نانو و صنعت

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۲۵۸ صنعت اسباب بازی

کاربردهای فناوری نانو در ایجاد خواص آنتی استاتیک اسباب بازی‌ها

INDnano.ir
ستاد ویژه توسعه فناوری نانو • www.nano.ir

شناسنامه

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهرویژن

سال انتشار: ۱۴۰۱

نظارت: داود قرایلو

تلفن: ۰۲۱-۶۳۱۰۰

پست الکترونیک: IND@nano.ir

نمابر: ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰

صندوق پستی: ۳۴۴-۱۴۵۶۵

پایگاه اینترنتی: www.nano.ir
www.INDnano.ir

تهیه‌کننده: سیده سمانه قاسمی، شرکت توسعه مهندسی الماسواره دانش

اینستاگرام نانو و صنعت: @INDnano.ir

فهرست مطالب

مقدمه ۳

معرفی مستربچ‌ها و مواد افزودنی آنتی‌استاتیک ۴

کاربرد مستربچ آنتی‌استاتیک ۴

شرکت‌های ایرانی ۷

شرکت‌های خارجی ۸

نتیجه‌گیری ۸

مقدمه

اغلب مواد پلاستیکی به عنوان عایق الکتریکی عمل می‌کنند و باعث ایجاد بار ساکن می‌شوند. الکتریسیته ساکن توسط جداسازی بار ناشی از حرکت یک ماده بر روی ماده دیگر ایجاد می‌شود. این موضوع می‌تواند منجر به مشکلاتی شود از جمله:

- جذب گردوغبار که بر ظاهر و عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد؛
- خطر تخلیه الکترواستاتیکی که می‌تواند به تجهیزات الکترونیکی حساس آسیب برساند؛
- خطر تخلیه الکتریکی که باعث ایجاد شوک به افراد و حتی آتش‌سوزی و انفجار می‌شود [۱].

در این گزارش ما درباره اسباب‌بازی‌های پلاستیکی کودکان بحث خواهیم کرد. یک ویژگی مهم اسباب‌بازی‌های کودکان، عدم ایجاد الکتریسته ساکن است. شاید برای اکثر کودکان، الکتریسیته ساکنی که هنگام پایین رفتن از سرسره‌های زمین‌بازی ایجاد می‌شود چیزی جز سیخ شدن موهایشان نباشد، اما برای هزاران کودک کم‌شنوا یا ناشنوایی که کاشت حلزون گوش انجام داده‌اند، این الکتریسیته ساکن می‌تواند دستگاه کاشت حلزون آن‌ها را در یک لحظه خاموش کند و کارایی آن را از بین ببرد.

گروهی از محققان دانشگاه میسوری به دنبال یافتن راه‌حلی برای معمای کاشت حلزون، میزان الکتریسیته ساکن روی سرسره‌های پلاستیکی زمین‌بازی را مطالعه کردند تا بتوانند به کودکانی که کاشت حلزون دارند و می‌خواهند از سرسره لذت ببرند، کمک کنند [۲].

حدوداً ۱۵۰۰۰ کودک آمریکایی کاشت حلزون دارند که صدا را به پالس‌های الکتریکی تبدیل می‌کند تا مغز بتواند این پالس‌ها را تشخیص دهد. یکی از اولین کودکانی که کاشت حلزون انجام داد، با کشیدن یک پلیور روی سرش حافظه آن را پاک کرد و مجبور شد دستگاه را تعویض کند. نسل‌های جدید ایمپلنت‌های کاشت حلزون نسبت به الکتریسیته ساکن کمتر حساس هستند و معمولاً پس از جایگذاری نیازی به کاشت مجدد ندارند؛ اما سرسره‌های زمین‌بازی و سایر منابع استاتیک سنگین (مانند بالن) هنوز هم می‌توانند ایمپلنت را از بین ببرند و الزام به نصب برنامه مجدد داشته باشند که هزینه آن تا ۱۰۰۰ دلار است و همچنین کودک باید ساعت‌ها یا روزها بدون اینکه بشنود، بگذراند [۲].

