



مروری بر پوشش‌های تاخیرانداز حریق

آرمین حاجی بابا

۱- دکترای مهندسی پلیمر، کارخانجات چسب و رنگ بهسازان برنا انرژی پارس (بیکو)، تهران، ایران، صندوق پستی: ۳۷۳۸۱۱۷۶۵۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۶/۱۷ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۶/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۲۷ در دسترس به صورت الکترونیک: ۹۶/۱۲/۰۷

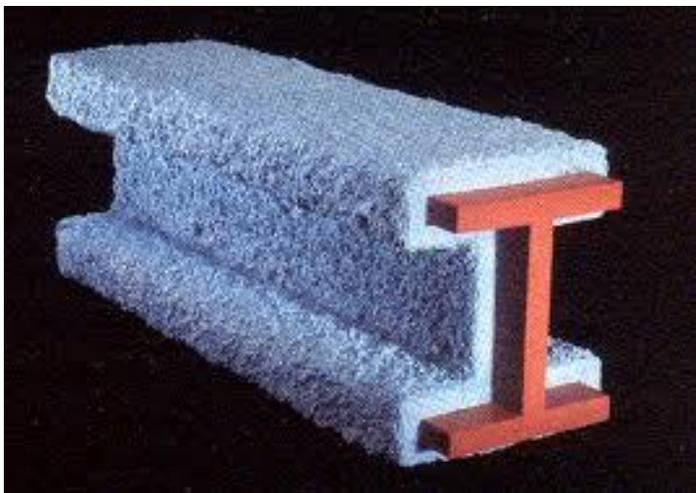
چکیده

از آنجایی که در سال‌های اخیر بحث مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر آتش اهمیت زیادی پیدا کرده است، در این مقاله به بررسی انواع پوشش‌های تاخیرانداز حریق پرداخته خواهد شد. این پوشش‌ها معمولاً روی سازه‌های فلزی یا دیوارهای ساختمانی اعمال شده و سبب تاخیر در نشر و گسترش آتش می‌شوند. در حال حاضر پوشش‌های تاخیرانداز حریق به دو گروه کلی رنگ‌های تاخیرانداز حریق و پوشش‌های معدنی طبقه‌بندی می‌شوند. رنگ‌های تاخیرانداز حریق نیز به دو گروه کلی رنگ‌های متورم‌شونده و غیرمتورم‌شونده تقسیم می‌شوند. هر کدام از این پوشش‌ها با توجه به ضخامت فیلم اعمال‌شده، مقاومت‌های متفاوت بین ۳۰ دقیقه تا ۴ ساعت در برابر نشر آتش دارند. در این مقاله به مطالعه انواع این پوشش‌ها و اجزا تشکیل‌دهنده آنها پرداخته خواهد شد.

واژه‌های کلیدی

پوشش‌های تاخیرانداز حریق، پلی‌فسفات آمونیم، پوشش‌های متورم‌شونده، پوشش‌های معدنی.

چکیده تصویری





Review on Fire Retardant Coatings

Armin Hajibaba*

Behsazan Borna Energy Pars Company (BEPCo.), Iran, Tehran, P. O. Box: 3738117659.

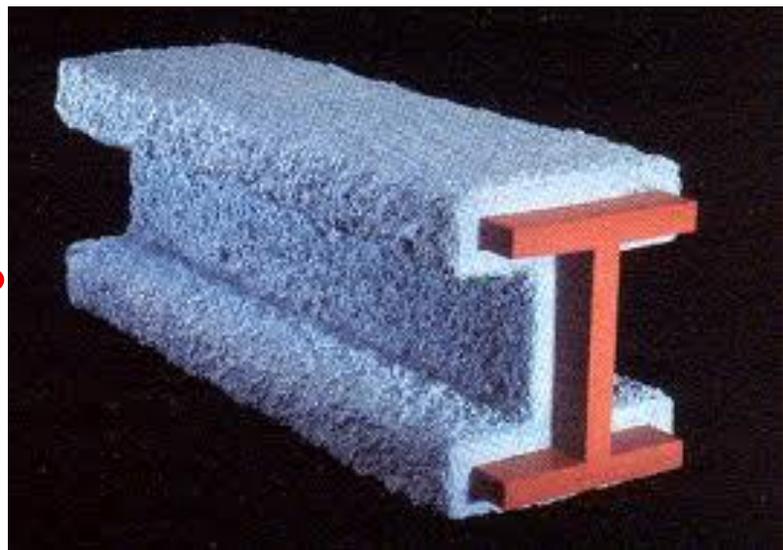
Abstract

Due to the importance of fire resistant subject in the safety of buildings, the present article reviews on the various types of fire retardant coatings. These coatings are usually applied on architectural wall and metal structure for resisting against fire propagation. Fire retardant coatings are classified into two groups: fire retardant paints and mineral coatings. Fire retardant paints are divided to intumescent and non- intumescent paints. The resistance of fire retardant coatings is varied from 30 min to 4 h, depending on dried film thickness. This article studies on the different types of fire retardant coatings and their ingredients.

