



:	سرشناسه
:	عنوان و پدیدار آور
:	مشخصات نشر
:	مشخصات ظاهری
:	شابک
:	وضعیت فهرست‌نویسی
:	موضوع
:	موضوع
:	شناسه افزوده
:	رده بندی کنگره
:	رده بندی دیویی
:	شماره کتابخانه ملی

چشم اندازی جدید در صنعت پوشش

جواد صفری

(عضو هیأت علمی دانشگاه کاشان)

مهندس مرضیه قطبی نژاد



تهران ۱۳۸۷



چشم اندازی جدید
در صنعت پوشش

جواد صفری
مراضیه قطبی نژاد

صفحه آرایی: مصوومه شجاعی
ویراستار: مهندس زهره زرنگار
ناظر چاپ: محمدعلی حیدری
چاپ و صحافی: الهادی
شمارگان: ۱۰۰۰ انسخه
چاپ اول: ۱۳۸۷
قیمت: ۱۵۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۹۰۹-۳۲-۲

© حقوق چاپ و نشر محفوظ است

نشر دعوت: تهران ۸۸۳۳۴۰۹۴ کاشان ۰۹۱۳۲۷۶۳۶۶۸
www.davatpub.com Email: info@davatpub.com

فهرست

۱۰	پیش‌گفتار
۱۱	مقدمه
فصل اول: پوشش‌های پودری	
۱۵	پوشش‌های پودری
۱۷	آزمون‌های ویژه‌ی پوشش‌های پودری
۱۷	ویژگی‌های عمومی پودرهای پوششی
۱۷	نمونه‌برداری
۱۹	اندازه‌ی ذرات و توزیع آن
۲۲	چگالی یا وزن مخصوص
۲۳	ثبات انبارداری
۲۵	بررسی توزیع اندازه‌ی ذره
۲۵	واکنش‌پذیری (زمان ژل شدن)
۲۶	دمای ذوب
۲۶	جريان‌پذیری پودر
۲۷	قابلیت ریزش پودر
۲۷	سیال شدن
۲۹	سیال شدن مذاب
۳۰	سخت‌کننده‌ها در رزین‌های پودری گرماسخت
۳۱	انواع پوشش‌های پودری
۳۱	مزایای استفاده از پوشش‌های پودری
۳۳	مزایای اقتصادی پوشش‌های پودری
۳۴	معایب رنگ‌های پودری
۳۵	بازار مصرف رنگ‌های پودری

۶ چشم‌انداری جدید در صنعت پوشش

۳۷	فرآیند تولید پوشش‌های پودری
۳۷	روش‌های متداول
۴۰	فرآیند VAMP
۴۲	رزین‌های مصرفی در پوشش‌های گرمابم
۴۲	رزین‌های مورد مصرف در پوشش‌های پودری
۴۳	وزن مولکولی
۴۳	گروه‌های عاملی
۴۳	دماهی انتقال شیشه‌ای
۴۴	گرانزوی
فصل دوم: پوشش‌های قابل پخت با اشعه‌ی فرابنفش	
۴۹	پوشش‌های قابل پخت با اشعه‌ی فرابنفش
۵۰	مزایا و محدودیت‌ها
۵۱	ترکیبات
۵۲	سامانه‌هایی بر پایه اکریلات‌ها
۵۳	الیگومرها
۵۴	مونومرها
۵۵	- گروه عاملی
۵۵	- نوع اسکلت شیمیایی مونومرها
۵۶	- ساختار شیمیایی
۵۶	- جرم مولکولی
۵۶	افزودنی‌ها و پرکننده‌ها
۵۶	آغازگرهای نوری
۵۷	ساختار بعضی از آغازگرهای نوری
۵۷	مزایای پوشش‌های سخت‌شونده
فصل سوم: پوشش‌های پرجامد	
۶۵	انواع پوشش‌های پرجامد
۶۵	گزینش پوشش‌های پرجامد

