنش و نحوه انتقال به خوبی شناخته شده نمی باشد[۶].

1. Phosphines
2. Phosphine oxides
3. Phosphonium compounds
4. Phosphonates
5. Phosphites
6. Phosphate
1. Polyphosphazenes

Archive of SID

www.SID.ir

نمک‌های فلزی نظیر آلومینیم اسید آلی فسفینیک و فسفونیک نمک‌های فسفری در ضدآتش کردن پلی‌استرها مفید می‌باشند. در این بین استرهای اسید فسفوریک[1] برای پلی‌استر بسیار موثر است. برخی از استرهای فسفونیک که با گروه‌های هیدروکسیل فعال شده‌اند در ضدآتش کردن پنبه نیز مفید است. به دلیل اهمیت و کاربرد گسترده ترکیبات فسفری، فواید و مضرات ترکیبات فسفری در مقایسه با مواد دیگر ضدآتش در این‌جا خلاصه شده است:

فواید ترکیبات فسفری

- دانسیته کمتر در مقایسه با ضد آتش‌های هالوژنه؛
- عدم نیاز به هم‌افزایی با ترکیبات اکسید آنتیموآن؛
- تمایل کمتر به ماندگاری و تجمع در محیط زیست؛
- ارتقاء بهتر سد دفاعی ذغالی در پلیمرهایی که سوخته ذغالی باقی می‌گذارند؛
- تمایل کمتر به تشدید دود؛
- تولید گازهای کمتر در هنگام سوختن؛
- همزیستی بهتر با محیط زیست در مقایسه با دیگر مواد ضد آتش؛

مضرات ترکیبات فسفری

- مشکل در تهیه ترکیبات با ٪ فسفر بالا که سبب کاهش راندمان می‌شود؛
- اثر هم‌افزایی نامناسب؛
- آبدوست که سبب جذب رطوبت می‌شود؛
- امکان هیدرولیز و تولید اسید که سبب آسیب بر مواد می‌شود؛
- پایداری حرارتی پایین که دمای عملیات حرارتی را محدود می‌کند؛
- پایداری حرارتی و رطوبتی مانع از بازیافت آن‌ها می‌شود؛

۲ـ مواد ضد آتش سیلیکونی

طبق تحقیقات انجام شده افزودن میزان کمی از ترکیبات سیلیکونی به مواد پلیمری از طریق شکل‌گیری ذغال در فاز متراکم و به دام انداختن رادیکال‌های آزاد در فاز بخار، موجب افزایش خاصیت ضدآتش منسوجات می‌گردد. این مواد در مقایسه با دیگر مواد ضدآتش به عنوان مواد دوست‌دار محیط زیست شناخته

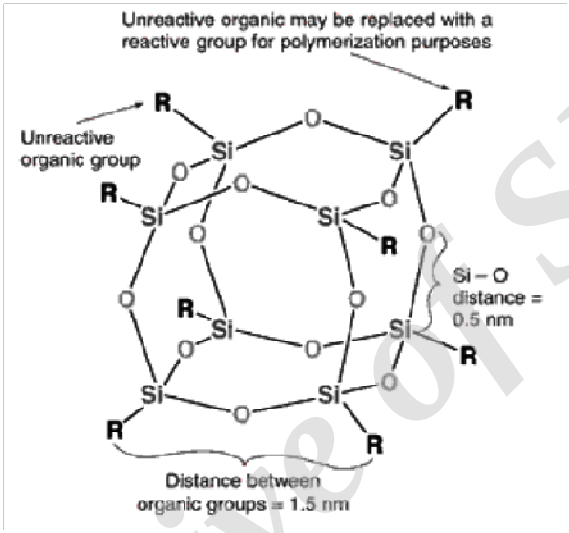
2. phosphoric acid ester

Archive of SID

www.SID.ir

شده و نانوکامپوزیت آلی ـ غیر آلی سیلیکون مانند نانوکلی و دیگر مواد آن با استفاده از فرایند سل ژل و با اتصال کووالانسی بر منسوجات قرار می‌گیرند.

پلی هدرال الیگومریک سیلوکسان[1] تحت نام (POSS) منومر یا پلیمرهایی هستند که به عنوان مواد جدید برای ضد آتش کردن منسوجات با تولید نانو کامپوزیت‌ها استفاده می‌شوند. این مواد ترکیباتی الیگومری سه بعدی ارگانو سیلیکون با فرمول عمومی $(RSiO1.5)n$ می‌باشندکه n تعداد مولکول و R شمار زیادی از گروه‌ها مانند (متیل، هالوژن، وینیل یا فنیل) می‌تواند باشد. در شکل ۱ـ۵، فرمول کلی POSS آمده است[۶].



شکل ۱-۵: فرمول کلی POSS [۷]

۳ـ مواد ضد آتش حاوی بور

بورات‌ها و بوریک اسید مواد ضد آتشی هستند که خاصیت هم‌افزایی مخصوصاً با پلیمرهای هالوژنی و افزودنی‌های هالوژنی دارند. این مواد با تغییر مسیر فرایند تخریب در تولید کربن به جای CO و CO_2، در فاز متراکم عمل کرده و اینگونه تصور می‌شود که با تشکیل لایه‌ای محافظ بر سطح منسوجات از دسترسی اکسیژن و در نتیجه اکسیداسیون کربن جلوگیری می‌کنند. ترکیبات بور ترکیباتی ارزان‌تر با سمیت کمتر در مقابل اکسید آنتیموآن می باشند که به عنوان کاتالیزور به همراه ترکیبات هالوژنی استفاده می شوند [۶].

۴ـ مواد ضدآتش نیتروژن دار

مواد ضد آتش دارای نیتروژن دارای سمیت کمی بوده و قابلیت بازیافت دارند. این مواد در طول فرایند احتراق اسیدهای هالوژنی و دی اکسین تولید نکرده و میزان دود تولید شده در طول فرایند نیز کم می‌باشد.

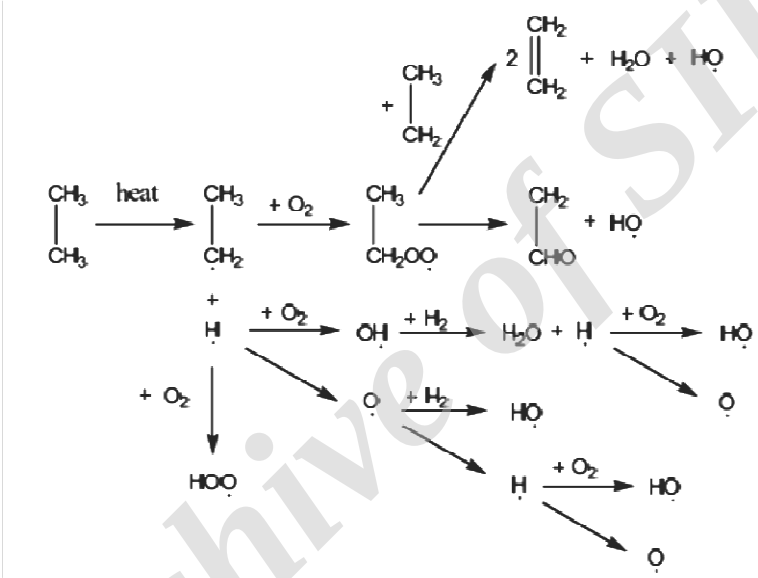
1. Polyhedral oligomeric silsesquioxane

Archive of SID
www.SID.ir

یکی از مهمترین مواد تأخیرانداز آلی حاوی نیتروژن، ملامین و مشتقات آن است که فسفات و پیروفسفات‌های ملامین نیز نوع متمایز شده آن می‌باشد و به‌صورت تجاری نیز قابل دسترسی هستند[۶].

۵ـ مواد ضد آتش حاوی هالوژن‌ها

هنگامی که پلیمرها به اندازه کافی در معرض گرما قرار می‌گیرند، رادیکال‌های فعال $H^{\cdot}$ و $OH^{\cdot}$ تولید می‌گردد که یکسری از واکنش‌ها را به صورت زنجیروار به دنبال دارد و موجب تجزیه و احتراق می‌گردند. شکل ۱ـ۶ برای نمونه تولید رادیکال و انتشار آن از سوختن اتان را نشان می‌دهد[۷].



شکل ۱-۶: انتشار زنجیروار رادیکال‌ها هنگام سوختن اتان [۷]

ترکیبات هالوژنی، به طور معمول ترکیبات حاوی برم، یا به صورت افزودنی‌ها یا به روش کوپلیمریزاسیون با پلیمرها ترکیب می‌شوند. مکانیزم اولیه مواد ضد آتش هالوژن‌دار در واکنش‌های شیمیایی فاز متراکم می‌باشد. در حالی که دما افزایش می‌یابد رادیکال‌های هالوژن، آزاد می‌شود که می‌توانند با رادیکال‌های هیدروژن تولید شده از پلیمرها واکنش داده و تولید هالید هیدروژن نمایند. این هالیدهای هیدروژن مطابق شکل ۱ـ۷، خود جلوگیری کننده از گسترش آتش هستند و مانع انتشار زنجیروار رادیکال‌ها می‌شوند.

$$R - X \rightarrow X^{\circ} + R^{\circ}$$
$$RH + X^{\circ} \rightarrow HX + R^{\circ}$$
$$H^{\circ} + HX \rightarrow H_2 + X^{\circ}$$
$$OH^{\circ} + HX \rightarrow H_2O + X^{\circ}$$

شکل ۱-۷: واکنش رادیکال‌های تولید شده حین سوختن با رادیکال‌های هالوژن

Archive of SID

www.SID.ir

از لحاظ فیزیکی هالیدهای هیدروژن در فاز گازی می‌توانند موجب کم شدن غلظت گازهای قابل احتراق شده و دمای آتش را کاهش دهند. در فاز متراکم، پس از واکنش هیدروژن با رادیکال‌های هالوژن، پلیمرهای غیر اشباع شکل گرفته از باند دوگانه، به سمت تشکیل ذغال پیش می‌روند[۷].

۶ـ مواد ضد آتش با عناصر متفرقه

ترکیبات فلزی آلی و غیر آلی از جمله مواد متداولی هستند که به طور وسیع به عنوان افزودنی برای ضد آتش کردن منسوجات استفاده می‌شوند. مشخص شده است که Mg, Cr, Mn, Sn, Ba و U ترکیب مجدد اتم‌های هیدروژن را در مخلوط غنی از سوخت (H_2–O_2–N_2) تقویت می‌کنند. یکی از اهداف مهم در استفاده از این مواد، اشتراک فلز در زنجیر پلیمری می‌باشد که اثرگذاری آن را افزایش داده و توزیع خصوصیات مکانیکی و دیگر خاصیت‌ها را کاهش خواهد داد.

هیدروکسیدهای فلزی مانند تری هیدروکسید آلومینیم و هیدروکسید منیزیم در دماهای بالاتر از $^{\circ}C$ ۲۰۰ تولید آب می‌کنند که به علت جذب انرژی موجب تأخیر در شعله می‌شوند. مولکول‌های آب تولید شده در فاز بخار، موجب کاهش غلظت گازهای قابل احتراق تولید شده در حین تجزیه پلیمر شده و انیدریدها به عنوان کاتالیزورهای اسیدی موجب افزایش میزان ذغال می شوند. به طور کلی هیدروکسیدها غیر سمی بوده اما نیاز به استفاده بیشتر از ۵۰ درصد وزنی از این مواد است تا منسوجات ضد آتش گردد [۷].در حالی که فلزاتی چون Na, Co, Ni, Cu, V, Zn, Ga, Th, Ge و La اثر چندانی در ضد آتش کردن منسوجات ندارند ترکیباتی با Ca, Sb, Pb, Ti و Si خاصیت مهارکنندگی آتش را دارا می‌باشند[۶].

۱ـ۵ـ۴ـ روش‌های متداول تولید منسوجات ضد آتش متداول

روشهای متفاوتی برای ضد آتش کردن کالا استفاده می شود. برای به کارگیری این روشها و تولید منسوج ضد آتش موارد زیادی را باید مورد توجه قرار داد یکی از این موارد سمی بودن بعضی از مواد می باشد که در صورت ایجاد خطر برای سلامتی فردی که از این کالا استفاده می کند و یا با آن در تماس است نباید از این مواد استفاده کرد. از موارد دیگر نحوه تولید این منسوجات می باشد همانطور که گفته شد بعضی از روشهای تولید منسوجات ضد آتش بسیار گران بوده و تولید آنها در مقیاس زیاد اصلا به صرفه نمی باشد. از آنجا که هدف از این تحقیق ضد آتش کردن منسوجات متداول می باشد از این رو باید روشی را انتخاب کرد که به صرفه بوده و در کنار آن کارایی بالایی را هم داشته باشد. روش تکمیل شیمیایی در صورتی که از مواد و شرایط مناسب جهت تولید کالای ضد آتش انتخاب گردد در مقایسه با دیگر روشها به صرفه تر بوده و

Archive of SID

www.SID.ir

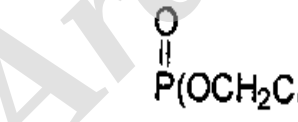
نیازمند دستگاههاو تجهیزات خاصی نمی‌باشد از طرفی امکان تولید کالا با این روش آسانتر است و خصوصیات مکانیکی و شیمیایی کالا نیز حفظ خواهد شد.

۱ـ۵ـ۴ـ۱ـ منسوجات پلی استری ضد آتش

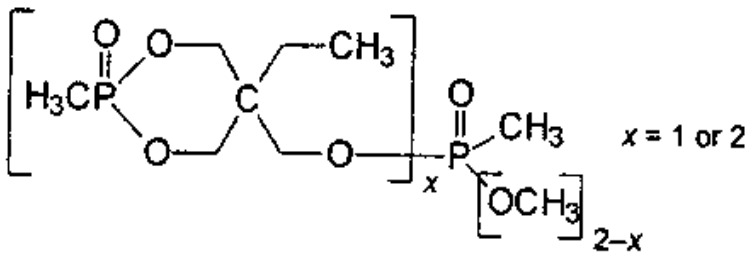
در طول ۳۰ سال گذشته شمار زیادی از الیاف پلی‌استری ضد آتش تولید شد که از میان آنها تنها ترویرا Trevira Cs از لحاظ تجاری موفق بوده است. فیدن Fidion دیگر لیف پلی استری بود که توسط مونته فایبر Montefiber به عنوان منسوجاتی ضد آتش روانه بازار شده است. در این الیاف ترکیبات کومنومری فسفری ترکیبات ارگانیک فسفر، کومنومرهای فسفینیک اسید و افزودنی‌های فسفری اضافه شده است [۱۰].

به طور کلی منسوجات ضد آتش بر پایه PET با استفاده از روش‌های متفاوتی چون افزودن منومرهای ضد آتش در طول پلیمریزاسیون، اضافه کردن افزودنی‌های ضد آتش به مذاب ریسندگی و عمل‌آوری منسوجات مخصوصا با استفاده از روش ترموزول تولید می‌گردند[۱۰].

یکی از مفیدترین ترکیبات ضدآتش مناسب بر روی پلی‌استر، برمین‌های استر فسفات به‌نام، Tris (2,3-Dibromo Propyl) Phosphate است که برای سادگی به‌نام تریس Tris مشهور است. شکل ۱ـ۸، ساختار شیمیایی تریس را نشان می‌دهد، این ترکیب مؤثر و چند منظوره است که هم به روش پد و هم به روش رمق‌کشی استفاده می‌گردد، ولی مشکل اصلی این ماده سرطان‌زا بودن آن است که کاربرد آن را ممنوع نموده است [۸].امروزه از ترکیبات حلقوی فسفات/ فسفونات، شکل ۱ـ۹، به روش پد ـ ترموزول بدین منظور استفاده می‌شود.



شکل ۱-۸: Tris (2, 3-dibromo Propyl) Phosphate

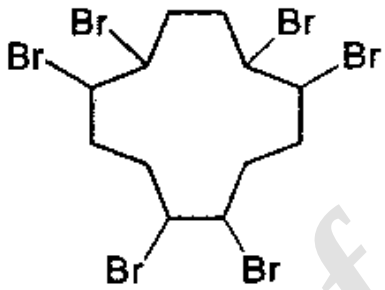


شکل ۱ـ۹: ترکیبات حلقوی فسفات / فسفونات

Archive of SID

www.SID.ir

از دیگر ترکیبات ضدآتش تکمیلی بر پلی‌استر می‌توان ترکیبات شیمیایی برمه را نام برد که از معروف‌ترین آنها هگزا برموسیکلو دودکان (HBCD) می‌باشد که به‌دلیل حلالیت پایین این ترکیبات در آب هنگام تثبیت، یک فیلم ضدآتش بر سطح الیاف پلی‌استر ایجاد می‌کنند. شکل ۱ـ۱۰ ساختار آن را نشان می‌دهد. برای دستیابی به اثر ضدآتش پایدار، پارچه پد شده با تقریباً ۸٪ از دیسپرسیون این ماده نامحلول در آب، باید در دمای حدود ۱۹۰°C حرارت داده شود تا لایه‌ای از ماده ضدآتش بر سطح لیف تشکیل گردد.[۸]



شکل ۱ـ۱۰: هگزا برمو سیکلو دودکان (Hexa Bromo Cyclo Dodecane)

الیاف پلی‌استر با حلقه اولیگومری فسفونات آنتیبلاز[1] که به روش ترموزول تکمیل می‌شود، علاوه بر ماندگاری بالا، گازهای سمی تولید نمی‌کند. همچنین تکمیل الیاف پلی‌استر توسط ترکیب متیلن بیس اکریل آمید۲ و وینیل فسفنیک اسید اتیلن گلایکل استر سبک۳ که به صورت سطحی بر روی پلی‌استر می‌نشیند، پایداری بالایی دارد. به‌طوریکه امکان شستشوی منسوج بافته شده از این الیاف تا ۱۰ مرتبه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد وجود دارد. همچنین در خلال شستشوی این منسوجات، ضریب اکسیژن محدود آن اندکی کاهش می‌یابد و از ۲۸/۴ درصد به ۲۷/۴ درصد می‌رسد. بدلیل مشکلات ترکیبات هالوژنه و سرطانزا بودن این ترکیبات امروزه راهکارهای مختلفی به منظور مقاوم نمودن الیاف و منسوجات پلی‌استری معرفی شده است[۸].

طبق نتایج بدست آمده در سه سال گذشته به طور کلی روش لایه به لایه، یکی از موفق‌ترین روش‌ها در تولید منسوجات ضدآتش و تولید ذغال بوده است و این افزایش ذغال حتی در پلیمرهایی مانند پلی‌استر و پلی الفین‌ها که قادر به تشکیل ذغال در حین سوختن نیستند نیز دیده شده است[۱۱].

1. Oligomericyclic Phosphate Antiblaze 19
2. Acrylamide
3. Vinile Phosphonic Acid Ethylene Glycole ster

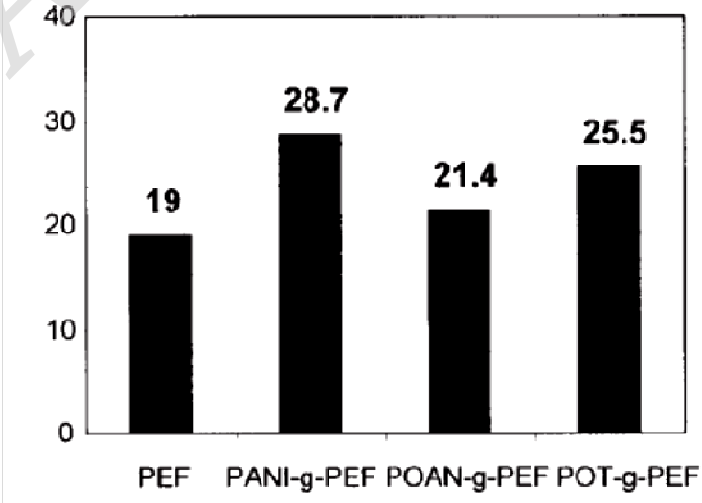
Archive of SID

www.SID.ir

در یکی از تحقیقات صورت گرفته از محلول‌های کلوئیدی مثبت و منفی نانو ذرات سیلیکا که دوست‌دار محیط زیست هستند به صورت لایه به لایه جهت پوشش‌دهی پارچه پلی‌استری استفاده شد. پوشش‌دهی پارچه خصوصیات ضد آتش منسوجات را افزایش داده و نتایج بدست آمده نشان داد که میزان قطره قطره شدن مذاب کاهش یافته است. به‌کارگیری این نانو ذرات بر سطح پارچه زمان احتراق را به میزان ۴۵٪ افزایش داد و این در حالی است که پیک سرعت گرمای آزاد شده ۲۰٪ کاهش یافته است [۱۱].