Keywords

Fire retardant coatings, Ammonium polyphosphate, Intumescent coatings, Mineral coatings.

Graphical abstract



۱- مقدمه

هالوژن‌ها می‌باشد. اما از طرفی ضخامت فیلم اعمال شده آنها باید بسیار بیشتر باشد (حدود ۲ تا ۵ سانتی‌متر) تا مقاومت قابل قبولی در برابر حریق ایجاد کنند.

در پوشش‌های گروه دوم که بر پایه مواد معدنی مقاوم ساخته می‌شوند، طبیعت و ذات این مواد معدنی، مقاومت در برابر حرارت و حریق می‌باشد. طبیعی است که مشکلات زیست محیطی این گروه از پوشش‌ها نسبت به گروه اول کمتر است. رنگ‌های تاخیرانداز حریق متورم شونده (گروه اول) از ۳ جزء فعال منبع اسید (مانند پلی‌فسفات آمونیم)، منبع کربن (مانند پنتاریتریول^۴) و عامل متورم‌کننده^۵ (مانند ملامین) تشکیل شده است [۱۲-۱۰]. سازوکار این گروه از پوشش‌ها به این ترتیب است که ابتدا منبع اسید در اثر حرارت به یک اسید معدنی تجزیه می‌شود. این اسید معدنی سبب آزادایی^۶ عامل کربن شده و یک لایه کربن زغالی روی سطح شکل می‌گیرد. در نهایت نیز عامل متورم‌شونده تجزیه شده تا مواد گازی تولید شوند. ضمناً ضخامت فیلم اعمال شده این پوشش‌ها باید چندین برابر پوشش‌های معمولی و رنگ‌های تزئینی باشد (حدود ۷۰۰ تا ۳۰۰۰ میکرون). در هر دو گروه از رنگ‌های تاخیرانداز حریق متورم‌شونده و غیرمتورم‌شونده، به منظور ایجاد مقاومت بیشتر در برابر حریق، می‌توان از هیدروکسیدهای فلزی به عنوان بسط‌دهنده استفاده کرد. هیدروکسیدهای فلزی مانند آلومینیم هیدروکسید در اثر حرارت به اکسید فلزی و بخار آب تجزیه می‌شود (رابطه ۱) [۱۴، ۱۳]. بخار آب تولید شده (حدود ۳۵٪ وزنی) سبب کاهش شعله‌ورشدن آتش و کاهش میزان رهاش گرما می‌شود. البته باید به خاطر داشت برای رسیدن به این هدف، به درصد قابل توجهی از این مواد در فرمول بندی پوشش نیاز است (بیش از ۵۰ درصد وزنی) [۱۵].



جدول ۱ اسامی، ترکیب شیمیایی و دمای تجزیه برخی از آن‌ها که قابلیت تاخیراندازی حریق ایجاد می‌کنند را نشان می‌دهد.

جدول ۱- اسامی، ترکیب شیمیایی و دمای تجزیه برخی مواد که قابلیت تاخیراندازی حریق دارند [۱۵]

| دمای تجزیه (°C) | ترکیب شیمیایی | نام |
|-----------------|--|---------------------|
| ۶۰ - ۱۳۰ | CaSO ₄ .2H ₂ O | سنگ گچ |
| ۱۴۰ - ۱۵۰ | Mg ₃ (PO ₄) ₂ .8H ₂ O | فسفات منیزیم ۸ آبه |
| ۱۸۰ - ۲۰۰ | Al(OH) ₃ | هیدروکسید آلومینیم |
| ۲۲۰ - ۲۴۰ | Mg ₃ (CO ₃) ₄ (OH) ₂ .4H ₂ O | کربنات منیزیم آبدار |
| ۳۰۰ - ۳۲۰ | Mg(OH) ₂ | هیدروکسید منیزیم |
| ۳۴۰ - ۳۵۰ | AlO(OH) | بهمیت ^۷ |
| ۴۳۰ - ۴۵۰ | Ca(OH) ₂ | هیدروکسید کلسیم |