۶۵	- نوع روغن
۶۶	- وزن مولکولی
۶۷	- توزیع وزن مولکولی
۶۷	- اثر شاخه
۶۸	- گروههای عاملی
۶۸	- حلال
۶۹	- رقیق کننده واکنش گرا
۶۹	- ترکیب‌های خشک کننده

فصل چهارم: پوشش‌های بر پایه‌ی آب

۷۳	انواع پوشش‌های بر پایه‌ی آب
۷۳	- پوشش‌های رقیق شونده با آب
۷۳	- پوشش‌های بر پایه‌ی لاتکس
۷۴	- پوшش‌های امولسیونی
۷۴	مزایا و معایب
۷۵	ساختار برخی رزین‌های بر پایه‌ی آب
۷۶	پوشش‌های ضد خزه
۷۷	ویژگی‌های پوشش‌های ضد خزه
۷۷	- سرعت شسته شدن
۷۹	- ترکیبات
۷۹	- رنگدانه‌ها
۷۹	- محمل‌ها
۸۰	- افزودنی‌ها
۸۰	روش‌های آزمون استاندارد
۸۲	پوشش‌های ضد میکروب برای مواد غذایی و دارویی
۸۲	انواع پوشش‌های ضد میکروب باکتری کش
۸۲	- باکتری کش‌های مقاوم به چسبندگی
۸۳	- پوشش‌هایی که توکسین آزاد می‌کنند

۸ چشم‌اندازی جدید در صنعت پوشش

۸۳	- پوشش‌های ضدباقتری تماسی
۸۳	پوشش‌های ضدحریق
۸۴	انواع پوشش‌های مقاوم آتش
۸۵	- پوشش‌های متورم‌شونده
۸۵	- پوشش‌های سیمانی
۸۵	- پوشش‌های گچی
۸۵	مزایای رنگ‌های ضدحریق
۸۶	رزین‌های مصرفی در صنایع پوشش
	فصل پنجم: نانوپوشش‌ها
۸۹	نانوپوشش‌ها
۸۹	نانوذرات در صنعت پوشش
۹۰	بهبود ویژگی‌های پوشش با وارد کردن نانوذرات
۹۱	نانوذرات در صنایع پوشش
۹۲	روکش‌های بلوری با ساختار نانو
۹۲	لایه‌های نازک
۹۳	تولید نانوپوشش‌ها
۹۳	- چیده‌مان اتم‌ها
۹۴	- روش پاشش‌دهی
۹۵	- روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار
۹۶	- روش سل-ژل
۹۷	- روش نیتراسیون
۹۷	کاربرد نانوپوشش‌ها
۹۹	فرآورده‌های حاصل از نانوپوشش‌ها
۹۹	- نانوشیشه و سرامیک
۱۰۱	- نانوچوب
۱۰۲	- دیودهای نورگسیل آلی
۱۰۳	- پوشش‌های ضدسایش

چشم‌اندازی جدید در صنعت پوشش ۹

۱۰۴	- نانوسنگ و بتون
۱۰۶	- نانوپارچه
۱۰۷	فن آوری نانوپوشش در صنعت خودرو
۱۰۸	برنده‌ی جایزه نوبل شیمی
۱۰۹	نتیجه‌گیری
۱۱۱	منابع

پیش‌گفتار

فن‌آوری نانو یک میدان چند بعدی است که زمینه‌های وسیع و متنوعی از ابزارها را در حوزه‌ی مهندسی، زیست‌شناسی، فیزیک و شیمی پوشش می‌دهد. در مورد پوشش‌دهی ابزار‌آلات که برای بهبود خواص آن‌ها انجام می‌شود، در فن‌آوری نانو پژوهش‌های فراوانی انجام شده است که تعداد زیادی از این تحقیقات آزمایشگاهی، به پیشرفت‌های صنعتی و روش‌های عملی تبدیل شده است.