محققان دانشگاه میسوری، مطالعه‌ای را درباره میزان الکتریسیته ساکن در هنگام پایین رفتن کودک از سرسره شروع کردند. سرسره‌های پلاستیکی مولد قوی الکتریسیته ساکن هستند زیرا قسمت‌های بزرگ بدن در تماس با سطح آن قرار می‌گیرد و باعث می‌شود که الکترون‌ها آزاد شوند و به بچه‌ها بچسبند. حال چه باید کرد؟ یک ایده استفاده از لباس‌های آنتی‌استاتیک است. این لباس‌ها با استفاده از پارچه‌های حاوی نانوذرات رسانا با خواص آنتی‌استاتیکی دوخته می‌شوند. ایده دیگر این است که سطح سرسره‌ها با مواد ضدالکتریسیته ساکن پوشانیده شود.

با این حال، در حال حاضر، کودکان دارای کاشت حلزون باید از سرسره‌های پلاستیکی زمین‌بازی دوری کنند (سرسره‌های فلزی خطر بزرگی ایجاد نمی‌کنند اما در تابستان بسیار داغ و گرم و در زمستان بسیار سرد می‌شوند). مک گینیس، مربی معلمان کودکان کم‌شنوا، گفت که دوری از سرسره‌ها برای یک کودک بسیار سخت است اما احتمالاً برای والدین سخت‌تر است. همه والدینی که من می‌شناسم می‌خواهند بچه‌هایشان شبیه همه بچه‌های

دیگر به نظر برسند. یکی از مهم‌ترین وظایف علم ایجاد برابری و شرایط یکسان برای تمام قشرهای جامعه است [۲].

شکل ۱- تأثیر الکتریسته ساکن ناشی از حرکت بر روی سرسره روی موهای کودک

معرفی مستربچ‌ها و مواد افزودنی آنتی‌استاتیک

افزودنی‌های ضدالکتریسیته ساکن موادی هستند که تجمع الکتریسیته ساکن در مواد پلاستیکی را به حداقل می‌رسانند. در فرآیند تولید پلاستیک از مواد آنتی‌استاتیک (مستربچ آنتی‌استاتیک یا نانوذرات رسانا) استفاده می‌شود تا از ایجاد الکتریسته ساکن جلوگیری شود. این مواد از طریق پایین آوردن مقاومت موجود در سطح یا کل ماده و همچنین بالا بردن هدایت‌پذیری، از ایجاد بار الکتریکی ساکن در موادی از قبیل پلیمرها جلوگیری به عمل می‌آورند. عاملی که اثربخشی آنتی‌استاتیک‌ها را بالا می‌برد عامل رطوبت است. رطوبت و ذرات آب سبب شکل‌گیری یک لایه هادی بار الکتریکی بر روی ماده موردنظر می‌شوند. آنتی‌استاتیک‌ها با خاصیت ضدالکتریسیته خود، وارد میدان می‌شوند و با استفاده از رسانایی خود یا دریافت رطوبت از هوا ماده را کمی رسانا می‌کنند [۳].

این مواد نوعی از ماده ضدالکتریسیته ساکن است که برای خنثی کردن بارهای روی سطح پلیمر استفاده می‌شود. با استفاده از افزودنی‌های ضدالکتریسیته ساکن مشکلات ناشی از شارژ الکتریسیته ساکن مثل گردوغبار، آسیب به تجهیزات و... کاهش یافته و یا برطرف می‌شود.

کاربرد مستربچ آنتی‌استاتیک

مستربچ آنتی‌استاتیک، یک نوع بار الکتریکی ایجاد می‌کند که با اصطکاک قابل توجهی بر روی سطح حرکت می‌کند تا اثر الکتریسیته ساکن را به وسیله ارتباط با رطوبت هوا از بین ببرد. سطح ماده با سطح هیدروفیل در کنش هستند، از طرف دیگر رطوبت هوا نیز با هم فرآیندی را انجام می‌دهند که در نتیجه آن مولکول‌های آب به هم متصل می‌شوند. این مواد دارای دو بخش آب‌دوست و آب‌گریز هستند که قسمت آب‌دوست آن با رطوبت هوا واکنش می‌دهد و مولکول‌های آب را به هم متصل می‌کند؛ در حالی که قسمت آب‌گریز آن با سطح ماده برهم‌کنش دارند.