از دیگر ترکیبات استفاده شده جهت ضدآتش کردن منسوجات استفاده از مواد نیتروژن‌دار است. مطابق با یکی از کارهای انجام شده سطح پارچه پلی استری با پلی آنیلین ها پیوند داده شد. مواد مورد استفاده شامل آنیلین (aniline)، o-آنیزیدین (o-anisidine)، o-تولوئیدین (o-tuloidine) و پارچه پلی‌استری است که برای انجام این ازمایش پارچه پلی استری و میزان مشخصی از آنیلین PANI، o-آنیزیدینPOAN ، o-تولوئیدین POT به طور جداگانه در اسید کلریدریک وارد شده و محیط تا دمای ۰-۵ خنک می‌گردد سپس آمونیوم پروکسودی سولفات با نسبت استوکیومتری مشخصی با اسیدکلریدریک به آن اضافه گردید. پس از گذشت ۳ ساعت از اضافه شدن اکسید کننده و پلیمریزاسیون، پارچه از محیط خارج شده و جهت خروج مواد پیوند داده نشده شسته شد. جهت ارزیابی نتایج از دستگاه‌های FTIR، TGA و DTG استفاده شده و میزان ضدآتش شدن منسوجاتی شاهد و عمل‌آوری شده با PANI، POAN و POT از شاخص LOI استفاده شده است [۱۲].

مطابق شکل۱ـ۱۱، نتایج بدست آمده حاکی از آن است که پیوند دادن PANI، POAN و POT بر سطح منسوجاتی پلی استری موجب افزایش ثبات منسوجات در برابر آتش شده است.



شکل۱-۱۱: میزانLOI منسوجاتی PET پیوند داده با PANI، POAN، POT [۱۰].

Archive of SID

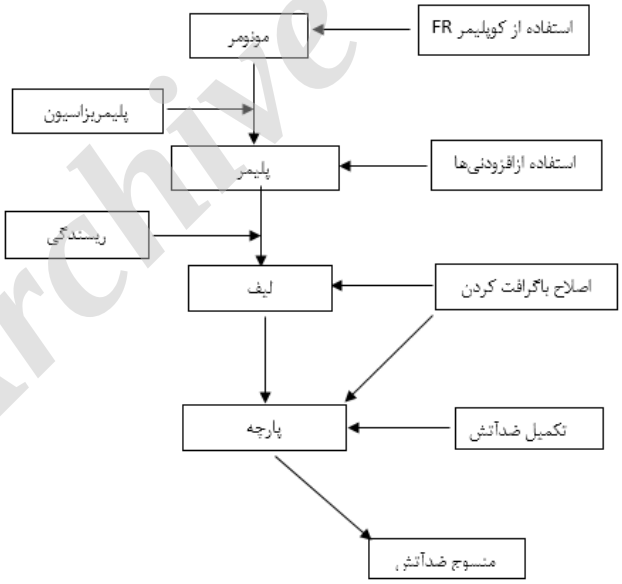
www.SID.ir

۱ـ۵ـ۴ـ۲ـ منسوجات اکریلیکی ضد آتش

اساس بیشتر کارهای صورت گرفته بر روی الیاف مداکریلیک (کوپلیمر اکریلونیتریل (AN) و وینیل کلراید/وینیلیدین کلراید) است. این الیاف به اندازه کافی ضدآتش هستند اما به علت وجود ترکیبات هالوژنه و سمی بودن آنها در حالی که می‌سوزند قابلیت استفاده از آنها محدود شده است بنابراین هدف، تولید الیاف اکریلیکی ضد آتشی است که سمی نبوده و دود کمتری تولید نماید[۱۲].

اصلاح الیاف اکریلیک برای تولید الیاف ضدآتش به وسیله باجا و همکارانش، مهتا و شرما و هوروک دسته‌بندی شده است. همانند الیاف دیگر روش‌های متفاوتی جهت تولید الیاف اکریلیک ضد آتش وجود دارد که در شکل۱ـ۱۲ ارائه شده است عبارتند از:

- ترکیب مونومرهای وینیلی حاوی هالوژن/فسفر در طول پلیمریزاسیون؛
- استفاده از مواد افزودنی ارگانوفسفر و ترکیبات قلع/آنتیموآن در مرحله ریسندگی؛
- عمل‌آوری شیمیایی الیاف؛



شکل ۱-۱۲: روش‌های تولید الیاف اکریلیک [۱۲]

خاصیت ضدآتش الیاف اکریلیک می‌تواند با استفاده از کومنومرهایی مانند وینیل کلراید، وینیلیدین کلراید، ۱-بروموپروپان، ۲- برومواتیل اکریلات، ۲و۳- دی برومو اکریلات، فسفونات و مشتقات اسید فسفریک افزایش یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

تعداد زیادی افزودنی با قابلیت کاهش آتش‌پذیری الیاف اکریلیک، در مرحله ریسندگی الیاف به مذاب ریسندگی اضافه می‌گردد. افزودنی‌های شناخته شده شامل استرهای آنتیموآن، قلع و اکسیدهای آنها، SiO_2، پارافین هالوژنه، ترکیبات آروماتیکی هالوژنه، ترکیبات فسفری و... است که ترکیبات بروم بیشترین تأثیر را در تولید الیاف اکریلیک ضد آتش داشته است. همچنین پلیمرهایی از دی برومو استایرن، پلی اکریلیک فسفونات، گروه‌های آلکوکسی که با مشتقات هالو بنزن جانشین شده‌اند، ترکیبات فسفر و بورات روی به مذاب ریسندگی اضافه شده و الیاف اکریلیک ضد آتش تولید می‌گردد [۱۲].

چو و همکارانش الیافی از کوپلیمر پلی اکریلو نیتریل و وینیل استات با نسبت های (۶:۹۴) تهیه کردند که در آن از افزودنی‌های پلی دی برومواستایرن (۱۵تا ۲۵درصد وزنی) و هگزابرومو سیکلودودکان (۱۵-۲۵ درصد وزنی) استفاده شده است. در این تحقیق مذاب ریسندگی شامل ۲۴درصد وزنی از پلیمر در حلال دی متیل استامید (DMAc)، در حمام انعقاد دارای ۵۵درصد DMAc و در دمای $40^{\circ}C$ ریسیده شد تا لیف مورد نظر شکل بگیرد. لیف تولید شده به علت حفره‌های موجود بر لیف دارای استحکام کششی و ازدیاد طول بسیار پایینی بوده ولی وجود این حفره ها خود می تواند با سرعت بخشیدن در تخریب برم موجب افزایش در خاصیت ضد آتش منسوجات گردید [۱۲].

از جمله روش‌ها در ضد آتش کردن الیاف اکریلیکی تکمیل شیمیایی آن با ترکیباتی مانند فسفر، هالوژن و مواد نیتروژن‌دار است. برای مثال اکسید دکابرومودی فنیل[1] و برومید آمونیوم[2]، اوره و اسید فیتیک[3]، هیدرات هیدرازین[4]، سولفات هیدروکسی آمین و نمک‌های فلزی که به عنوان تأخیرانداز شعله استفاده می‌شوند از جمله این مواد هستند.

روش‌های متفاوتی برای کاربرد مواد ضد آتش بر الیاف اکریلیکی ریسیده شده به روش متداول تر‌یسی، انجام می‌شود که می‌تواند شامل :

- فروبردن الیاف در مواد ضد آتش بعد از ریسیدن در مرحله ژل و قبل از خشک شدن؛
- عمل‌آوری الیاف قبل از به‌کارگیری مواد تکمیلی به کاربرده شده در مرحله ریسندگی؛
- اصلاح سطحی الیاف یا پارچه اکریلیک با مواد تأخیرانداز شعله؛

باید توجه داشت که به کارگیری این روش‌ها در تولید منسوجات اکریلیکی با صرفه باشد و استفاده از این روش‌ها امکان‌پذیر باشد.

1. Decabromodiphenyl oxide
2 . Ammonium bromide
3 . Phytic acid
4 . Hydrazine hydrate

Archive of SID

www.SID.ir

کانبو لیمیتد[1] به اصلاح الیاف اکریلیک در مرحله تولید ژل پرداخت در این روش از ۲۵ درصد محلول کوپلیمر PAN، سدیم آلیل سولفونات و وینیلیدین کلراید با نسبتهای (۴۲:۲:۵۶) استفاده شد و الیاف بعد از ریسیده شدن در دمایC°۵۰، کشیده شده و پس از شستشو و تولید ژل، با درصد آب محتوی حدود ۲۲۹درصد در وزن پلیمر، با محلول حاوی ۴۰ گرم بر لیتر آنتیموآن اکساید و برداشت ۱۵۰درصد عمل آوری شد در نهایت نمونه خشک و در دمایC° ۱۲۰تثبیت گردید. LOI نمونه عمل آوری شده در حدود ۳۳ بوده و حاوی ۴ درصد اکسید آنتیموآن به صورت کلوئیدی بوده است [۱۲].

یکی از کارهای انجام شده جهت تکمیل ضد آتش منسوجاتی پلی‌اکریلونیتریل، تهییج سطح منسوجات برای پیوند با مونومرهای پلیمریزه شده و ضد آتش، با استفاده از پلاسما می‌باشد. مواد مورد استفاده در این تحقیق پارچه پلی‌اکریلونیتریل g/m^2 ۲۹۰-۳۰۰، مونومرهای حاوی فسفات، کراس لینک کننده و حلال بود [۱۳]. در ابتدای کار تکه‌ای از پارچه پلی‌اکریلونیتریل بریده شده و در محلول اتانولی حاوی مخلوط منومرها و کراس لینک‌کننده فرو برده می‌شود. پس از خروج از محلول بر صفحه شیشه‌ای قرار گرفته و در دستگاه پلاسما با فشار Pa ۴۰ و توان W ۱۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه قرار می‌گیرد سپس منسوجات شسته شده و در دمای اتاق به مدت ۲ روز خشک می‌گردد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که پارچه عمل‌آوری شده با ۳/۶ از ترکیبات فسفری دارای LOI ۲۸ بوده و به کارگیری روش پلاسما موجب پیوند و پلیمریزه شده منومرها بر سطح منسوجات می‌شود [۱۳].

در یکی دیگر از روش‌های به کار رفته پارچه اکریلیک با LOI در حدود ۴۳ تولید گردید. در این تحقیق پارچه اکریلیکی با ۸درصد از محلول تیوسیومی کربازید در گلایکول و در دمای C° ۱۸۰ عمل‌آوری شد که نتیجه آن، قرارگیری حدود ۱۶درصد از مواد بر منسوجات بوده است. دمای تخریب پارچه عمل‌آوری شده تا حدود C°۴۰۰ افزایش یافت این در حالی است که این دما برای منسوجاتی عمل‌آوری نشده در حدود C° ۲۴۰ می باشد [۱۲].

۱ـ۵ـ۴ـ۳ـ تولید منسوجات نایلونی ضد آتش

در طول جنگ جهانی دوم، اهمیت منسوجات ضدآتش برای کاربرد نظامی افزایش یافت ولی در این میان تلاش و کوشش جهت ضد آتش کردن نایلون‌ها چندان موفقیت‌آمیز نبود. در طول جنگ جهانی دوم نایلون برای اولین بار با استفاده از رزین تکمیل شد و در این مدت استفاده از رزین‌ها مانند ملامین فرمالدهید جهت ضد آتش کردن منسوجات متداول گردید. از سال ۱۹۴۰ ترکیبات بیشتری برای عمل‌آوری نایلون معرفی شد

1. Kanebo Limited

Archive of SID

www.SID.ir

که این ترکیبات شامل ترکیبات هالوژن‌دار، ارگانو فسفرها، ترکیبات نیتروژنی، رزین ها، پلیمرهایی حاوی قلع یا سیلیکون و ترکیباتی غیر آلی بودند.

مواد ضد آتش مورد استفاده برای ضد آتش کردن نایلون و در مرحله پلیمریزاسیون فسفر قرمز و ترکیباتی فسفری مانند بیس (۲-کربوکسی اتیل) متیل فسفین اکساید (CEMPO) می باشد. فسفر قرمز گران بوده که در مواقع ضروری استفاده خواهد شد. بنابراین با ترکیباتی مانند هیدروکسید منیزیم یا تری هیدرات آلومینیم ترکیب خواهد شد که موجب اثر هم‌افزایی می‌گردد. در یکی از تحقیقات انجام شده کاپرولاکتام در حضور ۵ درصد وزنی فسفر قرمز و ۵ درصد وزنی اکسید منیزیم پلیمریزه شده که تولید نایلون ۶ ضد آتش با LOI حدود ۲۸/۵ می‌کند. این فرایند به وسیله سدیم یا لیتیم کاپرولاکتام و فعال شده با N-استیل کاپرولاکتام آغاز شده و اندازه ذرات فسفر قرمز در حدود کمتر از ۴۰μ می باشد [۲].

هنگامی که ترکیبات هالوژنه به عنوان افزودنی در مذاب ریسندگی نایلون‌ها استفاده می‌شود مشکل اساسی به واکنش‌های دهالوژنه و دهیدروهالوژنه آن بر می‌گردد که در دماهای بالا رخ داده و در طول فرآیند ریسندگی و در دمای بالا و برای یک مدت طولانی، ثبات کافی نخواهد داشت [۲].

یکی از روش‌های اقتصادی به کاربردن تأخیراندازهای شعله استفاده از افزودنی‌ها به مذاب نایلون، هنگاهی که ریسیده می‌شود می‌باشد ولی بیشتر افزودنی‌های فسفری، فلزی و هالوژنی در دماهای ریسندگی پایدار نیستند و خصوصیات پلیمر را تغییر می دهند بنابراین در انتخاب افزودنی‌های فسفری، هالوژنی و غیر آلی ها با وزن مولکولی پایین باید دقت کرد. بسیاری از ترکیباتی که به عنوان ضد آتش در مذاب ریسندگی استفاده می‌شوند ترکیبات با وزن مولکولی پایین فسفری، پلی‌اتیلن کلرینه شده، پنتااریتریتول برومینه شده، اکسید آنتیموآن و ... می‌باشد [۲].

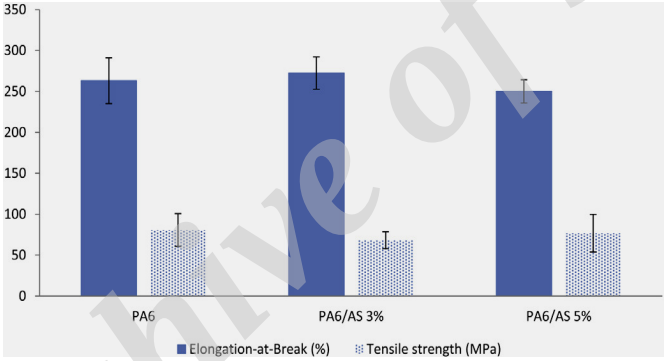
با وجود تلاش‌های بسیار، واکنشگر یا افزودنی مناسبی برای ضد آتش کردن پلی آمید ۶,۶ یا نایلون ۶ پیدا نشده است. استفاده از افزودنی ها مشکلات ثباتی منسوجات را کاهش می‌دهد ولی یکی از مشکلات مربوط به این مواد آن است که این مواد در فاز جامد و مایع، فاز جداگانه ای را شکل داده که استحکام الیاف ذوب ریسی شده را کاهش می‌دهند. تنها تعداد محدودی از افزودنی‌ها برای الیاف نایلون ۶ استفاده می‌شود که هم از لحاظ مکانیکی و هم از لحاظ قابلیت ریسندگی، کاربرد داشته باشد. به تازگی استفاده از نانو ذرات که حتی در میزان مصرف کم هم، قابلیت بالایی در ضد آتش کردن منسوجات دارند بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. تحقیقات اخیر برای ضد آتش کردن پلی‌آمیدها در این زمینه بیشتر براساس به کارگیری نانوذرات می‌باشد [۲].

Archive of SID

www.SID.ir

در یکی از تحقیقاتی که به تازگی انجام شد از جمله ذراتی که در ضد آتش کردن منسوجاتی نایلونی استفاده گردید نانو ذرات فسفات بور بود که دمای ذوب آن در حدود °C ۱۰۰۰ می باشد. این ذرات در مرحله ریسندگی به مذاب نایلون ۶ اضافه گردید. نتایج نشان داد که با افزودن این ذرات استحکام کششی فیلامنت‌ها و پیک سرعت رهایش گرما (pHRR) با شکل‌گیری ذغال و ایجاد مانع کاهش یافت. می‌توان اینگونه بیان نمود که استفاده از فسفات بور به علت تشکیل ذغال در مقایسه با دیگر مواد تأخیرانداز شعله متداول، خاصیت ضد آتش بهتری به منسوجات داد [۱۴].

در تحقیقات اخیر از دیگر موادی که جهت ضد آتش کردن منسوجات به مذاب نایلون ۶ اضافه گردید سولفات آمونیوم بود. تحقیقات نشان داد تا ۵٪ وزنی استفاده از سولفات آمونیوم امکان تولید الیاف وجود دارد ولی با افزایش آن تا ۷٪ وزنی موجب تولید الیافی گردید که در عین آنکه ریسیده می شود قابلیت شکنندگی دارد و در میزان های زیاد (۱۰٪ وزنی) امکان تولید الیاف نیست [۱۵].



شکل ۱-۱۳: ازدیاد طول تا حد پارگی و استحکام کششی پلی آمید خام، پلی آمید۶/۳٪ سولفات آمونیوم و پلی آمید ۶/۵ ٪ سولفات آمونیم [۱۵]

در شکل ۱ـ۱۳، ازدیاد طول تا حد پارگی و استحکام کششی برای پلی آمید خام، پلی آمید ۳ / ۶٪ سولفات آمونیوم و پلی آمید ۶/۵٪ سولفات آمونیم ارائه شده است. اضافه کردن سولفات آمونیوم خصوصیات مکانیکی منسوجات را چندان تحت تأثیر قرار نداده و افزایش سولفات آمونیوم تا حدود ۵٪ وزنی تغییری در ازدیاد طول و استحکام کششی منسوجات به وجود نیاورده است. با افزایش سولفات آمونیوم پیک سرعت رهایش گرما و میزان گرمای آزاد شده THR بیشتر کاهش یافته است. PHRR برای لیف حاوی ۷٪ سولفات آمونیوم به میزان ۳۰ ٪ کاهش می یابد[۱۵].

به طور کلی هنگام استفاده از مواد ضد آتش در مذاب ریسندگی مشکلاتی در تخریب پلیمر به وجود می‌آید که به موجب آن، تکمیل پارچه‌های نایلونی و اصلاح سطحی آن نسبت به استفاده از افزودنی در مذاب پلیمری ترجیح داده می‌شود. پارچه نایلونی با موادی بر پایه تیواوره a یا فرمالدهید یا اوره و ملامین b متراکم شده عمل‌آوری می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

تعدادی از ترکیبات استفاده شده برای تکمیل سطحی پارچه‌های نایلونی در جدول ۱ـ۴ ارائه شده است. در یکی از تحقیقات انجام شده هیدروکسی متیله کردن نایلون ۶ با استفاده از ۳۶٪ فرمالدهید در دمای ۷۰-۸۰ و pH ۹ـ۱۰ برای ۱ـ۲ ساعت انجام شد. در ادامه با عمل‌آوری آن با پیرووواتکس CP (N-متیلول دی متیل فسفونوپروپیون آمید) (۱۰-۵۰ ٪) برای ۳۰ـ۵ دقیقه و خشک کردن در دمای ۱۵۰ـ۱۸۰ در ۲ـ۶ دقیقه نمونه ضد آتش آماده شد که LOI آن حدود ۳۱/۴ بوده است این در حالی است که LOI نایلون ۶ هنگاهی که تنها با فرمالدهید عمل‌آوری شود حدود ۲۳/۶ است [۲].