در این کتاب به معرفی انواع پوشش‌ها پرداخته شده و ویژگی‌ها و کاربرد آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. سپس به تأثیر فن‌آوری نانو در صنایع پوشش پرداخته شده است.

در پایان شایسته است از همه‌ی عزیزانی که در تهیه‌ی این اثر تلاش نموده‌اند، سپاس‌گزاری کنم. هم‌چنین از معاونت پژوهشی و فن‌آوری دانشگاه کاشان نیز که در چاب این کتاب صمیمانه همکاری کردند، تشکر ویژه می‌نمایم.

جواد صفری

عضو هیأت علمی دانشگاه کاشان

مقدمه

با ورود به قرن بیست و یکم و به دنبال پیشرفت‌های دانش بشری، صنعت رنگ و پوشنش نیز توسعه‌ی فراوانی پیدا کرده است. هم‌گام با پیشرفت این صنایع، به حداقل رساندن آلودگی ناشی از این پوشنش‌ها و کاهش درصد مواد آلی فرّار در آن‌ها، دارای اهمیت می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، پوشنش‌های دوستدار محیط زیست معرفی شده‌اند که به چهار گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

۱. پوشنش‌های پودری
۲. پوشنش‌های قابل پخت با اشعه‌ی فرابنفش
۳. پوشنش‌های پرجامد
۴. پوشنش‌های بر پایه‌ی آب

مطالعه درباره‌ی پوشنش‌های بر پایه‌ی آب از دهه‌ی ۱۹۵۰ آغاز شد و امروزه باگذشت بیش از پنج دهه، کاربردهای متنوعی پیدا کرده‌اند. با توجه به مشکلات زیست‌محیطی ناشی از رها شدن مواد آلی فرّار به داخل اتمسفر، در اواسط دهه‌ی شصت میلادی، پوشنش‌هایی با ۶۰ تا ۸۰ درصد وزنی تحت عنوان پوشنش‌های پرجامد به بازار عرضه شدند. از اوایل دهه‌ی هفتاد میلادی، فناوری سخت شدن با تابش مورد توجه قرار گرفت و از همان زمان رشد بی‌وقفه در زمینه‌ی پوشنش‌ها و مرکب‌های چاپ آغاز شد. پوشنش‌های پودری، تمام اجزای پوشنش‌های محلول در حلول را دارا هستند. ولی همان‌طور که از نام آن‌ها پیداست، قادر حلول می‌باشند. این پوشنش‌ها از سال ۱۹۶۲ میلادی، به بازار عرضه شدند و تحول وسیعی در عرصه‌ی ساخت پوشنش‌ها ایجاد کردند. برخی ویژگی‌های پوشنش‌ها، نظیر

مقاومت در برابر خراش و پایداری در برابر اشعهٔ فرابنفش را می‌توان با پرکننده‌های معدنی نانو، تا اندازه‌ای بهبود بخشد. پوشش‌های رایج دارند، چسبندگی بسیار خوب و ایجاد خواص سطحی بسیار ویژه، از این جمله‌اند. نانوپوشش‌ها را روی سطوحی مانند: فلزات، شیشه و سرامیک با ضخامت‌های چند میکرونی نشانده، به آن‌ها ویژگی‌هایی نظیر مقاومت در برابر خوردگی مکانیکی (سایش)، شیمیایی (زنگزدگی)، مقاومت حرارتی، درخشندگی و خودتمیزشوندگی داده‌اند.

فصل اول

پوشش‌های پودری

۱- پوشش‌های پودری

پوشش‌های پودری گرماسخت، اولین بار در اوایل دهه‌ی پنجم میلادی در ایالات متحده‌ی آمریکا مورد استفاده قرار گرفتند. این پودرها عبارت بودند از: پودر رزین اپوکسی، رنگدانه و چند ماده‌ی افزودنی دیگر که در مخلوط‌کن‌هایی با تیغه‌ای به شکل Z و یا آسیاب گلوله‌ای، مخلوط و همگن می‌شدند.