امروزه بحث مقاومت در برابر آتش در مباحث ساختمانی مانند اسکلت‌های فلزی ساختمان، پارکینگ‌های تجاری، مجتمع‌های تجاری، هتل‌ها، بیمارستان‌ها و غیره اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. از طرفی شرکت‌های آتش‌نشانی، سازندگان ساختمان‌های بلند مرتبه را ملزم به استفاده از پوشش‌های تاخیرانداز حریق بر روی اسکلت‌های فلزی ساختمان، چاله آسانسورها و غیره کرده است. چرا که در اثر بروز حریق، به دلیل فشار نیروی وارده بر روی سازه فولادی، پل‌ها و ستون‌ها در دمای حدود ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قابلیت تغییر شکل داشته و موجب واژگون‌شدن ساختمان می‌شود. موضوع پوشش‌های مقاوم در برابر حریق اولین بار در پی آتش‌سوزی عظیم لندن در سال ۱۶۶۶ مطرح شد [۱]. در سال ۱۸۷۱ آتش‌سوزی شیکاگو و زمین‌لرزه و آتش‌سوزی سانفرانسیسکو در سال ۱۹۰۶، اهمیت استفاده از پوشش‌های مقاوم در برابر حریق را بیشتر مشخص کرد [۲]. بنابراین پوشش‌های مقاوم در برابر حریق از اهمیت ویژه‌ای برای حفظ امنیت مردم هنگام آتش‌سوزی ساختمان‌ها برخوردار هستند. پوشش‌های مقاوم در برابر حریق، می‌توانند از انتشار و گسترش حریق جلوگیری به عمل آورند. معمولاً این نوع پوشش‌ها هنگام حریق تا چند برابر ضخامت اولیه خود منبسط شده و یک لایه زغالی روی سطح آنها شکل می‌گیرد [۳-۵].

پوشش‌های مقاوم در برابر حریق به دو گروه رنگ‌های تاخیرانداز حریق و پوشش‌های معدنی مقاوم طبقه‌بندی می‌شوند. رنگ‌های تاخیرانداز حریق نیز به دو گروه متورم‌شونده^۱ و غیر متورم‌شونده^۲ تقسیم می‌شوند. در بحث رنگ‌های ساختمانی، پوشش‌های آب‌پایه به دلیل خطرات زیست محیطی کمتر، مواد فرار آلی کم، بوی اندک و خشک‌شدن سریع‌تر توجهات زیادی را به خود جلب کرده است [۷].^۶ رنگ‌های ساختمانی آب‌پایه معمولاً بر پایه رزین‌های اکریلیک، استایرن-اکریلیک و کوپلیمرهای پلی(وینیل استات) هستند.

۲- رنگ‌های تاخیرانداز حریق

همان‌طور که ذکر شد رنگ‌های تاخیرانداز حریق به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند. گروه اول اصطلاحاً تحت عنوان پوشش‌های متورم‌شونده و گروه دوم تحت نام پوشش‌های غیرمتورم‌شونده نامگذاری می‌شوند. گروه دوم (غیرمتورم‌شونده) شامل مواد معدنی دیرگداز مانند ورمیکولیت^۳ [۱]، سیلیس، هیدروکسید آلومینیم (Al(OH)₃)، هیدروکسید منیزیم (Mg(OH)₂) و الیاف سرامیکی هستند [۸، ۹]. مزیت پوشش‌های تاخیرانداز حریق گروه دوم نسبت به گروه اول پایداری حرارتی بالاتر و عدم انتشار گازهای سمی و

⁴ Pentaerythritol

⁵ Blowing Agent

⁶ Dehydration

⁷ Boehmit

۱۳

¹ Intumescent Coatings

² Non- Intumescent

³ Vermiculite

مقاله

این گروه از پوشش‌ها معمولاً یا به وسیله ماله و یا به صورت پاششی اعمال می‌شوند. ضخامت لایه اعمال شده در این پوشش‌ها معمولاً بین ۲ تا ۵ سانتی‌متر است که می‌تواند حداکثر تا ۴ ساعت حریق را به تعویق اندازد. از ایراداتی که به پوشش‌های معدنی وارد است این که وزن سازه را خیلی بالا برده و ظاهر نامناسبی ایجاد می‌کنند.