بر اساس این توضیح از نحوه عملکرد آنتی‌استاتیک‌ها، از برخی مرطوب‌کننده‌ها هم به عنوان ماده آنتی‌استاتیکی

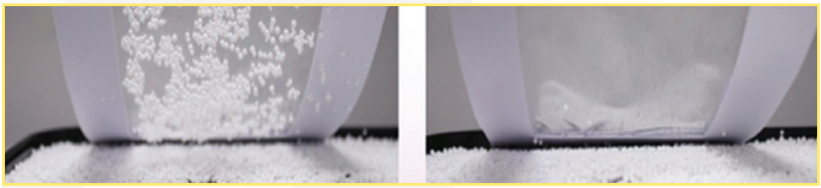
استفاده می‌شود. مواد آنتی‌استاتیک می‌توانند خارجی و داخلی باشند. با اجزای خارجی ضداستاتیکی، ماده موردنظر به وسیله اسپری کردن یا از طریق غوطه‌وری پوشانده می‌شود؛ در حالی که اجزای داخلی ضداستاتیک در درون ساختمان ماده قرار می‌گیرند و سپس به سطح منتقل می‌شوند.

آنتی‌استاتیک‌ها اغلب می‌توانند نیازهای کوتاه‌مدت را مرتفع نمایند و از آنجایی که صنایع برای جلوگیری از ایجاد مشکلات کیفیتی یا ایجاد جرقه و آتش‌سوزی به مصونیت بلندمدت نیاز دارند، از افزودنی‌های رسانا مانند کربن سیاه، الیاف رسانا و نانومواد به عنوان عوامل ضدالکتریسیته دائمی استفاده می‌شود [۴].

بسیاری از محصولات پلاستیکی برای تحقق هدف خود یا کاربرپسند شدن باید دارای خواص آنتی‌استاتیک باشند. این امر در طول فرآیند تولید، با مخلوط کردن مواد افزودنی آنتی‌استاتیک در پلیمر خام، برای ایجاد یک پلیمر آنتی‌استاتیک به دست می‌آید. مستربچ آنتی‌استاتیک را می‌توان بر روی سطح خارجی محصول نیز به عنوان پوشش سطح استفاده کرد.

اجسام پلاستیکی که بار الکتریکی دارند، ذرات شناور در محیط مانند گردوغبار را جذب می‌کنند و به همین علت است که اجسام اضافه شده به این بار به آن‌ها جذب می‌شوند. گردوغبار همیشگی روی صفحه تلویزیون نتیجه وجود همین عامل است. مستربچ آنتی‌استاتیک این مشکلات در صنعت را حل کرده و مواد را از عوامل ریز خارجی تصفیه می‌کنند [۴]. این مواد با توجه به نوع نیاز صنایع بین ۱ تا ۱۸ درصد ماده اولیه، مصرف دارند و در دو دسته مهاجرتی و غیرمهاجرتی عرضه می‌شوند تا بتوانند پایه شارژ استاتیکی را حمایت کنند. بدین وسیله مستربچ‌ها می‌توانند یکی از مسائل بزرگ در فرآیند پردازش و بسته‌بندی اجزای الکترونیکی را هموار کنند.

آنتی‌استاتیک‌ها به دلیل افزایش هدایت‌پذیری و کاهش مقاومت توده‌ای یا سطحی، از تولید بار الکتریکی ساکن در سطح پلاستیک‌ها جلوگیری می‌کنند. در شکل ۲ مشاهده می‌شود که فیلم‌های پلی‌اتیلنی که در آن‌ها از مستربچ آنتی‌استاتیک استفاده شده است دانه‌های پلی‌استایرن را جذب نمی‌کنند ولی فیلم‌های پلی‌اتیلن بدون مستربچ آنتی‌استاتیک دانه‌های پلی‌استایرن را جذب می‌کنند [۳].