جدول ۱ـ۴: تکمیل شیمیایی منسوجاتی پلی‌آمیدی

خصوصیات	تکمیل
LOI ۳۱/۴ درصد	عمل‌آوری با HCHO (۳۶ درصد) پیرووواتکس CP[a] ۱۰/۵ درصد
LOI ۲۸/۲ درصد نیروی گسیختگی نسبی ۳۶/۸ CN/tex در مقابل ۴۴/۴ برای منسوجاتی غیر عمل‌آوری شده، سرعت تخریب الیاف از ۱۶ تا ۶/۵ mg/min کاهش یافته	عمل‌آوری با پلی‌استرهای اسید بوریک (BAP)
خاصیت ضد آتش مشاهده شد	عمل‌آوری با ۱۸/۵ درصد THPC[b]، ۸/۵ درصد تری متیلول ملامین+ ۸/۸ درصد اوره + ۰/۱ درصد سطح فعال
خاصیت ضد آتش مشاهده شد	عمل‌آوری با کراس لینک کننده ترکیبات ارگانو فسفرها با اساس ۱و۳و۵-تری اکریلوهگزا هیدرو-۱و۳و۵ تری اگزیل و اکسید دی آلکیل فسفین
خاصیت ضد آتش مشاهده شد	عمل‌آوری با نووالاک یا رزین اپوکسی شامل ۱تا ۷ درصد فسفر قرمز
انرژی فعال‌سازی مرحله تخریب ΔE ۱۹۴ KJ/mol بدون مذاب تا دمای ۱۰۰۰ درجه و تولید ذغال با ۱۰ درصد کاهش استحکام	عمل‌آوری با ۲۵ درصد ۲و۵ در کلرو بنزن سولفونیل کلراید در ۱۱۵ درجه برای ۴ ساعت
دمای تخریب ۳۵۰ درجه دمای ذوب ۲۷۰ تا ۲۸۵	فسفرولیشن کردن پلی‌آمید

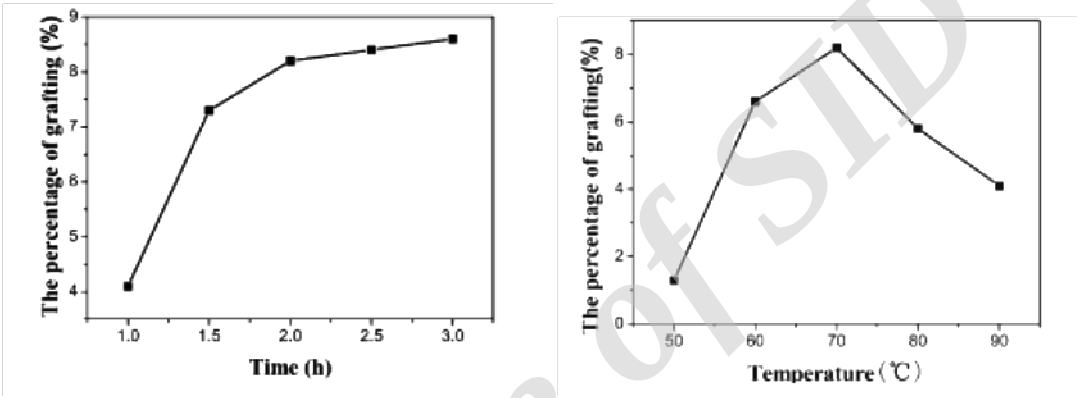
در تحقیقی دیگر جهت ضد آتش کردن منسوجاتی نایلونی موادی نظیر منومر اکریل آمید بر سطح پارچه طی یک واکنش پلیمریزاسیون پیوند داده شد. برای این کار ابتدا پارچه نایلون ۶۶ در محلول بنزنی حاوی ۵٪ وزنی دی بنزوئیل پروکساید به عنوان آغازگر فرو برده و سپس از دستگاه پد عبور داده شد پس از آن در محلول منومر اکریل آمید جهت واکنش کوپلیمریزاسیون غوطه ور گردید. در این روش مدت زمان غوطه‌وری

Archive of SID

www.SID.ir

و دمای محیط تغییر کرده و در آخر پس از شستشو با استون جهت خروج منومرهای اضافی، منسوجات در دمای ۸۵ برای ۲۰ دقیقه خشک گردید[۱۶].

مطابق شکل ۱ـ۱۵، نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش دما تا حدود $70^{\circ}C$ و زمان تا ۲ ساعت میزان مواد پیوند داده شده بر سطح منسوجات افزایش یافته سپس کاهش می‌یابد. غلظت اولیه مونومر اکریل آمید نیز بر میزان مواد کوپلیمریزه شده با سطح منسوجات مؤثر است تا جایی که با افزایش آن ویسکوزیته محلول افزایش یافته بنابراین امکان دسترسی منومر به زنجیر اصلی پلی آمیدی کاهش یافته و میزان مواد واکنش داده کمتر می‌شود [۱۶].



شکل ۱-۱۵: تغییرات میزان پیوند مونومر اکریل آمید a با تغییر زمان b با تغییر دما [۱۶]

نتایج نشان داد که خصوصیات مکانیکی و ثبات شستشویی منسوجاتی عمل‌آوری شده خوب بوده است و طول سوختگی و سرعت رهایش گرما کاهش یافت ولی میزان LOI بدست آمده از نمونه پیوند داده شده با منومر اکریل آمید در حدود ۲۲/۰ درصد بوده، که این میزان در مقایسه با نمونه بدون پیوند چندان زیاد نبوده است. باید توجه داشت خوب بودن خاصیت ضدآتش منسوجات به دلیل تشکیل گازهای غیر قابل اشتعال و تشکیل ذغال در حین سوختن منسوجات می‌باشد [۱۶].

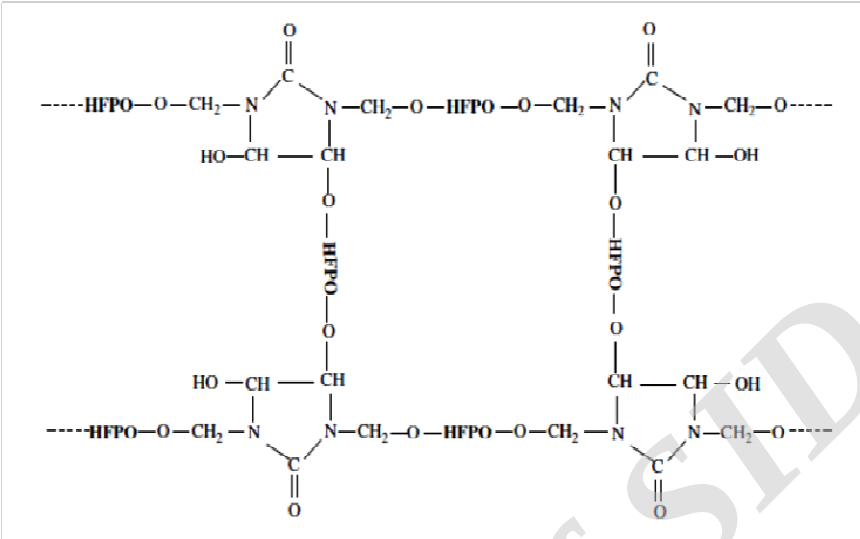
از دیگر کارهای صورت گرفته جهت اصلاح سطحی منسوجاتی نایلونی، پیوند منومر وینیل بنزیل آمونیوم کلراید در حضور ۲ـ هیدروکسی اتیل متا اکریلات با سطح پارچه نایلونی ۶ می‌باشد. برای این کار ابتدا پارچه نایلونی در مخلوط منومرها با حضور متانول و DMF فرو رفته و سپس در معرض اشعه گاما قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد پارچه پیوند داده شده با منومرها قبل از آنکه شروع به سوختن کند ذوب نمی‌گردد[۱۷].

استفاده از مواد ضد آتش در کنار ترکیباتی به عنوان اتصال دهنده مانند ملامین یا اوره که قادر به ایجاد اتصالات عرضی با سطح منسوجات و مواد ضد آتش هستند، از جمله کارهایی است که جهت اصلاح سطحی منسوجات انجام می شود. در همین راستا و در یکی از تحقیقات انجام شده از ماده تأخیر انداز شعله ارگانو فسفر

Archive of SID

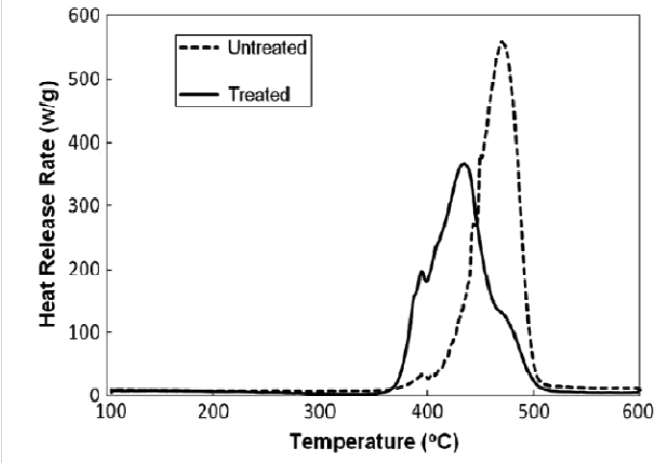
www.SID.ir

هیدروکسیل دار (HFPO) و مشتقات فرمالدهید ملامین، با ترکیب تری متیلول ملامین (TMM) و اوره با ترکیب دی متیلول دی هیدروکسی اتیلن اوره (DMDHEU) به عنوان اتصال‌دهنده استفاده گردید[۱۸].



شکل ۱-۱۶: نحوه واکنش اتصال دهنده DMDHEU با ترکیب HFPO [۱۹]

برای این کار ابتدا پارچه در محلول حاوی ماده ضد آتش، اتصال دهنده و کاتالیست NH4Cl فرو رفته سپس در دمای ۹۰ به مدت ۱/۵ دقیقه خشک و در دمای ۱۶۵ به مدت ۲ دقیقه پخت گردید. میزان برداشت برای پارچه حدود ۵۲ درصد بوده است. نتایج بدست آمده نشان داد TMM و DMDHEU قابلیت اتصال با ماده ضدآتش و پارچه نایلونی را داشته و ماده ضدآتش بر منسوجات از ثبات شستشویی خوبی برخوردار بوده است. با اندازه‌گیری میزان فسفر باقی مانده بر پارچه،DMDHEU به عنوان اتصال دهنده، عملکرد بهتری نسبت به TMM داشته، در شکل ۱ـ۱۶، نحوه پیوند اتصال دهنده DMDHEU با ترکیب HFPO آمده است [۱۸]. با بررسی خاصیت ضدآتش منسوجات مشخص شد با پیوند HFPO بر سطح پارچه مطابق شکل ۱ـ۱۷، پیک سرعت رهایش گرما و مساحت زیر منحنی یا گرمای آزاد شده کل، کاهش یافته است.



شکل ۱-۱۷: سرعت رهایش گرما برای نمونه خام و نمونه عمل‌آوری شده با HFPO [۱۹]

Archive of SID

www.SID.ir

در یکی از تحقیقاتی که به تازگی انجام شده است، برای جلوگیری از چکه کردن منسوجاتی نایلونی هنگام سوختن از ترکیب آمونیوم پلی فسفات APP با درجه پلیمریزاسیون متفاوت ، ملامین و پنتااریتریتول استفاده شد. مواد مورد نظر با ۷۰درصد برداشت بر منسوجات پد، و در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد برای ۴ دقیقه خشک گردید. نتایج نشان داد که با افزایش درجه پلیمریزاسیون میزان LOI کاهش یافته و بیشترین میزان LOI در ترکیب ملامین، پنتااریتریتول و آمونیوم پلی فسفات، با درجه پلیمریزاسیون پایین‌تر، بدست آمد که در نتیجه اثر هم افزایی آمونیوم پلی فسفات به عنوان منبع اسیدی، ملامین به عنوان منبع گازی و پنتااریتریتول به عنوان منبع شکل‌گیری ذغال در ضد آتش کردن منسوجات به وجود آمده است. این ترکیب ثبات شستشویی بالایی نداشته و برای منسوجاتهای تجاری مانند فرش و پرده که نیاز به شستشوی زیادی ندارند قابل استفاده است [۱۹].

۱ـ۵ـ۴ـ۴ـ منسوجات ضد آتش با الیاف ترکیبی

استفاده از الیاف ترکیبی در طول ۴۰ سال گذشته افزایش یافته است که کاربرد روزافزون این الیاف به علت قیمت مناسب و عملکرد مناسب این مواد می‌باشد. با روش‌های گوناگونی می توان الیاف ترکیبی ضدآتش تولید کرد که شامل :

- ترکیب الیافی که ذاتاً ضد آتش هستند؛
- ترکیب الیافی ضد آتش و الیافی که قابلیت احتراق دارند؛
- تکمیل شیمیایی الیاف ترکیبی قابل احتراق؛

در میان الیاف ترکیبی، به کارگیری ترکیبات پلی استر/اکریلیک، پنبه/اکریلیک قابلیت تعامل با یکدیگر در ضد آتش شدن را نداشته ولی به کارگیری پنبه/اکریلیک، پنبه/پلی آمید مخصوصا ترکیبات حاوی پشم مانند پشم/پلی استر از تعامل مناسبی در این خصوص برخوردارند. به‌عنوان مثال پنبه با ضریب اکسیژن محدود ۱۹ـ۱۸ درصد، هنگامیکه به نسبت ۶۰/۴۰ با مداکریلیک با ضریب اکسیژن محدود ۳۳ درصد مخلوط می‌گردد، ضریب اکسیژن محدود مخلوط آن به ۳۵ درصد افزایش می‌یابد[۲۰].

نرخ سوختن در الیاف ترکیبی به سرعت سوختن و دمای سوختن جزیی نزدیک‌تر است که سریع‌تر می سوزد و انتظار می‌رود میزان LOI برای الیاف ترکیبی، میزان متوسط هر دو لیف باشد ولی عموما انحراف از این مقدار مشاهده شده است. هدف از الیاف ترکیبی تولید موادی است که خاصیت خود خاموش شوندگی داشته باشد. به دلیل اهمیت تجاری ترکیب پنبه/پلی‌استر با ایجاد به اصطلاح اثر داربست هنگام سوختن، تحقیقات زیادی بر این منسوجات انجام شده است[۲۰].

Archive of SID

www.SID.ir

رفتار سوختن پلی‌استر و پنبه به درستی شناخته شده نمی باشد و اثر داربست ارائه شده توسط کروس[1] شاید یکی از علت‌های غیر قابل پیش بینی بودن رفتار این الیاف باشد. در تحقیقات اولیه توسط تسرو[2] و میسر[3] نشان داده شد که میزان LOI ترکیب این دو لیف از LOI پنبه ۱۰۰ درصد کمتر است. به طور کلی هنگامی که الیاف به صورت ترکیب استفاده می‌شوند در مقایسه با زمانی که الیاف به صورت ۱۰۰ درصد استفاده می شود کمتر رفتار قابل انتظار در ضد آتش شدن را از خود نشان می دهند.

اکثر الیاف طبیعی در برابر آتش، سوخته ذغالی برجای می‌گذارند؛ در حالیکه الیاف مصنوعی ذوب شده و قطرات مذاب ایجاد می‌کنند. ترکیب این‌دو، رفتار حرارتی مشکلاتی را به همراه دارد که سبب می‌شود مخلوط تشکیل شده ضدآتش نگردد، زیرا توده ذوب شده ناشی از الیاف مصنوعی خود منبع حرارتی برای سوخته ذغالی حاصل از الیاف طبیعی، ایفا می‌کند و از این‌رو ترکیب نهایی سریع‌تر می‌سوزد [۲۰].

برای مثال رفتار مخلوط الیاف پشم و پلی‌استر در برابر شعله است. هنگامی‌که الیاف پشم تکمیل دفع آتش شده با Zirpro با الیاف کوپلیمر ذاتاً ضدآتش شده پلی‌استر با متیل‌پروپیونیل فسفین‌اسید مخلوط می‌شوند و در برابر شعله قرار می‌گیرند، به سرعت می‌سوزد. از این‌رو تحقیقات برای ضدآتش کردن مخلوط الیاف مختلف از اهمیت خاصی برخوردار بوده و همچنان ادامه می‌یابد.

۱-۶- روش‌های ارزیابی اشتعال‌پذیری منسوجات

پارامترهای متنوعی نظیر نوع الیاف، وزن آنها، ساختار منسوج و همچنین تکمیل‌های ضدآتش انجام شده، بر رفتار منسوج در برابر آتش و شعله، اثرگذار هستند. از طرف دیـــگر متناسب با کاربرد منسوجات معیارهای ارزیابی ضدآتش متفاوتی وجود دارد که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱ـ۶ـ۱ـ ضریب اکسیژن محدود (LOI)

یکی از روش‌های رایج اندازه‌گیری معیار ضدآتش، اندازه‌گیری پارامتر ضریب اکسیژن محدود است که مطابق استاندارد ASTM D 2863 اندازه‌گیری می‌شود. پارامتر ضریب اکسیژن محدود طبق تعریف عبارت است از مقدار اکسیژن در مخلوط اکسیژن و نیتروژن است که مانع از سوختن نمونه می‌گردد.

روش انجام آزمایش تعیین مقدار ضریب اکسیژن محدود به این صورت است ۱۰ نمونه با ابعاد ۵×۱۵cm تهیه می‌شود. لازم بذکر است هر نمونه باید حداقل ۸۸ ساعت در محفظه در دمای ۲۳ ±۲°C و رطوبت

1. Kruse
2. Tesoro
3. Meiser

Archive of SID

www.SID.ir

محتوی ۵± ۵۰ ٪ نگهداری شوند و بلافاصله بعد از خارج شدن، آزمایش اندازه‌گیری ضریب اکسیژن محدود انجام شود. پارامتر ضریب اکسیژن محدود با استفاده از رابطه زیر و به‌صورت درصد بیان می‌شود:

$$LOI = \frac{O_2}{(O_2 + N_2)} \times 100 \qquad (۱_۱)$$

در جدول ۱ـ۵، نوع سوختن و مقدار این پارامتر برای برخی از الیاف گزارش شده است.

جدول ۱ـ۵: مقادیر ضریب اکسیژن محدود (LOI) الیاف و نوع سوختن آنها در هوا

نوع الیاف	ضریب اکسیژن محدود (٪)	سوختن در هوا
اکریلیک	۱۸/۲	به‌راحتی جرقه می‌زند، سریع می‌سوزند.
پنبه	۱۸/۴	
ویسکوز	۱۸/۶	
پلی‌پروپیلن	۱۹	
پلی‌استر(PET)	۲۰ـ۲۱	معمولاً جرقه می‌زند و می سوزند.
نایلون ۶ و ۶۶	۲۰ـ۲۱/۵	
پشم	۲۵	معمولاً در مقابل جرقه مقاومند.
مداکریلیک	۲۹ـ۳۰	
متا ـ آرامید	۲۸ـ۳۱	
پارا ـ آرامید	۲۹ـ۳۱	
فنل ـ فرمالدئید از نوع Kynol	۳۰ـ۳۴	تحت شرایط جداگانه ضدآتش هستند مثلاً با هوای سنگین دارای LOI >۳۰
ملامین فرمالدئید از نوع Basofil	۳۲	
پلی (آرامید ـ ایمید) (Kermel)	۳۲	
پلی‌فنیلن سولفید (PPS)	۳۴	
پلی‌اتر اتر کتون (PEEK)	۳۵	
پلی‌ایمید (P1 , P84)	۳۶ـ۳۸	
پلی‌بنزید یمیدازول (PBI)	>۴۱	
پلی‌اتر ایمید (PEI)	۴۴ـ۴۵	
اکریلیک جزئی اکسید شده (Preox, Pnox)	۴۵ـ۵۵	
پلی (وینیلیدین / وینیل کلراید)PVDC	۶۰	
پلی‌بنزوکسی آزول(PBO, Zylon)	۶۸	
پلی‌تترا فلئورو اتیلن (PTFE)	۹۸	
شیشه و الیاف سرامیکی، ترکیبات معدنی با بالاترین میزان اکسیداسیون	—	اصلاً نمی‌سوزند حتی در اکسیژن خالص تنها ذوب و (LOI 100) می‌شوند.

Archive of SID

www.SID.ir

۱ـ۶ـ۲ـ روش اندازه‌گیری TGA

یکی از آزمایش‌های رایج در بررسی رفتار ترکیبات متفاوت ضدآتش بر منسوج، روش اندازه‌گیری Thermo Gravimetric Analysis (TGA) است. در این روش تغییر جرم نمونه بعنوان تابعی از دما یا تابعی از زمان در حالت همدما اندازه‌گیری می‌شود و از روی تغییرات وزن نسبت به حرارت، میزان تأثیر ماده ضدآتش بررسی می‌گردد. در استاندارد ASTM E1131 03، روش انجام آزمایش TGA شرح داده شده است.

یکی از روش‌های معمول در ارزیابی کالای ضد آتش شده، اندازه‌گیری پارامتر طول سوختگی آن می‌باشد. طبق تعریف طول سوختگی یک پارچه برابر است با طول سوخته شده از یک پارچه با ابعاد معین که در یک مدت زمان و فاصله مشخص در معرض شعله قرار دارد. روش انجام اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی پارچه در استانداردهای مختلفی ارائه شده است. در اغلب این استانداردها روش آزمایش و محاسبه طول و سرعت سوختن مشابه است ولی اندازه نمونه‌ها، مشخصات شعله و نحوه قرارگیری شعله و نمونه نسبت به یکدیگر متفاوت است.

در یکی از استانداردهای اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی پارچه، پارچه در ابعاد ۱۴×۷ سانتی‌متر بریده می‌شود و در یک مکان با استفاده از وسایل نگه‌دارنده ثابت می‌شود. برای انجام عملیات سوختن از یک شعله با طول ۲ سانتی‌متر، در فاصله ۲ سانتی‌متری از لبه پارچه استفاده می‌شود. برای آزمایش نمونه‌ها لازم است تا پارچه در معرض شعله به مدت۱۲ ثانیه قرار گیرد. در این زمان، میزان پیشروی آتش بر روی پارچه (طول سوختگی) محاسبه می‌گردد. با تقسیم طول سوختگی بر زمان در معرض شعله بودن (۱۲ ثانیه)، سرعت سوختگی نیز تعیین می‌شود.