۳- اجزای تشکیل‌دهنده رنگ‌های تاخیرانداز حریق متورم‌شونده

از آنجایی که رنگ‌های متورم‌شونده بخش بزرگی از پوشش‌های تاخیرانداز حریق و ضدحریق ساختمانی و صنعتی را تشکیل می‌دهند، در این بخش توضیحات کامل‌تری درباره این نوع رنگ‌ها و اجزای تشکیل‌دهنده آنها ارائه خواهد شد. در این پوشش‌ها، در اثر حرارت ابتدا رزین ذوب شده و بستر انعطاف‌پذیری جهت تشکیل لایه‌های متخلخل کربنی ایجاد می‌کند. ذکر این موضوع لازم است که رزین مورد استفاده باید از انعطاف‌پذیری خوبی برخوردار باشد. سپس مواد تولیدکننده اسید تجزیه شده و معمولاً نمک‌های اسیدی فسفات تولید می‌کنند. با افزایش حریق، اسید با مواد تولیدکننده کربن واکنش داده و ترکیبات پلی‌فسفریک استر تولید می‌کند. با افزایش دمای حریق، استرهای تولید شده تجزیه می‌شوند و ترکیبات کربنی نسوز ایجاد می‌کنند. حضور مواد متورم‌شونده باعث می‌گردد که یک لایه عایق متخلخل کربنی ضخیم ایجاد شده و در برابر حریق مقاومت نماید [۲۰]. اجزای اصلی تشکیل‌دهنده این رنگ‌ها شامل رزین، رنگدانه، مواد تولیدکننده اسید، مواد تولیدکننده کربن، مواد متورم‌شونده و تقویت‌کننده‌ها هستند.

۳-۱- رزین

رزین‌های مورد استفاده در رنگ‌های ساختمانی معمولاً کاپلیمرهای وینیل استات، رزین اکریلیک و استایرن اکریلیک آب‌پایه هستند. در رنگ‌های صنعتی معمولاً از رزین‌های اپوکسی، پلی‌یورتان، سیلیکون، اوره فرمالدهید، ملامین فرمالدهید و آلکید استفاده می‌شود [۲۱].

۳-۲- رنگدانه‌ها

اکثر رنگدانه‌های معدنی در برابر حریق مقاوم هستند و نشر آتش را به تاخیر می‌اندازند. رنگدانه‌های سیلیکاتی، دی‌اکسید تیتانیوم، هیدروکسید آلومینیم، هیدروکسید منیزیم و تری‌اکسید آنتیمون از مهم‌ترین انواع رنگدانه‌ها هستند [۲۲، ۸].

۳-۳- تقویت‌کننده‌ها

برای جلوگیری از تخریب مکانیکی این پوشش‌ها از عوامل تقویت‌کننده مانند الیاف معدنی، ذرات سرامیکی، بورات‌های معدنی و غیره استفاده می‌شود [۲۰].

همان‌طور که بیان شد رنگ‌های متورم‌شونده، از ۳ جزء فعال منبع اسید (مانند آمونیم پلی‌فسفات)، منبع کربن (مانند پنتا‌تری‌تول) و عامل متورم‌کننده (مانند ملامین) تشکیل شده‌اند. به محض تماس شعله آتش با رنگ‌های متورم‌شونده، این پوشش‌ها حدود ۵۰ تا ۱۰۰ برابر ضخامت اولیه متورم شده و یک فوم جامد ایجاد می‌کنند. این فوم متورم‌شده شامل هزاران سلول کوچک است که هر کدام در برابر حریق مقاوم هستند. بسته به ضخامت رنگ اعمال‌شده و ضخامت تورم ایجاد شده، قابلیت تاخیر در گسترش حریق بین ۳۰ دقیقه تا ۳ ساعت خواهد بود. نکته‌ای که حتماً باید مورد توجه قرار گیرد این است که پیونده مورد استفاده باید قابلیت انعطاف‌پذیری بسیار خوبی داشته باشد. این رنگ‌ها به هر دو صورت آب‌پایه و حلال‌پایه وجود دارند، اما مشخص است که نمونه‌های پایه آب خطرات بسیار کمتری بر محیط زیست و سلامت افراد دارند. پیمنتا^۱ و همکارانش [۱۶] نشان دادند که در بین رزین‌های مورد استفاده در رنگ‌های متورم‌شونده آب‌پایه، رزین‌های وینیلی مانند پلی‌وینیل استات) تاثیر بهتری نسبت به رزین‌های اکریلیک و استایرن-اکریلیک دارند. این دانشمندان نشان دادند که رزین‌های وینیلی در مقایسه با رزین‌های اکریلیک و استایرن-اکریلیک، دمای تجزیه حرارتی پایین‌تری از خود نشان می‌دهند. همچنین مشخص کردند که میزان تورم رنگ‌های متورم‌شونده آب‌پایه بر پایه رزین‌های وینیلی بیشتر از رزین‌های اکریلیک و استایرن-اکریلیک می‌باشد. شکل ۱ نمونه یک رنگ متورم‌شونده پایه آبی بر پایه رزین‌های وینیلی پس از آزمون حفاظت حرارتی [۱۷] را نشان می‌دهد.