شکل ۲- فیلم‌های پلی‌اتیلنی: سمت راست با مستربچ آنتی‌استاتیک و سمت چپ بدون مستربچ آنتی‌استاتیک

استفاده از نانوذرات رسانا معمولاً برای افزایش رسانایی و کاهش ایجاد بار الکتریکی مرسوم است. از نانوذرات رسانایی که به عنوان آنتی‌استاتیک‌ها استفاده می‌شود می‌توان به نانوذرات مس، نانولوله کربن، نانوذرات اکسید روی اشاره کرد.

تقسیم‌بندی آنتی‌استاتیک‌ها بستگی به عوامل مختلفی دارد، به عنوان مثال برخی آنتی‌استاتیک‌ها به روش داخلی[1] مصرف می‌شوند یعنی به عنوان یک افزودنی، در مرحله اختلاط مواد در اکسترودر اضافه می‌شوند و اثر طولانی‌تری دارند و برخی دیگر ابتدا در یک حلال مناسب حل شده و سپس با پاشش بر روی سطح یک پوشش

ایجاد می‌کند یا قطعه را در محلول غوطه‌ور می‌کنند که این بستگی به نوع محصول و فرایند تولید دارد.
در تقسیم‌بندی دیگری آنتی‌استاتیک‌ها را به دو دسته دارای اثرگذاری بلندمدت[۲] و کوتاه‌مدت[۳] تقسیم می‌کنند. دسته اول در مواردی استفاده می‌شوند که مقابله با بار الکتریکی به هنگام انبار کردن محصول یا در استفاده نهایی مشتری نیاز باشد و دسته دوم زمانی استفاده می‌شود که محافظت در برابر بار الکتریکی بلافاصله پس از فرایند اکستروژن، هنگام جمع‌آوری محصول نیاز باشد. در اکثر موارد ترکیب این دو را که دارای اثر هم‌افزایی است به کار می‌برند. در جدول ۱ به برخی نانوساختارهای مورد استفاده به منظور تکمیل آنتی‌استاتیک منسوجات اشاره شده است.

جدول ۱- برخی از ذرات مورد استفاده به عنوان آنتی‌استاتیک

مواد نانوساختار	منسوج	روش تولید	روش اتصال به منسوج
مس	پلی‌پروپیلن/ پلی‌آمید	رسوب‌نشانی بخار فیزیکی (PVD)، پوشش‌دهی کندوپاش	ایجاد لایه همگن از مس به ضخامت چندین نانومتر
کربن بلک	پلی‌یورتان	الکتروریسی دیسپرسیون پلی‌یورتان حاوی کربن بلک	نانوالیاف پلی‌یورتان حاوی نانوذرات کربن بلک
نانولوله کربن	پلی‌پروپیلن	پوشش‌دهی به وسیله دیسپرسیون پلی‌آنیلین/ نانولوله کربن	ایجاد ماتریس کامپوزیتی از پلی‌آنیلین حاوی نانولوله کربن بر الیاف پلی‌پروپیلن
پلی‌پیرول	ویسکوز، پشم	پلیمریزاسیون محلول با بخار پلی‌پیرول بر منسوج	لایه همگن از پلی‌پیرول بر پارچه
پلی‌آنیلین	پلی‌استر	پلیمریزاسیون محلول	لایه پلی‌آنیلین بر الیاف پلی‌استر
نانوذرات اکسیدروی	پلی‌استر	پوشش‌دهی محلول آبی نانوذرات اکسیدروی	اصلاح سطح غیرهمگن با استفاده از نانوذرات

به عنوان مثال در منسوجات متشکل از الیاف مصنوعی که در عروسک‌ها هم مورد استفاده قرار می‌گیرند، همچون پلی‌اتیلن یا پلی‌پروپیلن از رسانش الکتریکی اندکی برخوردارند به منظور افزایش این ویژگی از ذرات فلزی نانومتری یا پلیمرهای رسانا (همچون پلی‌پیرول، پلی‌آنیلین، پلی‌تیوفن) و همچنین نانوذرات کربن (نانولوله‌های کربنی، کربن بلک) در مخلوط پلیمر سازنده الیاف استفاده می‌شود. رویکرد دیگر برای افزایش میزان رسانش الکتریکی منسوجات، استفاده از نانوذرات فلزی به عنوان ماده تکمیل‌کننده سطح است. به این منظور محققان از نانوذرات مس به منظور پوشش‌دهی سطح الیاف پلی‌پروپیلن، پلی‌آمید استفاده کرده‌اند.