۱ـ۶ـ۳ـ اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی

یکی از روش‌های معمول در ارزیابی کالای ضد آتش شده، اندازه‌گیری پارامتر طول سوختگی آن می‌باشد. طبق تعریف طول سوختگی یک پارچه برابر است با طول سوخته شده از یک پارچه با ابعاد معین که در یک مدت زمان و فاصله مشخص در معرض شعله قرار دارد. روش انجام اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی پارچه در استانداردهای مختلفی ارائه شده است. در اغلب این استانداردها روش آزمایش و محاسبه طول و سرعت سوختن مشابه است ولی اندازه نمونه‌ها، مشخصات شعله و نحوه قرارگیری شعله و نمونه نسبت به یکدیگر متفاوت است.

در یکی از استانداردهای اندازه‌گیری طول و سرعت سوختگی پارچه، پارچه در ابعاد ۱۴×۷ سانتی‌متر بریده می‌شود و در یک مکان با استفاده از وسایل نگه‌دارنده ثابت می‌شود. برای انجام عملیات سوختن از یک شعله با طول ۲ سانتی‌متر، در فاصله ۲ سانتی‌متری از لبه پارچه استفاده می‌شود. برای آزمایش نمونه‌ها لازم است تا پارچه در معرض شعله به مدت۱۲ ثانیه قرار گیرد. در این زمان، میزان پیشروی آتش بر روی پارچه (طول

Archive of SID

www.SID.ir

سوختگی) محاسبه می‌گردد. با تقسیم طول سوختگی بر زمان در معرض شعله بودن (۱۲ ثانیه)، سرعت سوختگی نیز تعیین می‌شود.

۱ـ۶ـ۴ـ روش گرماسنجی مخروطی[1]

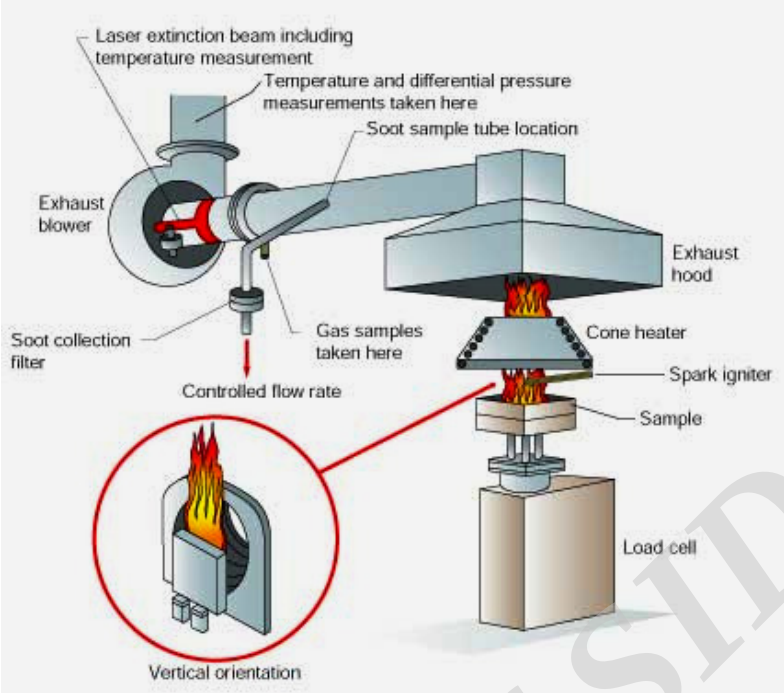
یکی از روش‌های اندازه‌گیری کمی آتش‌پذیری مواد، استفاده از آزمون گرماسنجی مخروطی یا (MCC) می‌باشد که تحت استاندارد ASTM E 1354/ISO 5660 است. اندازه نمونه‌ها در این روش ۱۰۰×۱۰۰ mm و ضخامت نمونه‌ها بین mm ۶ تا ۵۵ می باشد. نمونه‌ها در معرض هیتر برقی با شارژ الکتریکی ۱۰ تا ۱۰۰ kW/m^2 بوده و جرقه الکتریکی برای احتراق محصولات پیرولیز آزاد شده به وسیله نمونه، استفاده می‌گردد. در این روش همه محصولات تجزیه شده و هوا توسط هود جمع‌آوری شده و نمونه گاز گرفته شده، برای تعیین غلظت اکسیژن موجود آنالیز می شود. این دستگاه به لیزری برای اندازه‌گیری دود و CO_2/CO مجهز بوده و میزان گرمای آزاد شده را می‌توان با کاهش اکسیژن و دبی جرمی محاسبه نمود [۸]. نمایی از یک دستگاه گرماسنجی مخروطی در شکل ۱ـ۱۸ نشان داده شده است. پارامترهای کلیدی بدست آمده طی گرماسنجی مخروطی عبارتند از :

- زمان اشتعال(TTI): زمان پایداری اشتعال نمونه (برحسب ثانیه)
- سرعت رهایش گرما (HRR): سرعت رهایش گرما (واحد kW/m2)، با کمک کالریمتری اکسیژن مصرف شده اندازه‌گیری می شود.
- پیک سرعت رهایش گرما (Peak HRR): بیشینه مقدار سرعت رهایش گرما در طول اشتعال نمونه. بیشینه مقدار رهایش گرما در زمانی که نمونه در غیاب آتش خارجی یا منبع احتراق به سوختن ادامه دهد.
- کل وزن از دست رفته: با استفاده از سل در انتهای آزمایش میزان کل مواد که از نمونه سوخته شده است تعیین می‌گردد.
- کل گرمای آزاد شده (THR): مساحت زیر منحنی سرعت رهایش گرما (واحد MJ/m2)، کل گرمای آزاد شده در طول زمان سوختنTTI
- کل دود آزاد شده: میزان کل دود تولید شده به وسیله نمونه در طول سوختن در گرماسنج. دود بیشتر به علت احتراق ناقص نمونه یا به علت ساختمان شیمیایی آن می باشد [۷].

1. Cone calorimetry

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱-۱۸: گرماسنج مخروطی [۷]

با توجه به دستگاه‌های موجود در کشور جهت ارزیابی میزان اشتعال‌پذیری منسوجات، دراستفاده از این دستگاه‌ها و روش‌ها محدودیت‌هایی وجود دارد و در مواردی مانند روش ارزیابی با استفاده از گرماسنجی مخروطی، امکان استفاده از این دستگاه در داخل کشور نیست. بنابراین برای برآورد میزان آتش‌پذیری منسوجات ناگزیریم از روش‌های ساده‌تر استفاده نموده تا با محدودیت کمتری نیز همراه باشد.

۱ـ۷ـ جمع بندی

با توجه به نیاز کشور و افزایش سطح آگاهی مردم در خصوص ایمنی، ضدآتش کردن منسوجاتی که در زندگی روزمره با آنها سر و کار داریم، لازم و ضروری است. از آنجا که تولید منسوجات ضد آتش به روش تکمیل شیمیایی با در نظر گرفتن امکانات موجود در کشور و هزینه های جانبی آن روشی است که می‌توان برای تولید منسوجاتی ضد آتش استفاده کرد. بنابراین در ادامه به بررسی تولید ضدآتش کردن منسوجات با جنس‌های پلی‌استر، نایلون، اکریلیک و پنبه/پلی‌استر با استفاده از روش تکمیل شیمیایی پرداخته می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

فصل دوم

تولید نمونه‌های آزمایشگاهی منسوجات منتخب ضدآتش و انتخاب نسخه بهینه

Archive of SID

www.SID.ir

۲ـ۱ـ مقدمه

عملیات تکمیل را می‌توان به دو بخش کاملا متفاوت از قبیل تکمیل شیمیایی و تکمیل مکانیکی تقسیم کرد. تکمیل شیمیایی شامل اضافه کردن مواد شیمیایی (تر) به منسوجات به منظور کسب نتیجه مطلوب می‌باشد. به این طریق می‌توان خواص فیزیکی از قبیل ثبات ابعادی و خواص شیمیایی نظیر ضد آتش کردن را بدون تغییر در ظاهر منسوج تکمیل شده بهبود بخشید. در تکمیل مکانیکی معمولا از وسایل فیزیکی (مخصوصا مکانیکی) برای تغییر خواص پارچه استفاده می‌شود که اغلب ظاهر پارچه را به خوبی تغییر می‌دهند[۸].

طبق بررسی‌های انجام شده در تعیین جنس پارچه‌های متداول که در مصارف خانگی و پوشاک، بیشتر استفاده می‌شود چهار نوع پارچه انتخاب گردید که ضد آتش کردن این پارچه‌ها در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته و بهترین شرایط اعلام شد. لازم به ذکر است که پارچه‌های انتخاب شده شامل پارچه پنبه/پلی‌استر، پلی‌استر، نایلون و اکریلیک می‌باشد که رزین‌های گوناگون و موجود در کشور در ضد آتش کردن این پارچه‌ها استفاده گردید. روشی که برای ضد آتش کردن این پارچه‌ها استفاده شد تکمیل شیمیایی بوده که جهت انجام این فرآیند از روش آغشته سازی‌خشک‌پخت استفاده شد. در ادامه مشخصات هریک از پارچه‌های استفاده شده و روش‌های ضد آتش کردن آنها معرفی می‌شود.

۲ـ۲ـ مواد مورد نیاز برای ضد آتش کردن منسوجات منتخب

در تهیه نسخه نهایی تکمیل شیمیایی، لازم است عوامل مهمی از قبیل نوع منسوج مورد استفاده (لیف و ساختار آن)، میزان کارایی و پایداری مورد نیاز در تکمیل، صرفه اقتصادی، محدودیت اعمال شده بر فرایند به واسطه میزان دسترسی به ماشین‌آلات، شرایط لازم در فرآیند، مسائل زیست محیطی، سازگاری مواد مختلف موجود در تکمیل و برهم کنش نتایج حاصل از عملیات مورد توجه قرار گیرد [۸].

با توجه به کمبود مواد ضد آتش تولید شده در ایران و همچنین مواد وارداتی خارج از کشور، ما به بررسی اثر رزین‌های ضد آتشی که در حال حاضر در کشور در دسترس بودند پرداخته و نتایج آنها را مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار رزین‌های متفاوتی برای پارچه‌ها استفاده شد و نتایج حاصله از آنها با یکدیگر مقایسه گردید. جهت افزایش ثبات و خاصیت ضد آتشی منسوجات، مواد کمکی و جانبی نیز همراه با مواد ضدآتش استفاده شد که در ادامه به بررسی هر یک از این مواد و اثر آنها در ضد آتش شدن منسوجات پرداخته می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

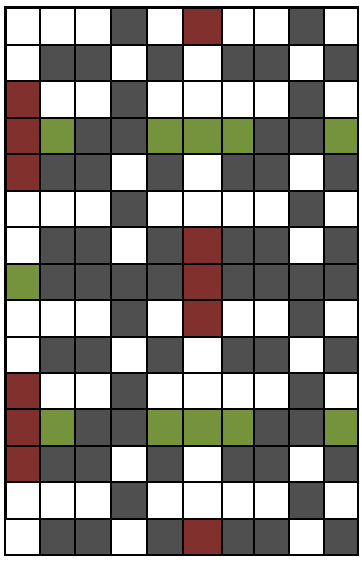
۲ـ۲ـ۱ـ مشخصات پارچه‌های استفاده شده

پارچه‌های مورد استفاده در منسوجات با توجه به کاربرد و عملکرد مدنظر انها، دارای ساختمان و جنس-های متفاوتی می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی ضد آتش کردن پارچه‌هایی است که بیشتر در اماکن عمومی و پوشاک مصرف می‌شوند. مشخصات پارچه‌های مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ـ۱ ارائه شده است.

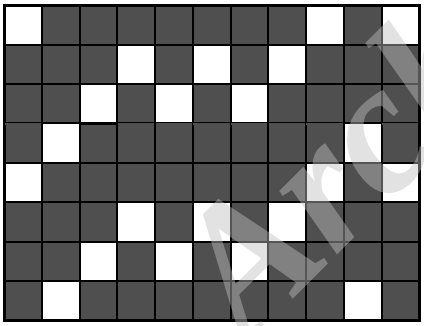
جدول ۲-۱: مشخصات پارچه‌های مورد استفاده در این تحقیق

	مورد استفاده پارچه	جنس	وزن (g/m^2)	طرح بافت	رنگ پارچه
AC	پتو مسافرتی به سفارش هواپیمایی ماهان	اکریلیک	۱۸۰±۱۰	طرح‌دار	سفید/ صورتی
PS_1	رومبلی	پلی‌استر	۳۵۰±۱۰	*	قهوه‌ای
PS_2	پرده	پلی‌استر	۳۰۰±۱۰	**	کرم
PS_3	پارچه ساده	پلی استر	۱۲۰±۱۰	تافته	سفید (بدون رنگرزی)
PS_4	پتو مسافرتی	پلی استر	۲۰۰±۱۰	سرژه	سفید/قرمز/ مشکی
PA	کوله نظامی	نایلون ۶	۴۵۵±۱۰	حلقوی تاری	سفید (بدون رنگرزی)
PC	البسه	پنبه/پلی‌استر (۸۰٪/۲۰٪)	۱۹۵ ±۱۰	سرژه	طوسی

*. **رومبلی**



. **پرده‌ای



Archive of SID

www.SID.ir

مطابق جدول ۲ـ۱، جنس پارچه‌ها پنبه/پلی‌استر (مصرف پوشاک)، نایلون، پلی‌استر و اکریلیک (مصرف در اماکن عمومی و منزل) و از نوع تاری- پودی و حلقوی می‌باشد که اکثراً در قالب پتو، پرده و البسه کاربرد دارند. با توجه به استفاده بیشتر پارچه‌های پلی‌استری نسبت به پارچه‌های دیگر، در این تحقیق منسوجاتی نظیر پرده، پتو و رومبلی از جنس پلی‌استر مورد آزمایش قرار گرفته و پس از تکمیل آنها میزان شعله‌وری و نحوه سوختن آنها بررسی شد.

۲ـ۲ـ۲ـ رزین ضد آتش

چهار نوع پارچه که در بخش قبل مشخصات آنها ذکر شد با استفاده از مواد ضد آتش تکمیل گردید که جهت ضد آتش کردن هریک از پارچه‌ها با توجه به جنس و موارد مصرف آنها، شرایط خاصی به کار گرفته شد. مشخصات مواد ضد آتش مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۲ـ۲، ارائه شده است.

جدول ۲ـ۲: رزین‌های ضدآتش استفاده شده جهت ضد آتش کردن منسوجات

نوع رزین ضدآتش	شکل ظاهری	پایه شیمیایی	pH اولیه	حلالیت
رزین SP	مایع شفاف	ترکیب فسفری	۲/۸ ±۱/۰	در آب به خوبی حل می‌شود
رزین CE	مایع شفاف کمی زرد رنگ	ترکیب آلی فسفری	۴/۵ ±۱/۰	در آب به خوبی حل می‌شود
رزین AS	مایع شفاف زرد رنگ	بر پایه استر اسیدهای چرب	۶/۵-۷/۵	در آب به خوبی حل می‌شود
رزین PR	مایع شفاف	-	۵±۱	در آب به خوبی حل می‌شود

باید توجه داشت که پارچه‌های متداولی مانند این نوع پارچه‌ها، در حضور آتش به شدت آتش گرفته و با خارج شدن از شعله، تولید جرقه و قطره‌های مذاب کرده و به سوختن خود همچنان ادامه می‌دهند. هدف از ضد آتش کردن این پارچه‌ها استفاده از موادی است که یا سوخته ذغالی بر جای گذاشته در نتیجه تولید مذاب را کاهش دهند و یا در حضور آتش دیرتر آتش گرفته و با خارج شدن از شعله خاموش شوند که در این حالت به اصطلاح به آن خاصیت خود خاموش‌شوندگی گویند. در این تحقیق این رزین‌ها با توجه به دستورالعمل سازنده ماده و شرایط ذکر شده در آن، بر روی پارچه‌های متفاوت استفاده شد و میزان اثرگذاری آنها بر روی ضد آتش شدن منسوجات، مورد بررسی قرار گرفت.

۲ـ۲ـ۳ـ رزین پشت پوشی

برای جذب بهتر مواد ضد آتش بر سطح منسوجات از رزین‌های پشت پوشی استفاده می‌گردد. ثبات ماده ضد آتش در روش پشت‌پوشی به بیندر و مقاومت آن در برابر هیدرولیز آن بستگی دارد. این رزین‌ها با ایجاد شبکه بین مواد ضد آتش و منسوجات به تثبیت بهتر این مواد بر منسوجات کمک کرده و ثبات شستشویی

Archive of SID

www.SID.ir

آن را افزایش می‌دهند. یکی از مواردی که در این تحقیق انجام شده است بررسی وجود یا عدم وجود این مواد در کنار مواد ضدآتش بوده که تأثیر هریک در فرآیند ضد آتش کردن منسوجات بررسی شد. در جدول ۲ـ۳ خصوصیات هریک از این رزین‌ها ارائه شده است.

جدول ۲ـ۳: رزین‌های پشت‌پوشی استفاده شده جهت ضد آتش کردن منسوجات

نوع رزین	پایه شیمیایی	رنگ رزین	pH اولیه	حلالیت
رزین BG	فلوئورو پلی اکریلات	زرد رنگ و غیر شفاف	-	در آب حل می‌شود
رزین PU	پلی یورتان	سفید رنگ و غیر شفاف	۷/۵-۸	در آب حل می‌شود
رزین AC	اکریلات	سفید رنگ و غیر شفاف	۴	در آب حل می‌شود
رزین RMS	ملامین	شفاف	-	در آب حل می‌شود

۲ـ۳ـ تجهیزات استفاده شده جهت ضد آتش کردن منسوجات

در صنعت نساجی و پوشاک، تکمیل بر روی پارچه به منظور افزایش درخشندگی، نرمی، زیبایی و ثبات دائمی انجام می‌شود. در عملیات تکمیل، پارچه تحت اعمال شیمیایی و مکانیکی قرار می‌گیرد و علاوه بر این که ارزش تجاری آن بالاتر می‌رود، مشتری‌پسندتر نیز می‌شود.

پارچه‌ها با توجه به نوع و جنس‌شان، از عملیات خاص تکمیلی برخوردار می‌باشند. پارچه‌های با جنس الیاف گیاهی، حیوانی و یا مصنوعی هر کدام عملیات تکمیلی خاص خود را می‌طلبند و با توجه به کاربرد نهایی آن، نیازمند تکمیل‌هایی چون ضد آتش، ضد آب و ... می باشد. روش واقعی کاربرد تکمیل، وابسته به مواد شیمیایی خاص، پارچه و در دسترس بودن دستگاه است.

آن دسته از مواد شیمیایی که دارای میل جذبی شدید به سطح لیف می‌باشند، می‌توان اغلب پس از کامل شدن رنگرزی و در یک فرایند ناپیوسته، توسط رمق‌کشی در ماشین رنگرزی به کار برد. آن دسته از مواد شیمیایی که میل جذبی نسبت به لیف ندارند، در فرایندهای پیوسته مختلف نظیر آغشته‌سازی منسوج در محلول مواد شیمیایی و یا استفاده از برخی وسایل مکانیکی برای انتقال محلول روی پارچه به کار برده می‌شوند. پس از تکمیل پارچه باید خشک شود و در صورت لزوم، مواد تکمیلی از طریق حرارت‌دهی بیشتر در مرحله تثبیت حرارتی، روی پارچه تثبیت گردند. در این تحقیق برای ضد آتش کردن منسوجات مواد مورد نظر به روش پوشش‌دهی بر سطح منسوجات قرار می‌گیرد که این کار مستلزم استفاده از دستگاه استنتر و فولارد می‌باشد. در ادامه به معرفی هر یک از این دستگاه‌ها می‌پردازیم.

۲ـ۳ـ۱ـ دستگاه فولارد

جهت تکمیل منسوجات، پس از آغشته سازی آن با مواد، برای رسیدن به یکنواختی و قرار گرفتن میزان مشخصی از مواد بر منسوجات از دستگاه فولارد استفاده می‌شود. نحوه عملکرد این دستگاه به این صورت است

Archive of SID

www.SID.ir

که منسوجات بعد از گذشتن از حوضچه حاوی مواد ضد آتش از میان غلتک‌های فولارد با فشار مشخصی عبور کرده سپس وارد مرحله خشک و تثبیت می‌گردد مطابق با فشار اعمال شده توسط غلتک‌ها میزان برداشت منسوجات از مواد، تعیین می‌گردد.

شکل ۲ـ۱: دستگاه فولارد

دستگاه فولارد از دو یا سه غلتک تشکیل شده است که با استفاده از فشار باد یا فنر با یکدیگر در تماس هستند. دستگاه فولارد استفاده شده در این تحقیق در شکل ۲-۱ آمده است. فشار ایجاد شده دراین دستگاه به کمک باد بوده و غلتک‌ها نسبت به هم به‌صورت افقی قرار گرفته‌اند. جهت بدست آوردن میزان مواد برداشت شده به وسیله منسوجات، ابتدا نمونه خشک وزن شده سپس بعد از آغشته سازی، با بدست آوردن مجدد میزان وزن نمونه، میزان برداشت منسوجات محاسبه گردید.