در سال ۱۹۶۱ میلادی، یک شرکت آلمانی، در یک فرآیند پیوسته‌ی حرارتی، از اکسترودر در تهیه‌ی خمیر رنگ پودری استفاده کرد. این روش، با درنظر گرفتن سرعت کند واکنش رزین‌های موجود در آن زمان، پیشرفت بزرگی در جهت افزایش سرعت و حجم تولید پوشش‌های پودری بهشمار می‌رفت.

در آن زمان روش کاربردی رنگ‌های پودری، تنها با روش بستر سیال بود؛ در این روش، قطعه‌ی موردنظر ابتدا تا دمای مشخصی داغ می‌شد، سپس داخل حمامی از پودرهای معلق در هوا فرو برده می‌شد و در نتیجه پوشش ضخیمی (حدود ۲۰۰ میکرون) از پودر بر روی سطح می‌نشست. این روش بسیار گران بود و کاربرد آن به موارد ویژه‌ای مانند عایق‌کاری و یا ایجاد پایداری در برابر خوردگی محدود می‌شد.

در طی همان سال، روش الکترواستاتیک برای رنگ‌آمیزی با رنگ‌های پودری توسط شرکت شل^۱ در انگلستان ابداع گردید و از سال ۱۹۶۲ میلادی، همزمان با شروع استفاده از این روش، در طی ۱۰ سال، رشد بسیار زیادی در صنعت تولید رنگ‌های پودری مشاهده شد.

با وجودی که مصرف رنگ‌های پودری پایه‌ی اپوکسی، رشد سریعی داشت، اما این پوشش دارای معايبی بهخصوص برای وسایل بیرون از منزل

بود؛ از جمله اشعه‌ی فرابنفش خورشید از درخشنده‌ی آن می‌کاست و باعث ترک‌خوردگی لایه‌ی پوشش می‌شد. به همین دلیل بسیاری از مؤسسه‌های شیمیایی، پژوهش بر روی رزین‌هایی با کارایی بالاتر را شروع نمودند و بیشتر پژوهش‌ها در زمینه‌ی رزین‌های پلی‌استر و اکریلیک به علت خصوصیات ویژه‌ی آن‌ها صورت گرفت.

رنگ‌های پودری بر پایه‌ی رزین پلی‌استر، برای اولین بار در سال ۱۹۶۹ میلادی، به بازار عرضه شد که از پلی‌استرهایی با زنجیره‌ی بلند هیدروکسیل‌دار تهیه شده بود و پخت آن‌ها در کوره‌ای با دمای ۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و به مدت ۲۰ دقیقه صورت می‌گرفت.

مشکل عمده‌ی این نوع پوشش‌ها طی فرآیند بسپارش، تولید گاز در مرحله‌ی پخت می‌باشد. در طی عمل سخت شدن لایه‌ی رنگ، در اثر واکنش‌های تراکمی گاز ایجاد می‌شود و بر اثر سخت شدن سریع سطح بیرونی لایه‌ی رنگ، گاز در داخل لایه حبس شده، باعث ایجاد ناهمواری در سطح و گاهی نیز باعث ایجاد حفره و سوراخ‌های ریز در سطح پوشش می‌گردد. از سال ۱۹۷۲ میلادی، نسل دوم رزین‌های پلی‌استر ظاهر شدند. این رزین‌ها دارای گروه‌های عاملی اسیدی بودند و برای کاربرد در پوشش‌های پودری مناسب‌تر به نظر می‌رسیدند؛ چون مشکل تولید گاز در آن‌ها کم‌تر بود.

اولین نوع از پوشش‌های پودری پلی‌استر با پخت سریع، در سال ۱۹۷۴ میلادی، به بازار عرضه شد و از سال ۱۹۷۶ میلادی، استفاده از آن گسترش زیادی یافت. در سال ۱۹۸۳ میلادی، بعد از مطرح شدن مشکل سمی بودن برخی از مواد اولیه، اولین رنگ پودری پلی‌استری بدون TMA^۱ به بازار عرضه شد.