۲-۱- پوشش‌های معدنی

انواع این پوشش‌ها از سنگدانه‌های معدنی منبسط‌شونده مقاوم در برابر حریق مانند ورمیکولیت و پرلیت، پیونده‌های هیدرولیک مانند گچ و سیمان و یک عامل کفزا تشکیل شده‌اند [۱۹، ۱۸، ۱].



شکل ۱- نمونه رنگ متورم‌شونده روی اسکلت فلزی پس از آزمون حفاظت حرارتی [۱۶].

^۱ Pimenta

۳-۴- مواد تولیدکننده اسید

این مواد شامل اسیدهای معدنی و ترکیبات فسفات دار آمونیم هستند. معمولاً از خود اسید استفاده نمی‌شود. پلی فسفات آمونیم از معروفترین ترکیبات تولیدکننده اسید در این پوشش‌ها می‌باشد که تقریباً بیشترین قدرت را دارد. در جدول ۲ به تعدادی از مواد تولیدکننده اسید اشاره شده است.

۳-۵- مواد تولیدکننده کربن

ترکیبات پلی‌ال و ناشاسته جزء این گروه می‌باشند. بازدهی این گروه از مواد، به میزان کربن و گروه‌های هیدروکسی (-OH) ارتباط دارد. گروه‌های هیدروکسی سرعت واکنش استری شدن و تشکیل لایه کربن را مشخص ساخته و تعداد کربن میزان لایه کربنی باقی مانده را مشخص می‌کنند [۲۰]. از جمله مواد تولیدکننده کربن می‌توان به اریتریتول، پنتاریتریتول، دی پنتاریتریتول، تری پنتاریتریتول، آرابیتول، ناشاسته و گلوکز اشاره کرد. شکل ۲ واکنش بین پلی فسفات آمونیم، به عنوان تولیدکننده اسید، و پنتاریتریتول، به عنوان تولیدکننده کربن، را نشان می‌دهد [۲۳].

۳-۶- مواد متورم‌شونده

این مواد سبب تشکیل لایه کربنی متورم می‌شود و در دماهای بالا تجزیه شده و به مواد فرار غیرآتش‌گیر تبدیل می‌شوند. برای مثال ملامین در دمای حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه شده و گازهای آمونیاک، دی‌اکسیدکربن و بخار آب متصاعد می‌کند. از مهم‌ترین مواد متورم‌شونده می‌توان به ملامین، کلروپارافین، اوره، گلاسیسین و گوانیدین اشاره کرد. در انتهای این قسمت یک نمونه فرمول‌بندی ارائه شده توسط شرکت زینترا کیمیکال^۱ در مورد پوشش‌های تاخیرانداز حریق متورم‌شونده پایه‌آبی آورده شده است (جدول ۳) [۲۴].

۴- انواع حریق

حریق‌ها بر مبنای نوع سوخت آنها به دو گروه کلی آتش سلولزی و آتش هیدروکربنی تقسیم می‌شوند. آتش‌های سلولزی ناشی از مواد سلولزی و سوخت‌های جامد آلی هستند که در آنها بعد از حدود یک ساعت دما به ۹۰۰ °C رسیده و سپس شیب بسیار ملایمی خواهد داشت. اینگونه حریق‌ها، بیشتر در ساختمان‌ها، منازل، هتل‌ها و غیره رخ می‌دهد. در حریق‌های هیدروکربنی که ناشی از سوختن مواد هیدروکربنی می‌باشد، دما به سرعت، طی مدت ۴ دقیقه، به حدود ۹۲۰ °C می‌رسد. اینگونه حریق‌ها بیشتر در پالایشگاه‌ها و مخازن رخ می‌دهد. شکل ۳ رفتار دما - زمان حریق‌های سلولزی و هیدروکربنی را نشان می‌دهد. از نگاه دیگر