۲ـ۳ـ۲ـ دستگاه استنتر

دستگاه استنتر در عملیات رنگرزی، چاپ و تکمیل نقش بسیار مهمی دارد که عمده‌ترین آنها ایجاد ثبات ابعادی روی پارچه است. طرز کار این دستگاه به این صورت است که پارچه را به صورت عرض باز وارد دستگاه می‌کنند و لبه‌های پارچه از دوطرف به شکل سوزنی یا کلیپس مهار شده و کشیده می‌شود. میزان کشیدگی عرض در این دستگاه منوط به عرض نهایی پارچه می‌باشد. عمل تثبیت حرارتی به وسیله حرارت صورت می‌گیرد.

مهمترین ویژگی اصلی دستگاه استنتر، تثبیت مواد شیمیایی بر روی پارچه است که تنظیم سرعت و دمای عملیات تثبیت، اهمیت ویژه‌ای دارد. دستگاه آزمایشگاهی مورد استفاده در این فاز طرح، دستگاهی است که زمان و دمای دستگاه کاملاً کنترل می‌شود. شکل (۲-۲) دستگاه استنتر آزمایشگاهی مورد استفاده

Archive of SID

www.SID.ir

در طرح را نشان می‌دهد. این دستگاه قابلیت تثبیت پارچه به‌صورت مداوم را ندارد و پارچه با ابعاد مشخص به دستگاه وارد شده و تثبت می‌شود.

شکل ۲ـ۲: دستگاه استنتر

۲ـ۴ـ تعیین فرآیند ضدآتش کردن منسوجات

مطابق با پیشنهاد شرکت‌های سازنده مواد ضدآتش، هریک از پارچه‌ها با مواد مورد نظر آغشته، سپس پد- خشک و تثبیت گردید و پس از آن، نحوه سوختن آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. این فرآیند برای هریک از پارچه‌ها، با توجه به جنس و موارد مصرفشان انجام شد.

۲ـ۴ـ۱ـ ضد آتش کردن منسوجات پلی‌استری

برای بررسی اثر رزین‌ها از پارچه پرده‌ای استفاده شد. جهت ضد آتش کردن این پارچه پس از شستشو و آماده‌سازی آن، به طور جداگانه با رزین‌های متفاوت آغشته سپس خشک و تثبیت گردید و نتایج مطابق با استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳ که مربوط به تست عمودی شعله برای حمل و نقل هوایی است مورد مقایسه قرار گرفت. در این استاندارد نمونه به مدت ۱۲ ثانیه به صورت عمودی در معرض شعله قرار گرفته و نحوه سوختن آن در طول این زمان با اعلام مدت زمان تولید اولین قطره مذاب، طول سوختن و میزان شعله‌ور بودن نمونه با خارج شدن از آتش، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲ـ۴ـ۱ـ۱ـ بررسی اثر رزین ضدآتش بر دیر سوز شدن منسوجات پلی‌استری

برای بررسی اثر رزین‌های ضدآتش از سه رزین PR، AS و SP استفاده شد. نتایج بدست آمده در این آزمایش در جدول ۲ـ۴ ارائه شده است. مطابق دستورالعمل پارچه پرده‌ای با استفاده از g/lit ۳۰۰ رزین PR در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۶۰ به مدت ۴ دقیقه تثبیت شد. نتایج نشان داد که

Archive of SID

www.SID.ir

نحوه سوختن نمونه‌هایی که تنها مرحله خشک را گذرانده بودند تفاوت چندانی با نمونه‌هایی که خشک و تثبیت شده بودند نداشته و تکمیل مورد نظر با شستشو از سطح منسوجات جدا گردید. در حین آزمایش سوختن به صورت عمودی، با گذشت ۱۱ ثانیه اولین قطره همراه با آتش از نمونه جدا گردید و با دور کردن شعله، نمونه همچنان به سوختن خود ادامه داده و قطرات همراه با شعله از نمونه جدا می‌شد به عبارتی براساس استانداردهای اعلام شده منسوجات دارای سوختنی پایدار می‌باشد.

در ضد آتش کردن نمونه با ماده AS منسوجات با g/lit ۱۲۰ از ماده مورد نظر آغشته و در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه تثبیت گردید، نمونه بعد از عمل‌آوری مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج بدست آمده از این نمونه نشان داد که منسوجات دارای سوختن پایدار بوده و با دور شدن از نمونه به سوختن خود ادامه داد.

در آزمایش دیگر نمونه پارچه پلی استری با استفاده از g/lit ۱۲۰رزین SP آغشته سپس در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ و به مدت ۳ دقیقه پخت گردید. در آزمایش سوختن عمودی پارچه و در طی سوختن قطره مذاب تولید نشد و بعد از گذشت ۱۲ ثانیه با دور شدن شعله، نمونه همچنان خاموش بود.

جدول ۲ـ۴: بررسی اثر رزین‌های ضد آتش در ضد آتش شدن منسوجاتی پلی‌استری

رزین	میزان مصرف (g/lit)	درصد اضافه وزن منسوجات (٪)	مدت زمان خود خاموش شوندگی (s)	مدت زمان تولید اولین قطره مذاب (s)	طول سوختگی (mm)
رزین PR	۳۰۰	۱۱/۵۴	سوختن پایدار	۱۱ ثانیه	کامل سوخت
رزین AS	۱۲۰	۷/۸	سوختن پایدار	۵	کامل سوخت
رزین SP	۱۲۰	۱۴/۲	۰	-	۱۸

نتایج بدست آمده از نمونه‌های عمل‌آوری شده نشان داد که رزین SP برای ضد آتش کردن نمونه پلی‌استری گزینه بهتری بوده و منسوجات بعد از دور شدن از شعله خاصیت خود خاموش‌شوندگی داشته و مذاب کمتری را تولید می‌نماید. در ادامه اثر رزین پشت‌پوشی و نمک برای افزایش pH محلول، بر رفتار سوختن منسوجات مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲ـ۴ـ۱ـ۲ـ اثر رزین پشت‌پوشی بر ضد آتش کردن منسوجات پلی‌استری

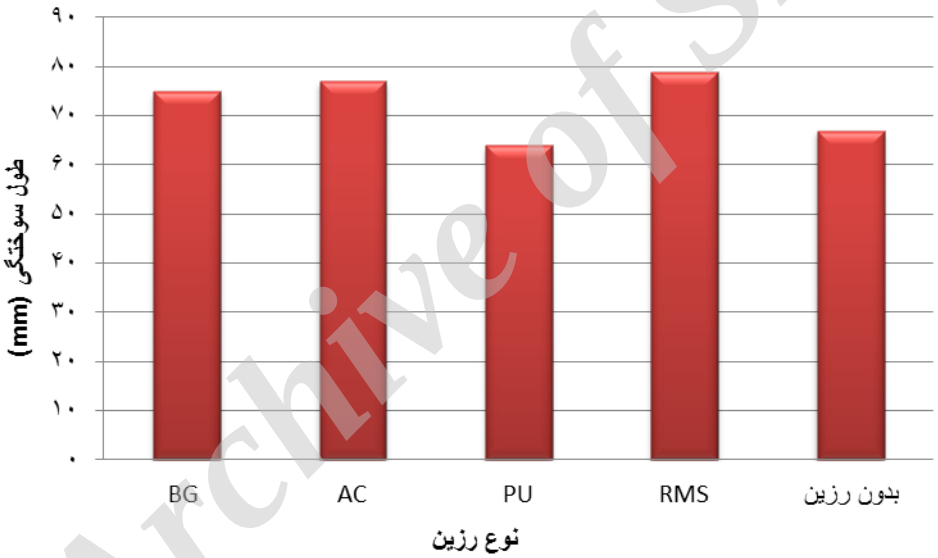
منسوجات پلی‌استری ساده (PS3) با استفاده از g/lit ۱۵ از رزین‌ها به روش پشت‌پوشی به همراه g/lit ۱۲۰رزین SP تکمیل شد. پس از آغشته‌سازی نمونه‌ها و برداشت ۱۰۰ درصد، منسوجات در دمای ۱۲۰درجه به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ درجه به مدت ۳ دقیقه تثبیت گردید. به‌کارگیری این رزین‌ها در کنار ماده ضدآتش جهت دستیابی به جذب بهتر این ماده با پارچه بوده تا میزان برداشت و در نهایت خاصیت

Archive of SID

www.SID.ir

ضدآتش کالا بیشتر گردد. این رزین‌ها آب پایه بوده و در آب براحتی حل می‌شوند. جهت بررسی اثر رزین‌ها در جذب ماده ضد آتش، پارچه‌ها در دمای ۴۰ درجه و ۵ گرم در لیتر شوینده نانیونیک شسته شد. مقایسه بین نمونه‌ها با استفاده از آزمایش عمودی طول سوختگی و به صورت بصری انجام شد.

مطابق نمودار ۲ـ۳، بررسی نتایج از نحوه سوختن و هم‌چنین طول سوختگی پارچه‌ها نشان می‌دهد که استفاده از رزین BG به عنوان رزین پشت‌پوش، موجب زرد شدن کالا شده و طی آزمایش طول سوختگی نیز نمونه‌ها آتش گرفت. در نمونه‌ای که از رزین AC استفاده شده بود پارچه در حین آزمایش به شدت محترق شد. بنابراین استفاده از این رزین نیز در کنار ماده ضد آتش رد گردید. در مقایسه بین دو رزین PU و RMS همانطور که در نمودار ۲ـ۱ نیز مشخص است طول سوختگی نمونه تکمیل شده با رزین RMS بیشتر از نمونه PU می‌باشد و این نمونه نیز کمی شعله‌ور گردید، بنابراین استفاده از این رزین نیز مناسب تشخیص داده نشد.



نمودار ۲ـ۱: بررسی اثر رزین‌های پشت‌پوشی بر طول سوختگی منسوجاتی پلی‌استری

با بررسی‌های بیشتر مشخص شد استفاده از رزین PU کمترین میزان طول سوختگی را در مقایسه با رزین‌های دیگر داشته است ولی تکمیل پارچه با این رزین بر زیر دست منسوجات تأثیر گذاشته و آن را سخت کرده بود، در نتیجه به کارگیری رزین PU نیز به عنوان رزین پشت‌پوشی رد گردید. در نهایت تکمیل منسوجات بدون استفاده از هیچگونه رزین کمکی و تنها با استفاده از ۱۲۰ g /lit رزین ضدآتش انجام شد. این نمونه پارچه در حین آزمایش آتش نگرفت و طول سوختگی آن نیز قابل قبول بوده است. مطابق نتایج نتایج بدست آمده از سرعت پیشروی شعله، درصد اضافه وزن نمونه به همراه طول سوختگی نمونه‌ها، جدول ۲ـ۵، شستشو، درصد اضافه وزن منسوجات برای نمونه‌هایی که از رزین استفاده شده است بیشتر بوده ولی این افزایش وزن تأثیری در شرایط سوختن نمونه نداشته و در بررسی نمونه‌ها به صورت بصری مشخص

Archive of SID

www.SID.ir

گردید که مقاومت نمونه بدون رزین در برابر آتش بیشتر است، بنابراین نمونه شماره ۵ انتخاب شد و منسوجات بدون رزین جانبی تکمیل گردید.

جدول ۲-۵: بررسی اثر رزین پشت‌پوشی در دیر سوز شدن منسوجاتی پلی‌استری

کد نمونه	نوع رزین پشت‌پوش	غلظت رزین پشت‌پوش (g/lit)	درصد اضافه وزن منسوجات بعد از شستشو (٪)	طول سوختگی (mm)	سرعت پیشروی (mm/s)
۱	BG	۱۵	۳/۶۴	۷۵	۶/۲۵
۲	AC	۱۵	۳/۷	۷۷	۶/۴۱
۳	PU	۱۵	۳/۵۲	۶۴	۵/۳۳
۴	RMS	۱۵	۳/۸	۷۹	۶/۵۸
۵	-	-	۲/۹۲	۶۷	۵/۵۸

۲ـ۴ـ۱ـ۳ـ بررسی اثر استفاده از نمک در ضد آتش کردن منسوجاتی پلی‌استری

مطابق دستورالعمل ذکر شده در مشخصات رزین موردنظر، جهت بالابردن pH محیط از نمک کربنات سدیم استفاده گردید. pH محلول مطابق دستورالعمل با اضافه کردن کربنات سدیم در حدود ۶ ثابت نگه داشته شد. نتایج بدست آمده از طول سوختگی و نحوه سوختن نمونه‌ها در پارچه پتویی که از نمک استفاده شده با نمونه‌هایی بدون استفاده از نمک مقایسه شد. در شکل ۲ـ۳ دو نمونه پارچه پتویی برای بررسی اثر طول سوختگی نشان داده شده است.

a

b

شکل ۲ـ۳: طول سوختگی پتو پلی‌استری a) تکمیل شده بدون نمک b) تکمیل شده به همراه نمک

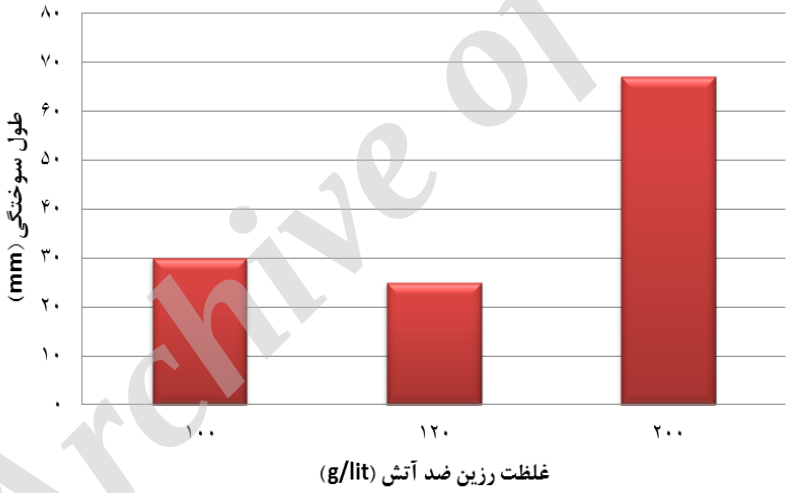
Archive of SID

www.SID.ir

همانطور که در شکل (۲-۴) نیز مشخص است طول سوختگی نمونه عمل‌آوری شده به همراه نمک (b) بیشتر از نمونه‌ای که تنها از رزین (a) استفاده شده است بنابراین در عمل‌آوری نمونه‌ها از نمک جهت ضد آتش کردن آنها استفاده نشد و نمونه تنها با رزین ضد آتش تکمیل شد.

۲ـ۴ـ۱ـ۴ـ بررسی اثر غلظت ماده ضد آتش در ضد آتش کردن منسوجاتی پلی‌استری

پتو پلی‌استری با استفاده از رزین ضد آتش در ۳ غلظت متفاوت ماده ضد آتش تکمیل شدند. میزان پیشنهاد شده توسط شرکت سازنده ماده ضد آتش g/lit ۱۲۰ـ۲۰۰ بوده است. مطابق با نمودار ۲ـ۲، نتایج بدست آمده از بررسی کارگیری غلظت‌های متفاوت رزین ضد آتش و طول سوختگی نمونه‌ها نشان می‌دهد که منسوجات در غلظتg/lit ۱۲۰ در مقایسه با غلظت‌های دیگر در برابر آتش مقاومت ان بیشتر است، بنابراین منسوجاتی پلی‌استری با همین غلظت عمل‌آوری شد.



نمودار ۲ـ۲: بررسی اثر غلظت رزین ضد آتش در ضد آتش کردن منسوجاتی پلی‌استری

۲ـ۴ـ۱ـ۵ـ بررسی اثر دما در دیرسوز کردن کالا

در بررسی اثر دما و مطابق دستورالعمل پیشنهادی از طرف سازنده رزین ضدآتش برای منسوجات پلی‌استری، پس از آغشته سازی و برداشت ۱۰۰ درصد، در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک گردید. سپس در دو دمای ۱۸۰ به مدت ۴ دقیقه و ۱۹۰ به مدت ۳ دقیقه نمونه‌ها پخت شد. با مقایسه بین این ۲ نمونه مشخص گردید که استفاده از این دو دما تفاوت چندانی در خاصیت ضد آتش کردن کالا نداشته است و با توجه به زیر دست منسوجات، در نهایت نمونه‌ها در دمای ۱۹۰ به مدت ۳ دقیقه پخت گردید.

Archive of SID

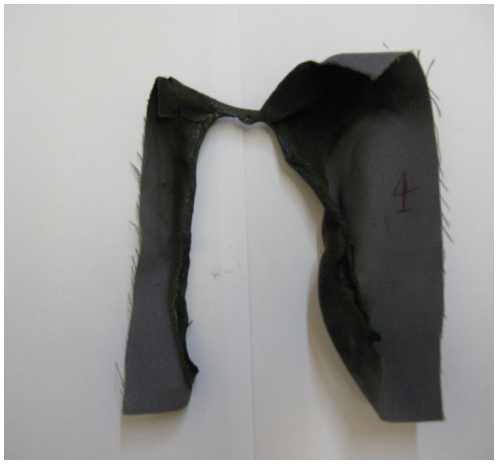
www.SID.ir

۲ـ۴ـ۲ـ ضدآتش کردن منسوجات پنبه/پلی‌استر

در ادامه با توجه به نتایج بدست‌آمده از ضد آتش کردن نمونه‌های پلی‌استری و رفتار حرارتی آن در شرایط متفاوت، پارچه‌های پنبه/پلی‌استری بدون رزین پشت‌پوشی و نمک عمل‌آوری گردید و عملکرد آن در مقابل سوختن مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به وجود درصدی از پنبه در این نمونه‌ها از رزین دیگری نیز جهت پارچه پنبه/پلی‌استر استفاده شد. نمونه‌ها با رزین ضدآتش با برداشت ۱۰۰ درصد عمل‌آوری شد و در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک گردید. سپس در دمای ۱۹۰درجه به مدت ۳ دقیقه پخت شدند. پس از عمل‌آوری و با توجه به کاربرد این نوع پارچه در پوشاک، نمونه‌ها با g/lit ۵ شوینده نانیونیک و در دمای ۴۰ درجه شستشو داده شد.

با بررسی طول سوختگی و نحوه سوختن نمونه‌ها در طی آزمایش، مشاهده گردید که نمونه‌ها به طور کامل سوختند و اعلام طول سوختگی آنها روندی منطقی نبوده و نمونه‌ها با توجه به سوخته ذغالی تولید شده مورد مقایسه قرار گرفتند. در شکل‌های ۲ـ۴، ۲ـ۵ و ۲ـ۶ سوختن نمونه‌های منسوجات پنبه/پلی‌استر را نشان می‌دهند.

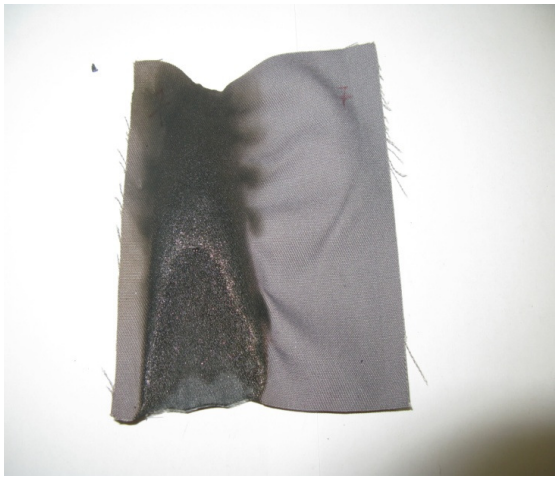
شکل ۲-۴: پارچه پنبه/پلی‌استر خام



شکل ۲-۵: پارچه پنبه/پلی‌استر تکمیل شده با رزین SP

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲-۶: پارچه پنبه/پلی‌استر عمل‌آوری شده با رزین CE

با توجه به مشاهدات بدست آمده و همانطور که در شکل‌ها نیز مشخص است نمونه خام با توجه به اثر داربستی و باقی ماندن مذاب تولید شده در محل سوختن، به طور کامل سوخت ولی نمونه‌های عمل‌آوری شده با رزین CE بعد از سوختن، ذغال به جای گذاشته و نتایج بدست آمده بهتر از رزین SP بوده است. این در حالی است که به‌کارگیری رزین SP بر کالای پنبه/پلی‌استر سوخته ذغالی به جای نگذاشته و نمونه‌ها کاملا سوختند. ترکیب دو رزین با نسبت‌های مساوی نیز جهت عمل‌آوری پارچه پنبه/پلی‌استری استفاده شد و نتایج بدست آمده مطابق شکل ۲ـ۷، در مقایسه با نمونه عمل‌آوری شده با رزین CE و نحوه سوختن آن چندان رضایت بخش نبوده و سرعت پیشروی آتش در نمونه زیاد بوده است.