افزودنی‌های آنتی‌استاتیک وقتی به پوشش‌ها یا فیلم‌ها افزوده شوند اندکی آن را رسانا می‌کنند یا باعث جذب کمتر گردوخاک می‌شوند. مواد آنتی‌استاتیک مرسوم مورد استفاده برای افزایش هدایت مواد پلیمری و فراهم کردن راهی برای پخش بارهای ساکن عبارت‌اند از [۵]:

- مواد فعال سطحی آبگیر مانند آمین‌های چرب نوع سوم و نمک‌های آمونیوم نوع چهارم، سلفون‌های الکنی و سولفامیدها که بر روی سطح با جذب لایه‌ای از رطوبت باعث ایجاد یک فیلم رسانا می‌شوند. این مواد فعال سطحی آنتی‌استاتیک وابسته به رطوبت هستند و بر روی سطح پلیمری جوانه زده تا مراکز جذب آب از اتمسفر را فراهم نمایند. از این مواد می‌توان مونو استئارات گلیسرول، فسفات استئاریل، دودسیل بنزن و سولفامید را نام برد.
- رنگدانه‌های رسانا، پودرهای فلزی و سایر افزودنی‌ها که بار الکتریکی را با توجه به مقدار بارگذاری‌شان در پلیمر پخش می‌کنند. کربن سیاه، فیبر گرافیتی، پودرهای فلزی، پودرهای تیتانات باریم، پرزهای تیتانات پتاسیم، سیلیکات‌های دوپه شده با فلز و اکسید تیتانیم که مسیر با مقاومت پایین را برای پخش بارهای الکتریکی ساکن فراهم کرده و محافظت آنتی‌استاتیک دائمی را به وجود می‌آورند.
- متالوسن‌ها که انرژی انتقال کمتری را برای الکترون‌ها بین لایه‌های اتمی کناری فراهم می‌کند. مثال ابتدایی این مواد بیس (متیل) سیکلوپنتا دی‌انیل‌کبالت است.
- سری جدیدی از عوامل آنتی‌استاتیک بر اساس مخلوط نئوآلکوکسی تیتانات و زیرکونات‌ها و متعاقباً تری نئوآلکوکسی زیرکونات‌ها که می‌توانند به مقدار کم در حین فرآیند ترکیب کردن اضافه شوند.

نقش یک عامل آنتی‌استاتیک افزایش هدایت الکتریکی در سطح مواد برای رسانا کردن سطح و یا جذب رطوبت هواست. مواد آنتی‌استاتیک معمول بر پایه آمین و آمیدهای آلیفاتیک با زنجیره طویل، نمک‌های آمونیوم چهارتایی و استرها هستند. مواد آنتی‌استاتیک سنتی شامل آلکیل فنول‌های زنجیره طویل، آمین‌های اتوکسی و استرهای گلیکولی مانند مونو استرگلیکول بودند. عامل‌های انتقالی آنتی‌استاتیک برای کاربردهای حفاظتی کوتاه‌مدت و قیمت پایین پیشنهاد می‌شوند ولی برای سایر کاربردهایی که نیاز به محافظت طولانی‌مدت دارند، مواد آنتی‌استاتیک دائمی یا افزودنی‌های هادی مانند کربن سیاه، فیبرهای رسانا و مواد نانو استفاده می‌شود [۵].

شرکت‌های ایرانی

یکی از شرکت‌های ایرانی تولیدکننده نانوذرات رسانا شرکت مهندسی آرمینا تولیدکننده جوهر رسانا است. جوهرهای رسانا معمولاً متشکل از توزیعی از نانوذرات فلزی در بستری از حلال هستند. نانوذرات فلزی عمدتاً از جنس مس، طلا و نقره هستند. در بین این فلزات، مس از همه ارزان‌تر است اما به راحتی اکسید می‌شود و در نتیجه هدایت الکتریکی آن کاهش می‌یابد. نانوذرات طلا، پایداری حرارتی و هدایت الکتریکی بالایی دارند اما جهت تولید عمده بسیار گران‌قیمت است. بیشتر نانوذرات رسانا بر اساس نانوذرات نقره به علت هدایت الکتریکی عالی و مقاومت به خوردگی خوب آن‌ها هستند [۶]. این محصول دارای چسبندگی عالی به پلی ایمید، پلی‌استر، شیشه و سایر سطوح هموار با انرژی بالا است.