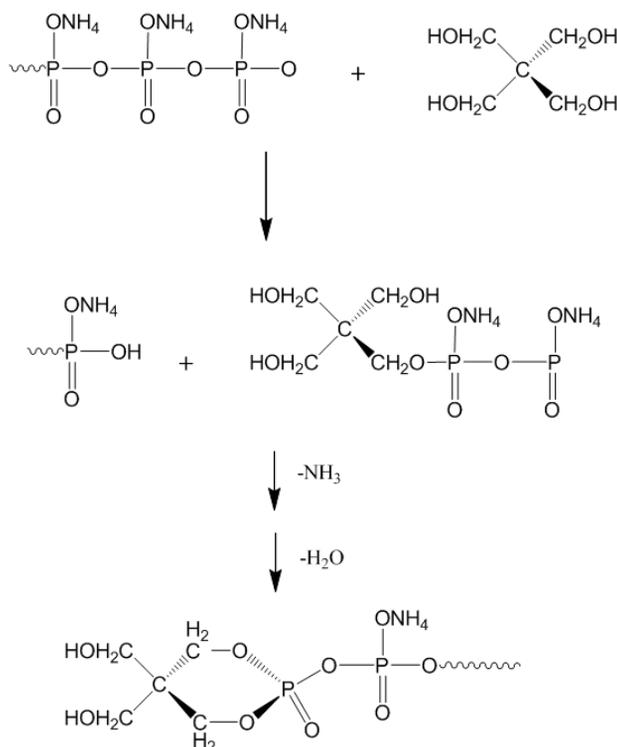
حریق‌ها بر اساس نوع و ماهیت مواد سوختنی به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. در آمریکا و ژاپن حریق‌ها بر اساس نوع مواد سوختنی به ۴ گروه A, B, C و D و در اروپا و استرالیا به ۵ گروه A, B, C, D و F تقسیم می‌شوند.

از آنجایی که تقسیم‌بندی حریق‌ها در ایران از روش اروپایی تبعیت می‌کند، ۵ گروه مذکور توضیح داده خواهند شد.

گروه A: این حریق از سوختن مواد معمولی قابل احتراق که عموماً جامد و دارای ترکیبات آلی هستند، نشئت می‌گیرد. پارچه، پلاستیک، چوب، کاغذ، پرده و امثال این مواد در گروه A قرار دارند. این مواد پس از سوختن از خود خاکستر به جای می‌گذارند.

جدول ۲- اسامی، درصد مواد فعال و دمای تجزیه برخی ترکیبات تولیدکننده اسید [۲۰].

| نام | درصد مواد فعال | دمای تجزیه (°C) |
|------------------|----------------|-----------------|
| فسفات آمونیم | ۲۶/۹ | ۱۴۷ |
| فسفات دی‌آمونیم | ۳۲/۵ | ۱۴۷ |
| پلی فسفات آمونیم | ۳۲ | ۲۱۵ |
| فسفات ملامین | ۱۴/۲ | ۳۰۰ |
| فسفات اوره | ۱۹/۶ | ۱۳۰ |
| سولفات آمونیم | ۲۴/۲ | - |
| بورات آمونیم | ۱۶/۴ | - |



شکل ۲- واکنش بین پلی فسفات آمونیم، به عنوان تولیدکننده اسید، و پنتاریتریتول، به عنوان تولیدکننده کربن [۲۳].

¹ Xyntra chemical

مقاله

گروه B: این نوع حریق بر اساس سوختن مایعات قابل اشتعال یا جامداتی که به راحتی قابلیت مایع شدن را دارند، به وجود می‌آیند.

گروه C: این دسته شامل آتش‌سوزی ناشی از گازها یا مایعات یا مخلوطی از آنهاست، که بر راحتی قابلیت تبدیل شدن به گاز را دارند (مانند گاز مایع و گاز شهری).

گروه D: این نوع حریق شامل فلزات اکسیدشونده مانند سدیم، منیزیم و مانند آن می‌باشد.

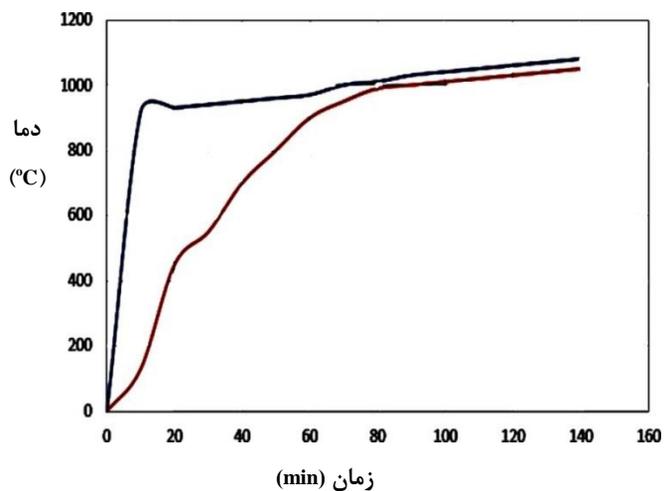
گروه E: این نوع حریق شامل سوختن‌های الکتریکی می‌باشد که معمولاً در دستگاه‌های الکتریکی و الکترونیکی رخ می‌دهد.