شکل ۲-۷: پارچه پنبه پلی‌استر عمل‌آوری شده با مخلوط رزین SP و CE

با توجه به این نتایج و بررسی‌های انجام شده در حین سوختن، گزینه به کارگیری رزین CE جهت ضد آتش کردن کالای پنبه/پلی‌استر انتخاب گردید و کالا با استفاده از این رزین در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ به مدت ۳ دقیقه پخت گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

۲ـ۴ـ۳ـ ضد آتش کردن منسوجات اکریلیکی

مطابق با کارهای انجام شده استفاده از رزین‌های جانبی تأثیر چندانی در ضد آتش کردن منسوجات و همچنین میزان درصد اضافه وزن آن نداشت. بنابراین جهت ضد آتش نمودن نمونه پتو اکریلیکی و با بررسی های انجام شده بر آن، منسوجات با g/lit ۱۲۰ از رزین موردنظر با برداشت ۱۰۰ درصد آغشته شد. سپس در دو دمای ۱۲۰ و۱۴۰درجه به مدت ۴ دقیقه پخت گردید. با بررسی نتایج بدست آمده از سوختن و همچنین زیردست منسوجاتی ۱۰۰ درصد اکریلیکی در این دو دما، منسوجات در دمای ۱۲۰ درجه و در یک مرحله تثبیت شد. زیرا افزایش دما تا ۱۴۰ درجه موجب کاهش نرمی و سخت شدن زیر دست منسوجات اکریلیکی گردید.

۲ـ۴ـ۴ـ ضد آتش کردن منسوجاتی نایلونی

در ضد آتش کردن منسوجاتی نایلونی از رزین ضد آتش SP استفاده گردید و منسوجات با ماده مورد نظر و بدون هیچ ماده کمکی دیگری، با برداشت ۷۰ درصد پد، در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دماهای مختلفی پخت گردید. نتایج بدست آمده از پخت منسوجات نشان داد که پخت منسوجات در دماهای ۱۹۰ درجه به مدت ۳ دقیقه و ۱۶۰ درجه به مدت ۴ دقیقه تخریب و زرد گردیده و جمع شدگی منسوجات به شدت زیاد بوده است. با بررسی دقیق‌تر جهت پخت منسوجات، دمای ۱۸۰ و زمان ۱ دقیقه جهت ضد آتش کردن منسوجات انتخاب شد. بدین صورت منسوجات در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۸۰ به مدت ۱ دقیقه پخت گردید.

۲ـ۵ـ ضد آتش کردن چهار منسوج منتخب

با بررسی‌های انجام شده بر ۴ نوع پارچه، بهینه نسخه و روش تکمیل برای ضد آتش کردن آنها مشخص گردید. برای ضد آتش کردن منسوجات پلی‌استری رزین SP بهترین گزینه برای انجام این‌کار انتخاب شد و استفاده از رزین جانبی برای افزایش میزان تثبیت بر منسوجات تأثیر چندانی نداشته و میزان شعله‌وری نمونه‌ها افزایش یافت. بنابراین منسوجات بدون رزین جانبی و g/lit ۱۲۰ رزین SP عمل‌آوری شدند. به کارگیری نمک برای تغییر pH طبق پیشنهاد سازنده ماده ضد آتش استفاده گردید که بر دیر سوز شدن منسوجات و دیگر خواص آن تأثیر چندانی نداشت. بنابراین در ضد آتش کردن این منسوجات از نمک نیز استفاده نشد. در نهایت منسوجات در دمای ۱۲۰ درجه به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ درجه برای ۳ دقیقه تثبیت گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

برای ضد آتش کردن منسوجات پنبه/پلی‌استر دو رزین CE، SP و همچنین ترکیب این دو رزین مورد مقایسه قرار گرفت که در نهایت رزین CE با توجه به مصرف این جنس پارچه و شستشوی مداوم آن، انتخاب شد. پارچه پنبه/پلی‌استر بیشتر در پوشاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین نیازمند شستشوی مکرر بوده و منسوجات با توجه به عملیات شستشوی موردنیاز برای آن مورد ارزیابی قرار گرفت. در عمل‌آوری نمونه‌ها نیز از رزین جانبی و نمک استفاده نشد زیرا منسوجات به علت وجود الیاف پلی‌استری دارای از استحکام خوبی برخوردار بود. پارچه پنبه/پلی‌استر پس از آغشته سازی با g/lit ۱۲۰ رزین CE در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۹۰ به مدت ۳ دقیقه تثبیت گردید.

جهت ضد آتش کردن منسوجات اکریلیکی با توجه به حساسیت بالای این لیف به حرارت، میزان حرارت اعمال شده برای انجام فرآیند ضد آتش کردن آن مورد بررسی قرار گرفت. در دماهای بالا منسوجات کاملا تخریب شد. بنابراین عملیات حرارتی در یک مرحله و در دمای ۱۲۰ درجه انجام گردید. بر همین اساس منسوجات با g/lit ۱۲۰ رزین با برداشت ۱۰۰ درصد آغشته و در دمای ۱۲۰درجه به مدت ۴ دقیقه خشک و تثبیت شد. منسوجاتی نایلونی استفاده شده در این تحقیق نیز با برداشت ۷۰ درصد از محلول g/lit ۱۲۰ از رزین SP پد سپس در دمای ۱۲۰ به مدت ۳ دقیقه خشک و در دمای ۱۸۰ به مدت ۱ دقیقه تثبیت گردید.

۲ـ۶ـ جمع بندی

از رزین SP با غلظتg/lit ۱۲۰ برای ضد آتش کردن منسوجات پلی‌استر، نایلون، اکریلیک و از رزین CE برای ضد آتش کردن منسوج پنبه/پلی‌استر استفاده شد. منسوجات با توجه به جنس آنها در درجه حرارت و شرایط مختلف تکمیل شدند. پس از انجام عملیات تکمیل بر کالا، خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آنها با توجه با استانداردهای موجود بررسی و در ادامه به ارائه نتایج آن پرداخته می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

فصل سوم

بررسی ویژگی‌های منسوجات منتخب ضدآتش و جمع‌بندی نتایج

Archive of SID

www.SID.ir

۳ـ۱ـ مقدمه

جنس بیشتر الیافی که در منسوجات متداول مورد مصرف قرار می‌گیرد الیاف پلی‌استر، اکریلیک، نایلون و ترکیب پنبه/پلی‌استر می‌باشد. با توجه به مصرف گسترده این پارچه‌ها در مواردی چون پوشاک، رومبلی، پرده و ... در منازل و هم‌چنین اماکن عمومی چون سینما، اتوبوس و ... نیازمند استفاده از تکمیل ضد آتش بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد و باید تولیدشان با در نظر گرفتن این نوع تکمیل، انجام شود. در این فصل به بررسی خواص مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی پارچه‌هایی ضد آتش پرداخته می‌شود تا با دانستن تأثیر این مواد بر دیگر خواص منسوجات، امکان استفاده از آن ارزیابی شود.

۳ـ۲ـ آزمایش خواص فیزیکی منسوجات قبل و بعد از ضد آتش کردن

در این تحقیق خواص فیزیکی پارچه‌های ضد آتش شده، مانند وزن واحد سطح پارچه و ضخامت نمونه‌ها بررسی شد. میزان وزن واحد سطح پارچه بیانگر خواص و مشخصات ساختمان پارچه می‌باشد که با مقایسه تغییرات وزن و ضخامت نمونه‌ها میزان برداشت مواد بر سطح منسوجات مشخص گردید و میزان اثرگذاری آن در ضد آتش شدن آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۳ـ۲ـ۱ـ وزن در واحد سطح نمونه

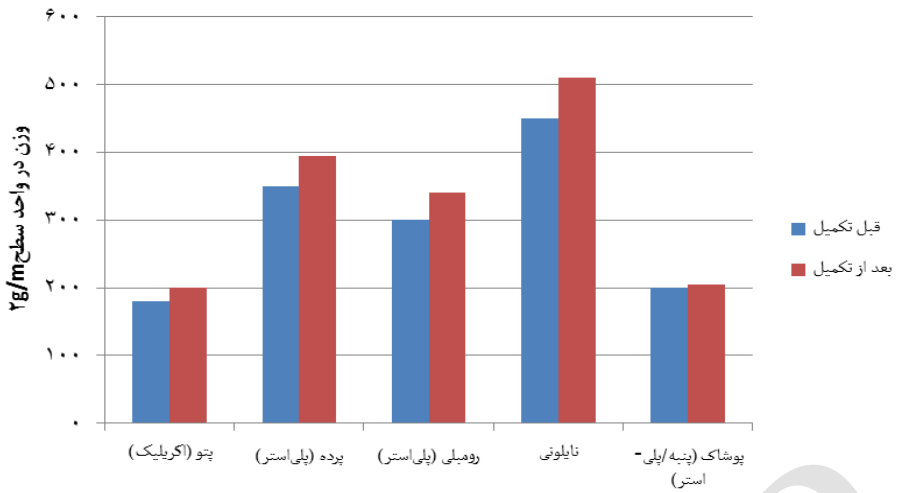
سنگینی و سبکی پارچه، با وزن واحد سطح پارچه و یا وزن واحد طول پارچه برای پهنای معمول سنجیده می‌شود. که یکی از پارامترهای مهم و تعیین کننده سایر ویژگی‌های پارچه نظیر زیر دست، سختی خمشی پارچه و .... می‌باشد. پارچه‌ها با توجه به وزن واحد سطح به پارچه‌های سبک (کمتر از ۲۰۰گرم بر متر مربع)؛ متوسط (بین ۲۰۰ تا ۴۵۰ گرم در متر مربع) و سنگین (بیشتر از ۴۵۰ گرم در متر مربع) تقسیم‌بندی می‌شوند.

برای تعیین وزن متر مربع پارچه براساس استاندارد ملی ۸۴۱۸ به روش تجربی، سه نمونه مربعی با ابعاد ۱۰cm×۱۰cm از هر پارچه بریده شده و وزن آن با دقت چهار رقم اعشار برحسب گرم اندازه‌گیری شد. اعداد بدست آمده، وزن ۱۰۰ سانتی‌متر مربع از پارچه می‌باشد که با یک تناسب ساده وزن متر مربع پارچه محاسبه می‌گردد.

پس از تکمیل پارچه‌ها با مواد ضد آتش کننده آتش، وزن در واحد سطح آنها با توجه به استاندارد ذکر شده مورد ارزیابی قرار گرفت. مطابق نمودار ۳ـ۱، وزن در واحد سطح نمونه‌ها پس از تکمیل با مواد ضد آتش کننده، افزایش یافته است.

Archive of SID

www.SID.ir



نمودار ۳ـ۱: نمودار وزن در واحد سطح نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد ضد آتش کننده

افزایش میزان وزن در واحد سطح نمونه‌ها برای پارچه‌های اکریلیک، پلی‌استر و نایلونی با توجه به کاربردشان، قابل توجه بوده ولی پارچه پنبه/پلی‌استر استفاده شده با توجه به کاربرد آن در پوشاک و نیاز به شستشو مداوم، این تغییر وزن کم بوده است. باید توجه داشت پارچه‌های پنبه/ پلی‌استری ضد آتش شده با همین درصد اضافه وزن، در اثر سوختن سوخته ذغالی به جا گذاشته که خود می‌تواند تأثیر بسیار مهمی محسوب می‌شود.

۳ـ۲ـ۲ـ ضخامت پارچه

ضخامت یکی از خواص اصلی پارچه است که درباره سنگینی یا سفتی پارچه در مصرف، اطلاعاتی را بدست می‌دهد. الیاف در میان خود هوای زیادی را حبس می‌کنند که همراه با دیگر عوامل موجب می‌شوند پارچه از خواص خوب عایق حرارتی برخوردار باشد. این فضای بین الیاف در هنگام فشرده شدن و تماس آنها به یکدیگر کاهش خواهد یافت.

مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۲۴۳، آزمونه بین دو صفحه مرجع قرار گرفته و فشار معینی به آن اعمال می‌شود. فاصله عمودی بین صفحات مرجع بعد از گذشت زمان معینی، اندازه‌گیری و گزارش می‌شود. مطابق با این استاندارد سطح پایه فشارنده برای انجام آزمون (۲۰±۲۰۰۰) میلی‌متر مربع با قطر (۰/۲±۵۰/۵) پیشنهاد می‌شود. قطر صفحه مرجع باید حداقل ۵۰ میلی‌متر بیشتر از قطر پایه فشارنده باشد. در این طرح جهت تعیین ضخامت نمونه پارچه با دستگاه ضخامت سنج با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و کورس ۲۵ میلیمتر، ضخامت پارچه‌ها اندازه‌گیری شد. برای آزمایش ضخامت پارچه‌های تاری و پودی و حلقوی، از فشار ۱KPa پاسکال استفاده شده گردید. برای این کار نمونه‌ها روی صفحه پایینی بدون هیچگونه کششی قرار

Archive of SID

www.SID.ir

گرفت و سپس با قرار دادن وزنه، جهت تأمین فشار ۱KPa بر روی صفحه فشار آورنده، پایه فشار دهنده به آرامی به نمونه نزدیک و ضخامت پارچه بعد از ۱±۳۰ ثانیه ثبت شد.

نتایج بدست آمده از ضخامت نمونه پارچه پنبه/پلی‌استر، پتو (اکریلیک)، پرده (پلی‌استری)، رومبلی (پلی‌استری) و نایلونی در جدول ۳ـ۱ گزارش شده است. با افزایش میزان مواد بر پارچه میزان ضخامت آنها نیز افزایش یافته است. این افزایش در نمونه پارچه پنبه/پلی‌استر، بیشترین میزان و در پارچه اکریلیکی کمترین میزان است.

جدول ۳ـ۱: ضخامت نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد ضد آتش کننده آتش

نوع پارچه	ضخامت پارچه شاهد (mm)	ضخامت پارچه تکمیل شده با مواد ضد آتشکننده (mm)	درصد افزایش ضخامت (٪)
پتو (اکریلیکی)	۰/۸۰	۰/۸۳	۳/۷
پرده (پلی‌استر)	۱/۳۵	۱/۴۲	۵/۱
رومبلی (پلی‌استر)	۰/۸۵	۰/۹۱	۷
نایلونی	۱/۲۲	۱/۳۰	۶/۵
پوشاک (پنبه/پلی‌استر)	۰/۴۲	۰/۵۰	۱۹

۳ـ۳ـ آزمایش خواص مکانیکی منسوجات قبل و بعد از ضد آتش کردن

در این تحقیق در بررسی خواص مکانیکی منسوجات، مواردی چون استحکام کششی و استحکام در برابر جر خوردگی پارچه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان آن با نمونه خام مقایسه شد. میزان استحکام پارچه بستگی به کاربرد نهایی آن دارد، البته پارچه‌هایی که برای مصارف منزل و پوشاک در نظر گرفته می‌شوند نیاز به استحکام بالایی ندارند و صرفاً تا اندازه‌ای باید باشد که بتوانند در فرایندهای تولید و مصرف دوام بیاورند.

۳ـ۳ـ۱ـ اندازه‌گیری استحکام کششی پارچه

این آزمایش به روش باریکه پارچه نخ‌کش شده[1] و یا آزمایش باریکه پارچه بریده شده انجام می‌گیرد. در روش باریکه نخ‌کش شده طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۱۱۴۷ برای تعیین استحکام کششی پارچه پنج نمونه با ابعاد۳۰۰mm× ۶۰mm در جهت موازی با نخ تار و پنج نمونه در جهت موازی با نخ پود تهیه می‌شود. سپس نمونه‌ها در عرض و از دو طرف به طور مساوی نخ‌کش می‌شوند به طوری که عرض نمونه

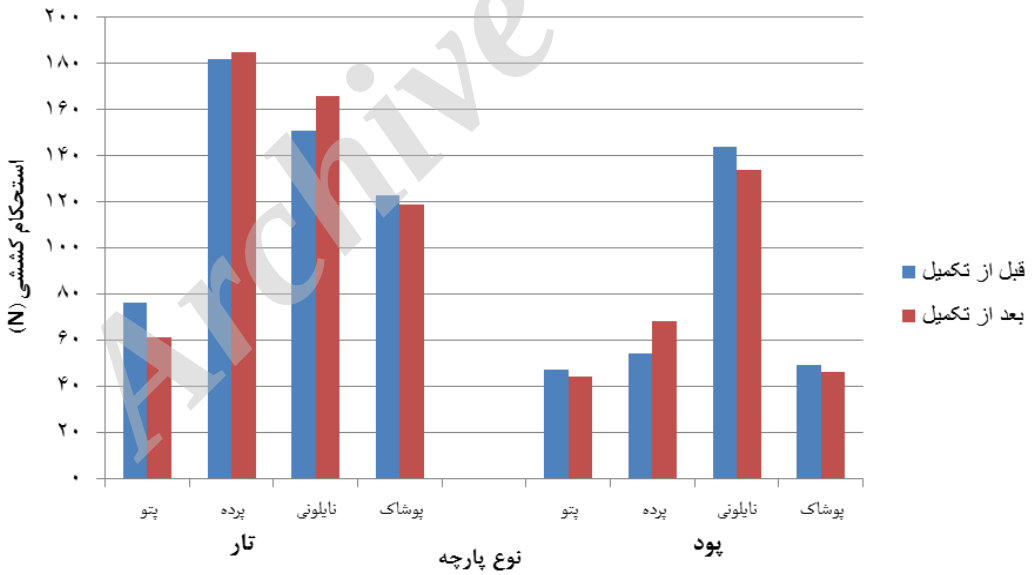
1. Raveled strip

Archive of SID

www.SID.ir

دقیقا به ۵۰mm برسد. این کار باعث می‌شود که از شرکت نمودن تمام نخ‌ها در کل نمونه در اندازه‌گیری استحکام اطمینان حاصل شود و پهنا نیز دقیق باشد.

در این آزمایش نمونه‌ها بین دو فک قرار گرفته و تا نقطه پارگی کشیده شد و نیروی پارگی و ازدیاد طول ثبت گردید. نرخ ازدیاد طول ۵۰ $\frac{mm}{min}$ بوده و فاصله بین فک‌ها در فاصله ۱۰۰mm تنظیم شد سپس به نمونه‌ها کشش داده شد. در نمودار ۳ـ۲، استحکام کششی نمونه‌ها قبل و بعد تکمیل مقایسه شد. همانطور که مشخص است استحکام کششی در جهت تار نمونه اکریلیکی بعد از تکمیل تغییرات زیادی داشته است که این کاهش را می‌توان با کم کردن مدت زمان تثبیت از ۴ دقیقه به ۲ دقیقه جبران کرد. در نمونه‌های پلی-آمیدی نیز در جهت تار استحکام افزایش یافته است که این افزایش استحکام مربوط به جمع‌شدگی نمونه‌ها در جهت تار و در دمای تثبیت می‌باشد. در بقیه نمونه‌ها تفاوت چندانی در استحکام آنها قبل و بعد از تکمیل دیده نشد. باید توجه داشت اعمال حرارت در دماهای بالا جهت تثبیت مواد، موجب کاهش استحکام منسوجات می‌شود ولی در اینجا نیز این میزان حرارت تغییر چندانی در استحکام نمونه‌ها نگذاشته و آن را کاهش نداده است.



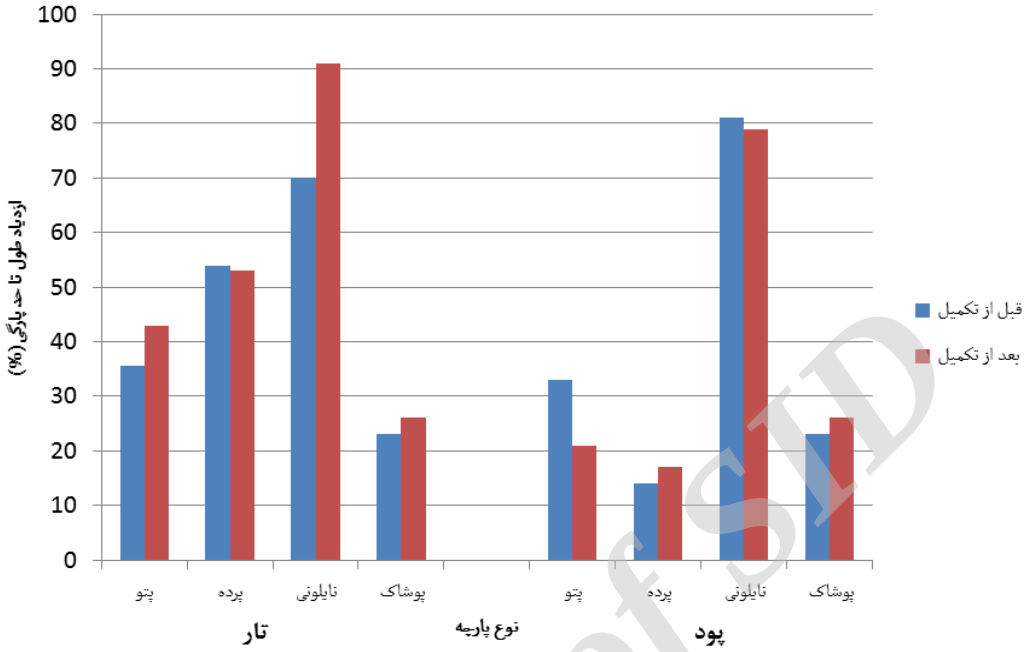
نمودار ۳ـ۲: استحکام کششی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد ضد آتش

میزان ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه‌ها نیز طی آزمون استحکام کششی اندازه‌گیری شد. مطابق نمودار ۳ـ۳، ازدیاد طول تا حدپارگی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل تفاوت چندانی نداشته و استفاده از مواد ضد آتش تأثیر زیادی بر ازدیاد طول تا حد پارگی نمونه‌ها نگذاشته است. افزایش ازدیاد طول تا حد پارگی در

Archive of SID

www.SID.ir

جهت تار پارچه نایلونی، به جمع‌شدگی این پارچه مربوط می‌شود که همزمان با استحکام کششی، ازدیاد طول آن نیز افزایش یافته است.