از دیگر شرکت‌های ایرانی تولیدکننده مستربچ‌های آنتی‌استاتیک، شرکت اکسون پلیمر و شرکت آریا پلیمر پیشگام

هستند که این افزودنی‌های آنتی‌استاتیک در محصولات PE، PP، فیلم‌های نازک، فیلم‌های معمولی و ضخیم، فیلم‌های کشاورزی، گونی و کارتن پلاست، پلی‌الفین‌ها، برای قطعات تزریقی و بادی پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن و برای قطعات تزریقی پلی‌استایرن که در ساخت اسباب‌بازی‌ها استفاده می‌شوند، کاربرد دارند [۳ و ۴].

یکی دیگر از شرکت‌های با سابقه ایرانی تولیدکننده مستربچ آنتی‌استاتیک، شرکت کربی پلیمر است که با افزودن پرکننده‌های رسانا مانند کربن سیاه، مسیر رسانایی را در ماتریس فیلم‌های پلیمری مانند پلی‌اتیلن‌ها، پلی‌پروپیلن‌ها و پلی‌اتیلن ترفتالات‌ها و یا در منسوجات پلیمری بر پایه پلی‌استر ایجاد می‌کنند که این خواص آنتی‌استاتیک ایجاد شده در طول زمان پایدار هستند [۷].

شرکت‌های خارجی

شرکت BASF برای اولین بار یک گرانول پلی‌یورتان گرمانرم ضدالکتریسیته ساکن (TPU) را توسعه داده است. تاکنون با نام تجاری Elastostat® در مجموعه TPU در دسترس است. Elastostat به عنوان یک مستربچ، یعنی به عنوان یک مخلوط آماده برای استفاده در دسترس است. این ماده بخشی از طیف محصولات Elastollan® است که ثمره تخصص بیش از ۳۰ سال شرکت BASF در زمینه پلی‌یورتان است [۸].

نتیجه‌گیری

ایجاد الکتریسیته ساکن علاوه بر خطرات آتش‌سوزی و مشکلات دیگر باعث آزار افراد مخصوصاً کودکان در هنگام استفاده از اسباب‌بازی‌های پلیمری و پلاستیکی می‌شود. در این زمینه فناوری نانو به کمک صنعت پلاستیک آمده است تا با استفاده از نانوذرات رسانا و مستربچ‌های آنتی‌استاتیک باعث کاهش الکتریسیته ساکن شود. از نانوذرات مرسوم برای استفاده به عنوان آنتی‌استاتیک می‌توان به نانوذرات مس، نانولوله کربن، نانوذرات اکسیدروی اشاره کرد که باعث افزایش رسانایی و کاهش ایجاد بار الکتریکی مرسوم است.

پی‌نوشت‌ها

۱ Internal
۲ Long term
۳ Short term

مراجع

۱ Antistatic and ESD Additives for Plastic, https://www.primexplastics.com/anti-static

۲ Slides: A Playground Menace, https://www.wired.com/2006/06/slides-a-playground-menace

۳ آشنایی با آنتی‌استاتیک‌ها
https://ariapolymer.ir

۴ شرکت اکسون پلیمر، آشنایی با آنتی‌استاتیک‌ها
https://axonpolymer.com/antistatic

۵ کاربرد فناوری نانو در رنگ‌های آنتی‌استاتیک
https://indnano.ir

۶ آرمینک (ARMINK) جوهر رسانا، بر پایه نانوذرات نقره
http://armina-eng.com/armink

۷ کربی پلیمر
https://corbipolymer.com

۸ New antistatic additive for the plastics industry, https://www.basf.com/ru/ru/media/news-releases/2013/07/p-13-312.html