۵- نتیجه‌گیری

پوشش‌های تاخیرانداز حریق به دو گروه کلی پوشش‌های معدنی پاششی و رنگ‌های متورم‌شونده تقسیم می‌شوند. در پوشش‌های معدنی پاششی از موادی چون پرلیت، ورمیکولیت و دولومیت به همراه سیمان یا گچ استفاده می‌شود. رنگ‌های متورم‌شونده از سه عنصر اصلی مواد تولیدکننده اسید، مواد تولیدکننده کربن و ماده متورم شونده به همراه رزین مناسب تشکیل می‌شود. مطالعات نشان داده که در بین رزین‌های حلال پایه، اپوکسی و در میان رزین‌های آب‌پایه، پلی‌(وینیل استات) نتیجه بهتری دارد. در صنعت معمولاً از پلی‌فسفات آمونیم به عنوان عامل تولیدکننده اسید، پنتااریتریتول به عنوان عامل تولیدکننده کربن و از ملامین به عنوان عامل متورم‌شونده استفاده می‌شود. همچنین به منظور بهبود خواص مکانیکی و تقویت لایه متورم‌شده در رنگ‌های متورم شونده، از الیاف معدنی، ذرات سرامیکی یا بورات‌های معدنی استفاده می‌شود. تحقیقات نشان داده که استفاده از هیدروکسیدهای فلزی، مانند هیدروکسید آلومینیم در رنگ‌های تاخیرانداز حریق سبب کاهش دمای حریق و بهبود مقاومت در برابر حریق می‌شود.

جدول ۳- فرمول‌بندی ارائه شده توسط شرکت زینترا کمیکال در مورد پوشش‌های تاخیرانداز حریق متورم‌شونده پایه‌آبی [۲۴].

| درصد وزنی | کاربرد | جزء تشکیل دهنده |
|-----------|-------------------|-------------------|
| ۳۰/۸ | حلال | آب |
| ۰/۶ | غلظت‌دهنده | تیلوز H10000 YP |
| ۰/۱ | بافر | Xyndisp 4500 AD |
| ۰/۳ | پخش‌کننده | Xyndisp XA100HP |
| ۰/۲ | گندزدایی | ضدکپک |
| ۰/۲ | ضدکف | Xynburst 9615 |
| ۱۱/۵ | تولیدکننده کربن | پنتااریتریتول |
| ۱۱/۵ | عامل متورم‌شونده | ملامین |
| ۲۱ | تولیدکننده اسید | پلی‌فسفات آمونیم |
| ۴/۶ | رنگدانه سفید | دی‌اکسید تیتانیوم |
| ۱ | حلال ائتلاف‌دهنده | Xyntrol DBE-B |
| ۱ | ترکننده | Xynwet 4000BW |
| ۱۷/۲ | رزین | Xynpol VO5023AF |
| ۱۰۰ | | مجموع |



شکل ۳- نمودار دما- زمان برای حریق‌های سلولزی (نمودار قرمز) و حریق‌های هیدروکربنی (نمودار سیاه) [۲۵].

۶- مراجع

1. W. A. W. Zaharuddin, B. Ariwahjoedi, P. Hussein, "Effect of vermiculite addition on thermal characteristic of water-based acrylic fire retardant coating formulation", J. Appl. Sci. 11, 1763-1769, 2011.
2. N. R. Iwankiw, J. J. Beitel, R. G. Gewain, "Chapter on structural materials for handbook of building materials for fire protection", New York, McGraw-Hill, 2004.
3. S. S. Duquesne, S. S. Magnet, C. Garna, R. Delobel, "Intumescent paint: Fire protective coatings for metallic substrates", Surf. Coat. Technol. 180, 302-307, 2004.
4. S. M. Bourbigot, M. L. Bras, M. Rochery, "Recent advances for intumescent polymers", Macromol. Mater. Eng. 289, 499-511, 2004.
5. C. Chuang, K. Tsai, M. Wang, C. Ou, C. Ko, I. Shiau, "Effect of intumescent formulation for acrylic-based coating for flame-retardancy of painted red lauan thin plywood", Wood. Sci. Technol. 42, 593-607, 2008.
۶. م. خزایی، م. ابراهیمی، ر. مجیدی، "آماده‌سازی سیستم