پوشش‌های پودری اکریلیک در کشور ژاپن بیشتر مورد توجه قرار گرفت و سعی می‌شد که از این نوع رزین، پوششی تهیه شود و جایگزین

1- Trimellitic anhydrid

رنگ‌های مایع آلکید – ملامین گردد. این نوع پوشش‌ها اگرچه در خاور دور با استقبال روبه‌رو شد، ولی در اروپا و آمریکا مورد توجه قرار نگرفت؛ علت آن گران‌قیمت بودن این پوشش‌های پودری در مقایسه با سایر انواع پوشش و نیز عادت کردن بازار مصرف اروپا به رنگ‌های اپوکسی، پلی‌استری و هیبریدی بود. این عوامل باعث شد پوشش‌های پودری اکریلیک با وجود کیفیت خوب با استقبال روبه‌رو نشود.

۱- آزمون‌های ویژه‌ی پوشش‌های پودری^۱

از دیدگاه عملی می‌توان این آزمون‌ها را به سه دسته تقسیم کرد:

۱. آزمون‌های ویژه‌ی پودر به شکل توده (قبل از پاشش)
۲. آزمون‌های ویژه‌ی اعمال پودر (مرحله‌ی پاشش و تشکیل لایه)
۳. آزمون‌های ویژه‌ی لایه‌ی پوششی پس از پخت

۲- ویژگی‌های عمومی پودرهای پوششی

پودرهای پوششی از این لحاظ با سایر مواد پودری تفاوت دارند که تا قبل از مرحله‌ی سخت شدن، حالت پودری خود را حفظ می‌کنند. در مرحله‌ی سخت شدن، ابتدا حالت پودری خود را از دست داده، سیال می‌شوند و پس از آن، به جامد پیوسته تبدیل می‌گردند. این بدان معناست که چنین موادی همواره از یک ویژگی واکنش‌پذیری بالقوه و در نتیجه پایداری محدود در حالت پودر برخوردارند.

۳- نمونه‌برداری

برای انجام صحیح یک آزمون، نمونه‌ی آزمون باید نماینده‌ی کل دسته‌های مورد نظر باشد. در عمل، رسیدن به این هدف مشکل است؛ زیرا به طور معمول، اختلاف بین مقادیر واقعی هر دسته و نمونه، بسیار زیاد است. به عنوان مثال، برای تعیین زمان ژل شدن یک محموله‌ی ۱۰ تنی،

نمونه‌ای با وزن کمتر از یک گرم مورد نیاز است (یعنی نسبت ۱۰ میلیون به ۱)، به همین دلیل، برای نمونه‌برداری باید روش بسیار دقیقی به کار گرفته شود. به طور کلی، فرآیند نمونه‌برداری به این شرح انجام می‌گیرد: برای نمونه‌هایی که مقدار آن‌ها کمتر از ۲ کیلوگرم نباشد، می‌توان از بیلچه‌ی مخصوص نمونه‌برداری استفاده کرد. این وسیله به‌ نحوی طراحی شده است که می‌توان نمونه‌هایی را از تمام نقاط داخلی مخزن به‌دست آورده.

اگر محموله، در کارتنهای و ظروف متعدد و جداگانه‌ای بسته‌بندی شده باشد، در این حالت نمونه‌برداری باید به طور اتفاقی انجام گیرد. در مورد ظروف بزرگ باید دقیق کرد که نمونه از عمق‌های مختلف برداشته شود، زیرا احتمال جدا شدن ذرات پودری با اندازه‌های گوناگون وجود دارد. نمونه‌هایی را که از بخش‌های مختلف ظرف حاوی محصول پودری تهیه شده‌اند، باید با یکدیگر مخلوط کرد تا یک نمونه‌ی ترکیبی حاصل گردد. سپس با استفاده از یک چات‌ریفر^۱، نمونه ترکیبی را به اجزای کوچک تقسیم می‌کنند.