نمودار۳ـ۳: ازدیاد طول تا حد پارگی پارچه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد ضد آتش

۳ـ۳ـ۲ـ استحکام پارچه در برابر جرخوردگی[1]

وقتی پارچه‌ای به شیء نوک تیزی برخورد می‌کند بریدگی کوچکی در آن ایجاد می‌شود که با اندکی تقلا به چاک بزرگی جر می‌خورد. این نوع پارگی متداول‌ترین نوع پارگی است که پارچه در مصرف با آن مواجه می‌شود بخصوص پارچه‌های صنعتی، زیرا شرایط مصرف آنها خشن‌تر است مانند چادرها، کیسه‌ها و چترهای نجات که البته گسترش جر در این چترها فاجعه بزرگی به بار خواهد آورد. در اینجا نیز ما به بررسی استحکام در برابر جرخوردگی نمونه‌ها تکمیل شده با مواد ضد آتش شده پرداخته‌ایم.

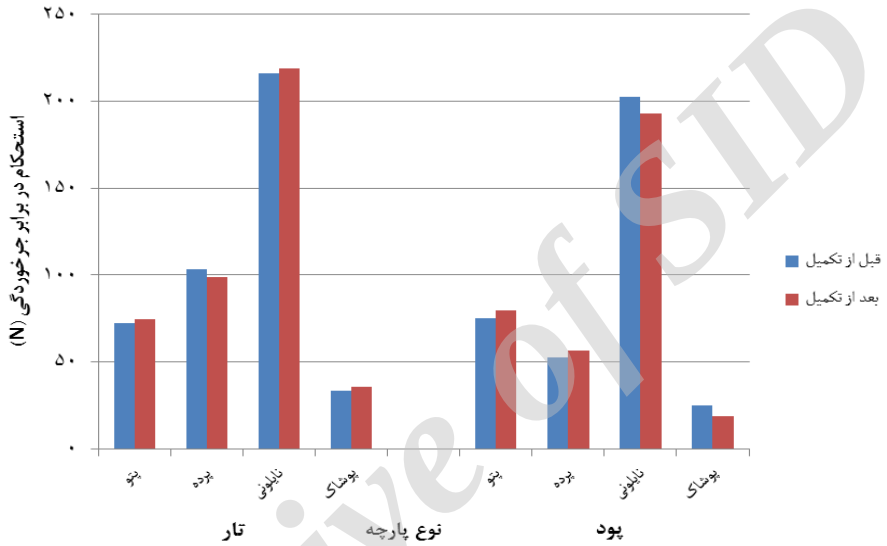
برای آزمون جرخردگی نمونه‌ها از استاندارد ۴۱۹۹-۲ استفاده گردید که در آن از دستگاه استحکام سنج جهت جرخوردگی نمونه‌ها استفاده شد. سرعت ازدیاد طول دستگاه ۱۰۰mm/min بوده و فاصله فک‌ها ۱۰cm می‌باشد. در این استاندارد نمونه‌ها با ابعاد ۲۰×۵ سانتی‌متر در جهت تار و پود تهیه می‌شود و در وسط ضلع کوچکتر آن شکافی با طول ۱۰ سانتیمتر ایجاد می‌گردد و به فاصله ۲/۵ سانتی‌متر از وسط ضلع بریده نشده، جهت خاتمه آزمون جرخوردگی علامت زده می‌شود. در این استاندارد باید دقت شود تا پارگی در راستای شکاف ایجاد شده باشد.

1. Tear Tests

Archive of SID

www.SID.ir

طبق استاندارد گفته شده نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج بدست آمده از آزمون جرخوردگی آنها با نمونه‌های شاهد مقایسه شد. مطابق نمودار۳ـ۴، نتایج بدست آمده از آزمون جرخوردگی نمونه‌ها، نشان داد که در بیشتر نمونه‌ها مقاومت پارچه در برابر جرخوردگی با تکمیل افزایش یافته است و استفاده از عملیات حرارتی و همچنین پایین بودن pH محلول بر استحکام آن تأثیر چندانی نداشته است. اینگونه به نظر می‌رسد قرارگیری مواد بر پارچه موجب گردید که این مواد به صورت فیزیکی در برابر نیروی وارد شده، مقاومت نشان داده و میزانی از این نیرو توسط این مواد تحمل گردید در نتیجه استحکام منسوجات افزایش یافت.



نمودار۳ـ۴: استحکام در برابر جرخوردگی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل با مواد دیر سوز کننده

۳-۴- آزمایش خواص شیمیایی منسوجات قبل و بعد از ضد آتش کردن

تغییرات رنگی پارچه با توجه به تأثیر ظاهری که در پارچه می‌گذارد بسیار مورد توجه بوده و نیاز است تا ظاهر پارچه چه پس از تکمیل آن و چه هنگاهی که در معرض نور و شستشو قرار می‌گیرد بدون تغییر باقی بماند. از این‌رو ما نیز در این تحقیق بر آن شدیم تا تأثیر مواد ضد آتش به کاربرده شده را، بر خواص رنگی پارچه مورد بررسی قرار دهیم. آزمایش‌های انجام شده در این زمینه بررسی ثبات نوری و ثبات شستشویی منسوجات بوده است.

۳ـ۴ـ۱ـ ثبات نمونه‌ها در برابر نور

منسوجاتی نساجی به هنگام مصرف در معرض نور قرار می‌گیرد و نور به ویژه در ناحیه ماورابنفش باعث تخریب مولکول ماده رنگزا و رنگ پریدگی[1] منسوجات می‌گردد که مطلوب نمی‌باشد. مقاومت مواد رنگزا در

1 . Fading

Archive of SID

www.SID.ir

برابر نور متفاوت می‌باشد لذا انتخاب مواد رنگزای مناسب به ویژه جهت پرده، مبلمان، فرش و روکش‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. مقاومت مواد رنگزا یا به عبارتی ثبات آن در برابر نور تحت تأثیر دما و رطوبت و میزان اکسیژن محیط می‌باشد. اکسیژن محیط می‌تواند تحت تأثیر نور به اکسیژن رادیکالی تبدیل و موجب تخریب ماده رنگزا شود و افزایش رطوبت و دما سرعت رنگ پریدگی را افزایش می‌دهد.

آزمایش‌های ثبات نوری الزاماً همراه با معیار خاصی انجام می‌شود به طوری که نیمی از نمونه و معیار آبی پوشانده می‌شود و پس از قرار دادن در معرض نور نیمی از نمونه‌ها تغییر رنگ داده و نیمی دیگر تغییر نکرده‌اند. اختلاف بین دو قسمت نمونه مورد آزمایش (نور دیده و نور ندیده) با تغییر ایجاد شده در معیار آبی مقایسه می‌شود و به صورت عدد گزارش می‌گردد. این عدد مابین ۱ (ثبات نوری ضعیف) تا ۸ (ثبات نوری بالا) متغیر است. روش آزمایش استاندارد ملی به شماره ۴۰۴۸ ثبات در دستگاه ثبات نوری که شبیه‌سازی نور روز می‌باشد را توضیح می‌دهد.

جدول ۳-۲: ثبات نوری نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل

نوع پارچه	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل
پتو(اکریلیکی)	۵	۵
رومبلی (پلی‌استر)	۵	۵
پرده (پلی(استر)	۵	۵
پوشاک (پنبه/پلی‌استر)	۵-۴	۵-۴

طبق این استاندارد نمونه‌های تکمیل شده و نمونه‌های شاهد در معرض نور قرار گرفت و نتایج بدست آمده با نمونه‌های شاهد مقایسه شد تا تأثیر مواد تکمیلی بر ثبات نوری پارچه مورد ارزیابی قرار گیرد. باید توجه داشت که نوع ماده رنگزای استفاده شده برای پارچه‌هایی با جنس‌های متفاوت با یکدیگر فرق کرده و در نتیجه اثر رزین ضد آتش بر تک تک پارچه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۳ـ۲، رزین SP تأثیری بر ثبات نوری منسوجات پلی استری و اکریلیکی و رزین CE بر منسوجات پنبه/پلی‌استر نداشته است. در این آزمون چون از پارچه بدون رنگرزی نایلونی استفاده شد بنابراین خواص رنگی آن مورد آزمون قرار نگرفت.

۳ـ۴ـ۲ـ ثبات شستشویی منسوجات

ثبات شستشویی منسوجاتی رنگرزی شده از اهمیت خاصی برخوردار است. ثبات شستشویی نتیجه تأثیر آب و شوینده بر ماده رنگزا است. استاندارد ۱۰۰۷۶ ثبات شستشویی منسوجاتی رنگرزی شده را در پنج آزمایش متفاوت بیان می‌کند. از این آزمایشات از شماره ۱ (شستشویی با دست) تا شماره ۵ (شستشو با ماشین) شبیه‌سازی شده است. آزمایشات در دمای متفات در زمان‌های متفاوت طراحی شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

در این آزمایشات نمونه رنگرزی شده با ابعاد مشخص (معمولا ۴×۱۰ cm) و به صورت مرکب تهیه می-شود. نمونه رنگرزی شده در تماس با پارچه غیر رنگرزی شده هم جنس و غیر هم‌جنس با همان ابعاد تهیه مطابق جدول ۳ـ۳ و سپس اطراف آن دوخته می‌شود. پارچه های همراه باید دارای بافت ساده، بدون تکمیل یا مواد شیمیایی زاید و مواد سفید کننده نوری باشد. هدف از قرار دادن نمونه همراه رنگرزی نشده، ارزیابی لکه‌گذاری نمونه مورد آزمایش است.

جدول ۳ـ۳: نوع نمونه‌های همراه مورد استفاده در نمونه‌ی مرکب

قطعه اول	قطعه دوم	
	دمای ۴۰ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد	دمای ۶۰ و ۹۵ درجه سانتی‌گراد
پنبه	پشم	ویسکوز
پشم	پنبه	-
ابریشم	پنبه	-
ویسکوز	پشم	پنبه
استات	ویسکوز	ویسکوز
پلی‌آمید	پشم یا پنبه	پنبه
پلی‌استر	پشم یا پنبه	پنبه
اکریلیک	پشم یا پنبه	پنبه

جهت انجام آزمایش از روش B استاندارد ۱۰۰۷۶ استفاده گردید و نمونه ها با ۵ گرم در لیتر صابون با L:G ۵۰:۱ به مدت ۴۵ دقیقه و در دمای ۵۰ شستشو داده شد. در انتها نمونه های عمل شده (شستشو شده) و عمل نشده (شاهد) با رعایت مرز مشترک و تحت منبع نوری استاندارد در کابینت بازدید نمونه، جهت مقایسه با معیار خاکستری قرار داده شد و اعداد تغییر رنگ نمونه و لکه‌گذاری بر روی پارچه همراه بررسی گردید. نتایج بدست آمده از ثبات شستشویی پارچه‌ها در جدول ۳ـ۴ ارائه شده است.

جدول ۳ـ۴: ثبات شستشویی نمونه‌ها قبل و بعد از تکمیل

نوع پارچه	عدد لکه‌گذاری روی پارچه غیر هم‌جنس (پنبه)		عدد لکه‌گذاری روی پارچه هم‌جنس		عدد تغییر رنگ	
	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل	قبل تکمیل	بعد از تکمیل
پتو (اکریلیک)	۵	۵	۵	۵	۵	۵
پرده (پلی‌استر)	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۴-۵	۵	۵
پوشاک (پنبه/پلی‌استر)	۴	۳-۴	۴	۴	۴	۴

Archive of SID

www.SID.ir

همانطور که از اعداد بدست آمده از ثبات شستشویی نمونه‌ها مشخص است، رزین‌های استفاده شده تأثیر چندانی در ثبات شستشویی نمونه‌ها نداشته، فقط اندکی موجب کاهش ثبات شستشویی پارچه پنبه/پلی‌استری شد که این میزان چندان زیاد نبوده است. این کاهش اندک شاید مربوط به پایین بودن pH محلول است که برمنسوجات پنبه/پلی‌استری تأثیر گذاشته و در نتیجه میزانی از رنگزا از سطح منسوجات خارج شده است.

۳ـ۵ـ آزمایش میزان اشتعال‌پذیری منسوجات قبل و بعد از ضد آتش کردن

اشتعال‌پذیری محصولات نساجی به رفتار سوختن آن‌ها به خصوص به راحتی آتش‌گیری و ادامه سوختن پس از آن اشاره دارد. برخی از پارچه‌ها به شدت قابل اشتعال و برخی کم و بیش این خاصیت را دارند. تمام منسوجاتی که تولید می‌شوند به جز آزبست تحت شرایطی خواهند سوخت. آتش‌گیری راحت پارچه‌ها به ویژگی‌های متعددی بستگی دارد. الیاف گرمانرم مانند نایلون، پلی‌استر و الفین به هنگام نزدیک شدن شعله خود را جمع می‌کنند لذا آتش‌گیری آنها مشکل‌تر است. بهر حال به هنگام محصور شدن در بین شعله‌ها یا شدید بودن آتش، سوخته و ذوب می‌شوند. پارچه‌های خارخورده و پرزدار به راحتی آتش گرفته و شعله به سرعت در کل سطح پخش می‌شود. پارچه‌های سنگین‌تر و آن‌هایی که دارای بافت بسیار متراکمی هستند چه از نوع تاری و پودی و چه از نوع حلقوی به راحتی آتش نمی‌گیرند و بسیار کندتر از پارچه‌های سبک و حریر می‌سوزند.

با توجه به کاربرد بسیار متنوع منسوجات، آزمون‌های زیادی با استفاده از نمونه‌های عمودی، افقی یا مورب، همراه با تهویه و یا بدون آن انجام می‌شود. همچنین، آزمایش‌های ویژه متعددی به منظور بررسی خاصیت ضد آتش در منسوجاتی از قبیل فرش و پوشاک محافظ در برابر آتش به کار می‌روند. با توجه به امکانات محدود در کشور، به معرفی رایج‌ترین آنها پرداخته و خاصیت اشتعال‌پذیری آانها ارزیابی می‌شود.

۳ـ۵ـ۱ـ اندازه‌گیری اشتعال‌پذیری افقی نمونه‌ها

به دلیل عدم وجود استاندارد ملی مربوط به آزمون اشتعال‌پذیری بصورت افقی، برای انجام اندازه‌گیری طول سوختگی پارچه در جهت افقی از استاندارد پژو به شماره D451333 استفاده شد. مطابق استاندارد فوق نمونه‌ای با با ابعاد ۱۰×۴۰ سانتی‌متر بریده و در راستای طولی دو علامت که اولین نقطه دارای فاصله ۳۸ میلیمتر از انتهای آزاد نمونه و دیگری به فاصله ۲۵۴ میلیمتر نسبت به اولین نقطه علامت‌گذاری می‌شود. جهت انجام آزمایش نمونه در یک محفظه با استفاده از وسایل نگه‌دارنده به صورت افقی ثابت می‌شود. شعله‌ای با ارتفاع ۳۸ میلیمتر در تماس با لبه نمونه قرار می‌گیرد که به محض تماس شعله با نمونه زمان‌سنج به راه انداخته می‌شود و در انتهای ۱۵ ثانیه، گاز شعله قطع می‌شود. در صورت عدم عبور شعله در پارچه از نقطه اول پس از قطع گاز شعله، مطابق استاندارد نوع A گزارش می‌شود و در صورت عبور شعله از نقطه

Archive of SID

www.SID.ir

اول زمان‌سنج دوم به راه انداخته می‌شود؛ چنانچه که اشتعال قبل از رسیدن به نقطه دوم متوقف گردد نوع D و با عبور از نقطه دوم نوع E گزارش می‌شود. سرعت سوختن در نوع D و E از رابط ۳ـ۱ بر حسب میلیمتر بر دقیقه (mm/min) محاسبه می‌شود:

$$V=(L\times 60)/t \qquad (۱ـ۳)$$

که L طول سوخته شده بر حسب میلیمتر و t مدت اشتعال طول L بر حسب ثانیه می‌باشد.

جدول ۳-۵: آزمایش اشتعال‌پذیری افقی نمونه‌ها

نوع پارچه	نوع سوختن		سرعت سوختن (mm/min)	
	قبل تکمیل	بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل
پتو اکریلیکی	A	A	-	-
رومبلی (پلی‌استر)	A	A	-	-
پرده (پلی‌استر)	D	A	۸۵	-
نایلونی	A	A	-	-
پنبه پلی‌استر	E	E	۹۶	۶۴

نتایج جدول ۳ـ۵ نشان می‌دهد که نمونه پرده‌ای با توجه به تکمیل پارچه با مواد ضد آتش کننده و برخلاف نمونه بدون تکمیل، شعله در آن گسترش نیافته و با گذشت زمان احتراق و با دور کردن شعله، خاموش شد. این در حالی است که نمونه شاهد در این مدت محترق شده و شعله با گذشتن از علامت اول و با سرعت ۸۵ میلی‌متر بر دقیقه پیشروی کرده و تا قبل از علامت دوم خاموش شده است.

در هر دو نمونه پنبه/ پلی‌استری، به محض رسیدن آتش به لبه پارچه، نمونه شروع به سوختن کرده و شعله تا رسیدن به دومین علامت ادامه داشته با این تفاوت که سرعت سوختن نمونه تکمیل شده کمتر از نمونه شاهد بود. برای پارچه‌های مانند نایلونی و رومبلی، شاید از آنجا که وزن در واحد سطح آنها زیاد بوده است آتش در همان مراحل اولیه متوقف شد و پیشرفتی نداشته است. نحوه سوختن پارچه اکریلیکی قبل و بعد از تکمیل در تست افقی تفاوتی چندانی با یکدیگر نداشت و این آزمایش برای ارزیابی این نوع نمونه مناسب نبود.

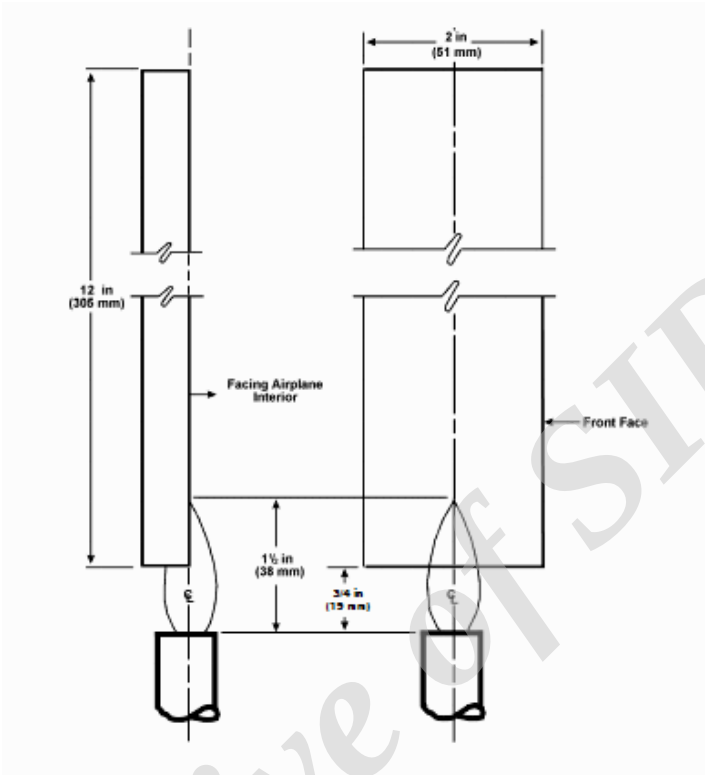
۳ـ۵ـ۲ـ تست عمودی نمونه‌ها براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳

این استاندارد مربوط به مقررات حمل و نقل هوایی فدرال بوده و برای تعیین مقاومت مواد در برابر آتش وضع شده است. در این استاندارد از شعله‌ای به ارتفاع ۳۸ میلی‌متر استفاده می گردد و نمونه به مدت ۱۲ ثانیه در معرض آتش به صورت عمودی قرار می‌گیرد. در انجام این آزمایش مواردی که اعلام می‌گردد، طول سوختگی، مدت زمان شعله‌وری و زمان تولید اولین قطره مذاب می‌باشد. نمونه انتخاب شده باید در اندازه (۷۵×۳۰۵) میلی‌متر بوده و قبل از انجام آزمایش مرحله آماده‌سازی را گذرانده باشد. . برای انجام آزمایش حداقل سه نمونه

Archive of SID

www.SID.ir

مورد نیاز است. در شکل ۳-۱ نحوه قرارگیری نمونه در برابر شعله نشان داده شده است. نمونه به صورت عمودی در قسمت نگهدارنده دستگاه قرار گرفته و قسمت انتهایی آن ۱۵mm بالاتر از پایین‌ترین قسمت شعله قرار می‌گیرد.