- بوتیل اکریلات/آلکید توسط پلیمریزاسیون مینی امولسیون هیبریدی"، نشریه علوم و فناوری رنگ، ۵، ۱۰۵-۱۱۰، ۱۳۹۰.
۷. ع. ا. یوسفی، ا. بیگدلی، "سنتز رزین‌های آلکید آب پایه"، نشریه علوم و فناوری رنگ، ۱، ۲۵-۴۰، ۱۳۸۶.
8. L. A., Hollingbery, T. R. Hull, "The fire retardant of huntite and hydromagnesite-A review", *Polym. Degrad. Stabil.* 95, 2213-2225, **2010**.
9. A. R. Horrocks, D. Price, "Fire retardant material", England, Wood head Publishing, **2001**.
10. J. W. Gu, G. C. Zhang, S. L. Donga, Q. Y. Zhang, J. Konga, "Study on preparation and fire-retardant mechanism analysis of flame-retardant intumescent coatings", *Surf. Coat. Technol.* 201, 7835-7841, **2007**.
11. M. Jimenez, S. S. Duquesne, S. M. Bourbigot, "Characterization of the performance of an intumescent fire protective coating", *J. Surface Coating. Technol.* 201, 979- 987, **2006**.
12. M. Jimenez, S. S. Duquesne, S. M. Bourbigot, "Intumescent fire protective coating: Towards a better understanding of their mechanism of action", *Thermochem. Acta.* 449, 16-26, **2006**.
13. E. D. Weil, S. V. Levchik, "Flame Retardants in Commercial Use or Development for Polyolefins", *J. Fire Sci.* 26, 5-43, **2008**.
14. W. E. Horn, "Inorganic Hydroxides and Hydroxycarbonates: Their Function and Use as Flame-Retardant Additives in Fire Retardancy of Polymeric Materials", New York, Marcel Dekker, **2000**.
15. R. N. Rothon, "Effects of Particulate Fillers on Flame Retardant Properties of Composites, in Rothon RN, editor. Particulate Filled Polymer Composites", Shrewsbury, Rapra Technology Ltd, **2003**.
16. J. T. Pimenta, C. Goncalves, L. Hiliou, J. F. J. Coelho, F. D., Magalhaes, "Effect of binder on performance of intumescent coatings", *J. Coat. Technol. Res.* 13, 227-238, **2015**.
17. American Society for Testing and Materials, "ASTM C516", Standard Specification for Vermiculite Loose Fill Thermal Insulation, **1996**.
18. K. Keyhan, A. A. Hamidi, "Investigation, preparation and thermal performance study of fire proofing of steel structures by Vermiculite compounds", *Journal of Faculty of Engineering*, 42, 999-1005, **2009**.
19. Y. Xue, S. Zhang, W. Yang, "Influence of expanded vermiculite on fire protection of intumescent fireproof coatings for steel structures", *J. Coat. Technol. Res.* 12, 357-364, 2015.
۲۰. غ. قره‌ویسکی، "شناخت رنگ"، موسسه انتشارات بعثت، تهران، جلد پنجم و ششم، ۱۳، ۱۳۷۰.
21. S. Duquesne, S. Magnet, C. Jarna, R. Delobel, "Intumescent paints: Fire protective coatings for metallic substrates", *Surf. Coat. Technol.* 180, 302-307, **2004**.
22. A. A. Basfar, H. J. Bae, "Influence of Magnesium Hydroxide and Huntite Hydromagnesite on Mechanical Properties of Ethylene Vinyl Acetate Compounds Cross-linked by DiCumyl Peroxide and Ionizing Radiation", *J. Fire Sci.* 28, 161-180, **2010**.
23. B. Pani, S. Sirohi, D. Singh, "Studies on the Effects of Various Flame Retardants on Polypropylene", *American J. Polym. Sci.* 3, 63-69, **2013**.
24. S. A. Resiquimica, "Intumescent Paints: Formulation, function and fire protection", <http://www.xynta.com/en/products/downloads>, 2009.
25. J. Dowling, "Standard fire test", http://www.Steelconstruction.info/File:Standard_fire_test.png, 13 Jun, **2012**.