چات‌ریفر شامل یک قیف تغذیه‌ی عمودی است که به دوازده بخش مساوی یا بیش‌تر تقسیم شده است. بخش‌ها به‌طور یک در میان به دو دریافت‌کننده (برای جمع‌آوری پودرهای مجزا) متصل شده‌اند. پس از ریختن نمونه‌ی ترکیبی در قیف تغذیه و جداسازی در بخش‌ها، ذرات پودر در دو دریافت‌کننده جمع‌آوری می‌شوند. این فرآیند را در صورت نیاز می‌توان تکرار کرد تا به نمونه‌های کوچک‌تری دست یافته. برای کاهش بیش‌تر مقدار نمونه، یک تقسیم‌کننده‌ی چرخشی توصیه می‌شود. یادآوری می‌شود که استفاده از وسایل و ظروف تمیز برای نمونه‌گیری لازم است. برای نمونه‌گیری طی فرآیند تولید مداوم، باید در زمان حرکت پودر از آن نمونه‌برداری کرد؛ بهتر است که این کار در فواصل زمانی کوتاه و از کل جریان پودر انجام شود.

۴-۱: اندازه‌ی ذرات و توزیع آن

اندازه‌ی ذرات پودرهای پوششی و توزیع اندازه‌ی آن‌ها، عوامل مهمی هستند که بر خواصی مانند: ثبات طی انبارداری، پایداری در زمان حمل و نقل، تشکیل لایه، کیفیت اعمال به روش‌های گوناگون و قابلیت بازیابی پودر در زمان مصرف، اثر می‌گذارد. باریک بودن توزیع اندازه‌ی ذرات، امری ایده‌آل است که با به‌کارگیری روش‌های جداسازی قابل دستیابی می‌باشد. توزیع ذرات در مخلوط باید به‌گونه‌ای باشد که ذرات کوچک‌تر در فواصل بین ذرات درشت‌تر قرار گیرد یا به عبارتی نسبت ذرات ریز به درشت ۱:۱ باشد. در واقع ذرات دارای اشکال نامنظم هستند و فرض کروی بودن آن‌ها که اساس بسیاری از روش‌های اندازه‌گیری را تشکیل می‌دهد، کاملاً نظری است. در عمل، تعیین دقیق اندازه‌ی ذرات امکان‌پذیر نیست، ولی بر حسب سامانه‌ی اندازه‌گیری به‌کار رفته، می‌توان یک قطر معادل تعریف کرد؛ بدین ترتیب قطر ذرهی کروی هم حجم با ذرهی واقعی اندازه‌گیری می‌شود.

برای تعیین اندازه‌ی ذره، روش‌های گوناگونی وجود دارد: تجزیه‌ی میکروسکوپی، استفاده از دستگاه‌های نوری بر اساس انتشار نور، پراش نور، روش‌های رسوب‌دهی، کدرسنجی، الک کردن، سانتریفوژ و از این قبیل.

در پودرهای پوششی، برخی از این روش‌ها کاربرد دارند. به عنوان مثال روش رسوب‌دهی به دلیل احتمال تورم و شکست ناقص کلوجه‌ها، برای تعیین اندازه‌ی ذرهی پودرهای پوششی چندان مناسب نیست، ولی استفاده از الکهای مخصوص برای این منظور مجاز است. در این روش خطای ناشی از معادل‌سازی ذرات واقعی با کره‌های فرضی هم‌حجم با آن‌ها چندان محسوس نیست. بنابراین، با وجود نامنظم بودن شکل ذرات، ذرات پودری در بیش‌تر موارد آنقدر هماندازه هستند که نمایش آن‌ها با شکل کروی چندان دور از منطق نیست.