شکل ۳ـ۱: نحوه قرارگیری نمونه در برابر آتش مطابق استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳

این آزمایش برای ۴ نوع پارچه تکمیل شده و تکمیل نشده انجام شد و نتایج آن در جدول ۳ـ۶ ارائه شده است.

جدول ۳ـ۶: نتایج تست عمودی نمونه‌ها براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳

نوع پارچه	درصد اضافه وزن	مدت زمان خود خاموش‌شوندگی(s)		مدت زمان تولید اولین قطره مذاب (s)		طول سوختگی (mm)	
		قبل از تکمیل	بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل	قبل از تکمیل	بعد از تکمیل
پتو (اکریلیک)	۱۱/۷	۰	۰	-	-	۴۵	۳۵
پرده (پلی‌استر)	۱۴/۲	سوختن پایدار	۰	۸	-	سوختن پایدار	۱۸
نایلونی	۱۱/۹	۰	۰	۶/۷۶	۱۱/۹۶	۴۱	۳۵
پوشاک (پنبه/پلی‌استر)	۲/۱	سوختن پایدار	سوختن پایدار	-	-	سوختن پایدار	سوختن پایدار

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج نشان داد که نمونه پارچه اکریلیکی تمایلی به تولید قطره مذاب نداشته و با اتمام زمان ۱۲ ثانیه با دور شدن از شعله در هر دو حالت تکمیل شده و تکمیل نشده خاموش شده است. با مقایسه میزان پیشروی شعله در پارچه معلوم گردید طول سوختگی نمونه تکمیل شده کمتر از نمونه شاهد می‌باشد در نتیجه میزان پیشروی شعله در آن کمتر بوده است.

پارچه تکمیل نشده پلی‌استری در مدت زمان آزمایش شعله‌ور گردید و با دور کردن شعله نیز همچنان به سوختن خود ادامه داد و اولین قطره تولید شده در طی این آزمایش در زمان ۶/۷۶ ثانیه از زمان شروع آزمایش تولید شد این در حالی است که در مورد پارچه پلی‌استر تکمیل شده در طی آزمایش قطره مذابی تولید نشد و با گذشت ۱۲ ثانیه با دور شدن از شعله خاموش گردید به عبارتی خاصیت خود خاموش‌شوندگی داشت. طول سوختگی پارچه پرده‌ای تکمیل شده نیز بسیار کم بوده است ولی نمونه خام پارچه بعد از زمان احتراق به سوختن خود ادامه داده و خاموش نگردید.

پارچه نایلونی استفاده شده در این تحقیق، درطی آزمایش برای هر دو مورد تکمیل شده و تکمیل نشده اندکی با شعله سوخت ولی بعد از گذشت ۱۲ ثانیه با دور شدن از آتش، شعله‌ای در پارچه مشاهده نشد. طول سوختگی نمونه تکمیل شده از نمونه خام کمتر بود و در طی واکنش قطره مذاب بعد از گذشت ۱۱/۹۶ ثانیه تولید گردید این در حالی است که برای نمونه تکمیل نشده زودتر و در زمان ۶/۷۶ ثانیه تولید شد.

پارچه پنبه/پلی‌استری به دلیل وجود ۲۰ درصد از پنبه در ساختار خود بعد از قرار گرفتن در معرض شعله و ذوب شدن جز پلی‌استری،مذاب تولید شده چکه نکرد و در ساختار باقی ماند. اینگونه پارچه‌ها با توجه به اثر داربستی سریعتر می‌سوزند در نتیجه موجب افزایش خاصیت شعله‌وری نمونه می‌گردند. نتایج نشان داد که سوختن پارچه با تکمیل رزین CE سوختنی پایدار دارد و سوخته ذغالی به جای گذارد.

۳ـ۶ـ نتیجه‌گیری

در این تحقیق نمونه‌ها با توجه به مواد موجود در کشور و قابل دسترس تکمیل شدند. از آنجایی که رفتار حرارتی منسوجات به دلیل ساختار شیمیایی متفاوت، منحصر به فرد می‌باشد در نتیجه عملکرد آنها نیز در مقابل آتش گوناگون است. اکثر الیاف مصنوعی در برابر آتش به شدت آتش گرفته و با خارج شدن از آتش نیز همچنان به سوختن ادامه می‌دهند. تولید قطرات در حین سوختن این مواد، به شدت خطرناک بوده و غالبا با شعله همراه می‌باشد و آسیب‌های ایجاد شده توسط آنها به شدت زیان‌آور است.

Archive of SID

www.SID.ir

دراین تحقیق مواد متفاوتی برای ضد آتش کردن منسوجات استفاده شد و در انتها رزین‌های مناسب با توجه به خاصیتی که به منسوجات می بخشیدند برای این کار انتخاب شدند. استفاده از این مواد در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و در انتها نسخه مناسب برای هر جنس پارچه تعیین گردید. بررسی‌ها نشان داد که رزین استفاده شده موجب به تأخیر انداختن شعله‌وری نمونه‌ها مخصوصا پلی‌استر گردید و رفتار حرارتی آنها را تغییر داد. از آنجا که پارچه‌ها در حضور مواد شیمیایی رفتار منحصر به فرد خود را نشان می-دهند آزمایشات دیگری از جمله تعیین خواص فیزیکی و شیمیایی نیز بر منسوجاتهای تکمیل شده انجام شد تا تأثیر بیشتر این مواد بر ساختار ماده مشخص گردد.

۳ـ۶ـ۱ـ ارزیابی میزان اشتعال‌پذیری منسوجات منتخب ضد آتش شده

در این تحقیق به طور کلی ۴ نوع پارچه مورد آزمایش قرار گرفت. این نوع پارچه ها در زندگی روزمره بیشتر مورد مصرف قرار می‌گیرند و کاربردهای متفاوتی را در منازل و اماکن عمومی چون وسایل حمل و نقل، سینماها، هتل‌ها و ... را در بر می‌گیرند. از آنجا که امکان آتش سوزی در این اماکن بسیار زیاد است و امکان تولید منسوجاتی که اصلا آتش نگیرند با توجه به قیمت آنها و کاربرد روز افزونشان وجود ندارد بنابراین نیازمند استفاده از منسوجاتی خواهیم بود که در حضور آتش دیرتر آتش گرفته و یا در حضور آتش کمتر شعله‌ور گردند.

تکمیل منسوجات با مواد شیمیایی یکی از روشهایی است که جهت ضد آتش کردن پارچه‌هایی با الیاف مصنوعی استفاده می‌گردد. این روش مقرون به صرفه بوده و اعمال آن بر منسوجات نیازمند استفاده از دستگاه و تجهیزات خاصی نمی‌باشد. در اینجا نیز ما منسوجات را با رزین‌های ضد آتش تکمیل کرده و رفتار حرارتی منسوجات را با نمونه تکمیل نشده مورد مقایسه قرار دادیم.

همانطور که می‌دانیم پارچه پلی‌استری در حضور آتش به شدت آتش گرفته و با دور شدن از شعله با تولید جرقه و ایجاد قطرات مذاب همراه با آتش، به سوختن خود ادامه می‌دهد. برای کاهش میزان شعله‌وری این مواد ترکیبات زیادی استفاده شده است یکی از موادی که جهت ضد آتش کردن آنها بسیار استفاده می‌شود ترکیباتی فسفری است که در این تحقیق نیز از ترکیبات آلی فسفری جهت دیر سوز شدن پارچه‌های مصنوعی استفاده شد.

نتایج نشان داد که منسوجاتی پلی‌استر تکمیل شده طی انجام آزمایشات و در حضور شعله دیرتر آتش گرفته و با دور کردن شعله از پارچه، خاموش گردید. از جمله مواردی که در هنگام سوختن منسوجاتی پلی-

Archive of SID

www.SID.ir

استری اتفاق می‌افتد تولید قطرات مذاب می‌باشد که این قطرات بسیار خطرناک بوده و آسیب‌های وارده از آن قابل جبران نمی‌باشد. با ضد آتش کردن منسوجاتی پلی‌استری میزان تولید این قطرات نیز به شدت کاهش یافت و برخلاف منسوجاتی بدون تکمیل، با گذشت زمان زیادی قطرات مذاب تولید شده بدون آتش فرو ریختند.

استفاده از منسوجاتی اکریلیکی در اثاثیه و لوازم منزل مانند فرش، پتو، پوشاک و ... زیاد بوده و ترکیب آن با الیاف دیگر بسیار متداول می‌باشد از این رو ضد آتش کردن این پارچه‌ها نیز بسیار مورد توجه است. سوختن منسوجاتی اکریلیکی نیز همرا با دود و ایجاد جرقه‌هایی می‌باشد که از نوع سوختن پایدار بوده و با دور شدن از آتش، به سوختن خود ادامه می‌دهد. جهت ضد آتش کردن این پارچه‌ها نیز از رزین SP استفاده شد، با انجام این عملیات تکمیلی بر منسوجات، تمایل به آتش گرفتن در آن کاهش یافت ومنسوجاتی اکریلیکی تکمیل شده با دور شدن از شعله خاموش گردید به عبارتی منسوجات خاصیت خاموش شوندگی داشت و منسوجات ضد آتش شد.

پارچه نایلونی ۶ نیز در حضور آتش به شدت آتش گرفته و قطرات مذابی پرتاب شونده همراه با شعله‌های آتش تولید می‌کند. با تکمیل منسوجاتی پلی‌آمیدی استفاده شده در کوله‌های نظامی، مشخص گردید استفاده از رزین SP بر منسوجات موجب دیر سوز شدن آن گردید و مطابق با آزمایش عمودی شعله انجام شده بر منسوجات براساس استاندارد FAR ۲۵,۸۵۳ ، مدت زمان تولید اولین قطره تولید شده توسط منسوجات نیز کاهش یافت. در این آزمایش طول سوختگی نمونه عمل‌آوری شده کمتر از نمونه تکمیل نشده بود و به عبارتی منسوجات ضد آتش شد.

ضد آتش شدن منسوجاتی مخلوط پنبه/پلی‌استر (۸۰/۲۰) نیز آزمایش شد. از آنجا که مورد مصرف این پارچه بیشتر در زمینه البسه و پوشاک بوده و این پارچه نیازمند شستشوی مداوم می‌باشد، بنابراین منسوجات شسته شد. نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از رزین CE بهتر از رزین SP و مخلوط این دو رزین بوده بنابراین در این آزمایش منسوجات با رزین CE تکمیل شد. نتایج بدست آمده از دیر سوز شدن منسوجات پنبه پلی‌استر نشان داد که منسوجات ضد آتش شده و بعد از سوختن، سوخته ذغالی به جای گذاشت.

با مطالعات و آزمایشات انجام شده متمادی بر این ۴ نوع منسوجات به این نتیجه رسیده شد که به کارگیری رزین SP بر منسوجاتی پلی‌استر، نایلون و اکریلیک موثر بوده و رفتار حرارتی آنها تغییر کرده و منسوجات ضد

Archive of SID

www.SID.ir

آتش شده است. به‌کارگیری این مواد موجب ایجاد خاصیت خود خاموش‌شوندگی منسوجات گردیده و منسوجات با دور شدن از شعله خاموش شدند.

۳ـ۶ـ۲ـ بررسی تأثیر عملیات ضدآتش کردن بر خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی منسوجات منتخب

با توجه به کاربرد متعدد این نوع پارچه‌ها در جاهای متفاوت، نیاز است تا خواصی مانند خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی آنها نیز درکنار خاصیت ضد آتش مورد ارزیابی قرار گیرد. برای مثال منسوجاتیی مانند پرده، نیاز است تا از ثبات نوری بالایی برخوردار باشد و با به کار بردن مواد ضد آتش بر منسوجات، جهت ایجاد خاصیت ضد آتش کنندگی این خاصیت تحت تأثیر قرار نگرفته و منسوجات همچنان از ثبات نوری بالایی برخوردار باشد. به همین منظور خواص شیمیایی و فیزیکی متفاوتی از پارچه‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا توانایی پارچه در اینگونه از خواص نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

در بررسی خواص فیزیکی منسوجات، ضخامت نمونه و وزن در واحد سطح منسوجات مورد ارزیابی قرار گرفت. با تکمیل منسوجات با مواد ضد آتش، وزن در واحد سطح و ضخامت نمونه‌ها افزایش یافت که بیانگر وجود این مواد بر منسوجات می‌باشد. خواص مکانیکی پارچه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت و مواردی چون استحکام کششی و استحکام در برابر جرخوردگی مد نظر قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که تکمیل منسوجات با مواد ضد آتش تأثیر چندانی بر استحکام منسوجات نداشته و در مواردی نیز موجب افزایش اینگونه خواص در منسوجات گردیده است این افزایش صرف‌نظر از جمع‌شدگی منسوجات در موردی مانند پارچه نایلونی، به علت مانع فیزیکی ایجاد شده بر پارچه است که موجب می‌گردد تا میزانی از نیروی اعمال شده بر منسوجات توسط این مواد تحمل گردد و در نتیجه استحکام منسوجات افزایش یابد.

اثرات متقابل مواد که در مراحل تکمیلی منسوجات بر آن اضافه می‌شود با بررسی خواص شیمیایی تعیین می‌شود. برای اینکار ثبات شستشویی و نوری منسوجات مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تکمیل ضد آتش منسوجات با رزین SP برای پارچه با جنس پلی‌استر و اکریلیک و رزین CE برای پارچه پنبه/پلی-استر کمترین تأثیر را داشته و ثبات شستشویی و نوری منسوجات با اعمال این مواد تغییر چندانی نداشته است.

با توجه به دامنه وسیع مواد ضد آتشی که برای منسوجات استفاده می‌شود و خصوصیات متفاوتی که به منسوجات می‌بخشد نیاز است تا مواد گوناگونی برای ضد آتش کردن منسوجات استفاده گردد تا با بررسی آنها بهترین نتیجه بدست آید. باید توجه داشت که علاوه بر کارایی این مواد بر منسوجات باید قیمت آنها نیز

Archive of SID

www.SID.ir

مورد توجه باشد تا قیمت تمام شده آن نیز وابسته به استفاده زیاد اینگونه منسوجات بالا نبوده یا به عبارتی صرفه اقتصادی داشته باشد.

رزین SP استفاده شده در این تحقیق عملکرد خوبی در ضد آتش کردن منسوجاتی مصنوعی داشته و استفاده از آن بر منسوجات بسیار راحت و بدون استفاده از هرگونه ماده جانبی می‌باشد. تنها نکته، ثبات پایین این مواد بر منسوجاتست که به شستشو حساس بوده و با انجام عملیات شستشویی از میزان آن بر منسوجات کاسته می‌شود. نتایج نشان داد که سازگاری منسوجاتی پلی‌استری در میان دیگر جنس پارچه-های استفاده شده بیشتر بوده و نتایج ضد آتش کردن منسوجات با این رزین خوب بوده است. دیگر پارچه‌ها نیز سازگاری خوبی با این ماده از خود نشان داده‌اند و نتایج آنها نیز رضایت بخش می‌باشد. ضد آتش کردن پارچه پنبه/پلی‌استر با درصد بیشتری از جزء پنبه با رزین CE، بهتر از نمونه استفاده شده در این تحقیق می‌باشد که با جذب بیشتر این رزین بر منسوجات ثبات آن افزایش یافته و منسوجات ضد آتش تر می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

مراجع

1- A. R. Horrocks,“Flame retardant challenges for textiles and fibres: New chemistry versus innovatory solutions”, Polymer Degradation and Stability 96: 377-392 (2011).

2- M. S. Subbulakshmi, N. Kasturiya, Hansarje, “Production of Flame-Retardant Nylon 6 and 6.6”, Macromolecolar Chemistry and Physics, 85-104 (2000).

۳- توانایی، حسین: الیاف بشر ساخته، انتشارات ارکان، پاییز ۱۳۷۷.

4- S.V. Levchik, E.D. Weil," A review on thermal decomposition and combustion of thermoplastic polyesters", Polymers for Advanced Technologies 15: 691–700 (2004)

5- R. C. NAMETZ,” Flame-retarding synthetic textile fibers", Industrial and Enngineering Chemistry 62 (1970)

6- S. Yu Lu, I. Hamerton, “Recent developments in the chemistry of halogen-free flame retardant polymers”, Progress in Polymer Science. 27 1661–1712 (2002)

7- Y. Chin Li, “Environmentally benign flame retardant for fabrics”, Office of Graduate Studies of Texas A&M University, (2011).

۸- د. شیندلر، ولفگانگ. کمالی مقدم، مقداد؛ صفی، سمیه؛ مرتضوی، سید مجید: تکمیل شیمیایی منسوجات، انتشارات ارکان دانش، بهار ۱۳۸۹.

9- J. Alongi, F. Carosio, G. Malucelli, “Current emerging techniques to impart flame retardancy to fabrics:An overview”, Polymer Degradation and Stability 1-12 (2013).

10- L. P. Salgaonkar, R. V. Jayaram, "Thermal and flame-retardant properties of polyester fabric grafted with polyanilines”, Applied Polymer Scienc 93 1981–1988 (2004).

11- F. Carosio, G. Laufer, J. Alongi, G. Camino, J. C. Grunlan, “Layer-by-layer assembly of silica-based flame retardant thin film on PET fabric”, Polymer Degradation and Stability 96 745-750 (2011).

12- P. Bajaj, A. Agrawal, A. Dhand, “Flame retardation of acrylic fibers”,
An Overview”,. Macromolecolar Chemistry and Physics 40 309–337 (2000)

13- M.J. Tsafacka, J. Grqtzmacher, “Plasma-induced graft-polymerization of flame retardant monomers onto PAN fabrics”, Surface & Coatings Technology 200 3503– 3510(2006).

14- M. Doan, E. Bayraml, “Effect of boron phosphate on the mechanical, thermal and fire retardant properties of polypropylene and polyamide-6 fibers”, Fibers and Polymers 14 1595-1601(2013)

-15- M. Coquelle, S. Duquesne, M. Casetta, J. Sun, S. Zhang, S. Bourbigot, “Investigation of the decomposition pathway of polyamide 6/ammonium sulfamate fibers”, Polymer Degradation and Stability 106 150-157(2014)

16- X. Li, X. Gu, , S. Zhang, H. Li, Q. Feng, J. Sun, Q. Zhao, “Improving the fire performance of nylon 6,6 fabric by chemical grafting with acrylamide”, Industrial & Engineering Chemistry Research 52 2290–2296 (2013)

17- S. M. Kolhe, A. Kumar, “Radiation-induced grafting of vinyl benzyl trimethyl ammonium chloride onto nylon-6 fabric”, Radiation Physics and Chemistry 76 901–906 (2007).

18- H. Yang, C. Q. Yang, Q. He,”The bonding of a hydroxy-functional organophosphorus oligomer to nylon fabric using the formaldehyde derivatives of urea and melamine as the bonding agents”, Polymer Degradation and Stability 94 1023–1031(2009)

19- L. Li, G. Chen, W. Liu, J. Li, Sh. Zhang, “The anti-dripping intumescent flame retardant finishing for nylon-6,6 fabric”, Polymer Degradation and Stability 94 996–1000 (2009)

[20] A R Horrocks, “Flame-retardant Finishing of Textiles”, REV. PROG. COLORATION 16 (1986)

Archive of SID

www.SID.ir

Abstract

In this study, four types of fabric made of polyester, nylon, acrylic and cotton / polyester (20/80), being in the most common textiles were used. Nylon, polyester and acrylic textiles were finished by SP resin and a cotton/polyester textile was finished by CE resin. To evaluate the effect of back-coating resin, different resins were used. Horizontal and vertical flame test to assess the flammability of the samples were examined. Tear Strength, breaking strength, elongation, and color fastness to washing and light of samples were measured. The results showed that the SP resin without any auxiliary had good performance to fire retardant of polyester, acrylic and nylon textile. Samples turned off when kept them out of fire and no molten droplets were observed during the test. The fire retardant – cotton/polyester textile had charred as well as flame speed was reduced in samples. Using fire resistance material didn't any changes of tear Strength, breaking strength, elongation, and color fastness to washing and light of samples

Keywords:: Fir Retardant, Chemical finishing, Coventoinal Textile

Archive of SID

www.SID.ir

ACECR
Research and Technology Deputy

Islamic Republic of Iran

StudyandPresentVariousMethodofFirRetardent FinishingforConventionalTextile

(FirstVer)

(2176-11)

AmirkabirUniversityofTechnology

Branch

TextileTechnologyResearchGroup

Spring2015

Archive of SID

www.SID.ir