بنابراین، روش غربال یا الک، برای پودرهای پوششی به‌کار می‌رود. استفاده از الک جت هوا، روش سریعی است. عبور هوا از الک، از مسدود

شدن سوراخ‌های آن جلوگیری کرده، امکان استفاده از آن را در خط تولید پیوسته‌ی پودر و کنترل کیفیت طی فرآیند تولید فراهم می‌آورد. به‌طور معمول، اندازه‌ی ذره‌ی پودرهای پوششی دارای محدوده‌ی بهینه‌ای است که به نوع پودر، روش اعمال و عوامل دیگری بستگی دارد. بدین معنا که اگر قطر ذرات بیش از حد بزرگ و از ضخامت مورد نظر در لایه‌ی نهایی سخت شده هم بیشتر باشد، ممکن است فرآیند ذوب و متعاقب آن سخت شدن لایه، به تأخیر بیفتد؛ زیرا جرم یک ذره‌ی درشت به راحتی جرم یک ذره‌ی کوچک، گرما را دریافت نمی‌کند و به همین دلیل هم‌سیال شدن در هنگام تشکیل لایه با مشکل مواجه می‌شود و شکل ظاهری نهایی معیوب می‌گردد.

از سوی دیگر در ذراتی که اندازه‌ی آن‌ها از بهینه کوچک‌تر (۱۰ میکرومتر) باشد، با زیاد شدن نسبت سطح به حجم، فعالیت سطحی افزایش می‌یابد که خود باعث تغییر خواص می‌گردد. به عنوان مثال، در اثر کیکی یا کلوخه شدن، سیال شدن پودر به هنگام اعمال با مشکل مواجه می‌شود.

از لحاظ ایمنی هم باید در نظر داشت که ذرات بسیار ریز با قطر تقریبی ۵ میکرومتر در حالت جذب توسط دستگاه تنفس، برای سلامتی شخص کاربر بسیار مهلك و خطرناک است. افزون بر این، احتمال آتش‌سوزی در اثر ایجاد الکتریسیته‌ی ساکن به‌وسیله‌ی ذرات بسیار ریز پخش شده در هوا، وجود دارد. فنون مرسوم برای اندازه‌گیری اندازه‌ی ذرات پوشش‌های پودری به‌طور عمده: میکروسکوپی، طیف‌سنجی (مانند روش PSA)، الک‌کردن و روش‌های شمارشی^۱ هستند.

برای تعیین اندازه‌ی ذرات تا زیر یک میکرون، به‌طور عمده از شمارنده‌ی کالتر^۲ استفاده می‌شود. با این روش در آزمایشگاه‌های صنعتی

1 -Counting procedure

2- Coulter counter

می‌توان در یک زمان مناسب به نتایج قابل قبولی دست یافت. ابتدا ذرات در یک الکتروولیت مناسب پخش شده، سپس با عبور از یک نازل کوچک، به طرف الکتروود فرستاده می‌شوند. با عبور هر ذره، متناسب با حجم آن، یک پالس ولتاژ ایجاد می‌شود. پالس‌ها تقویت شده، شمارش و درجه‌بندی می‌شوند تا یک توزیع اندازه‌ی ذرات، از تعداد در برابر حجم ذره بهدست آید. تهیه و آماده‌سازی نمونه در الکتروولیت، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

از معایب این روش می‌توان به زمان نسبتاً طولانی اندازه‌گیری (حدود ۴۵ - ۳۰ دقیقه برای هر آزمون) اشاره کرد. در سال‌های اخیر روش پراش لیزر^۱ به عنوان روش جدیدتری که نیاز به آماده‌سازی نمونه ندارد، گسترش یافته است و برای تعیین دقیق و سریع اندازه‌ی ذره کاربرد زیادی دارد. تجزیه‌گر اندازه ذره^۲، یکی از دستگاه‌هایی است که بر اساس پراش لیزر کار کار می‌کند و کاربرد وسیعی در تعیین اندازه‌ی ذره متوسط و توزیع آن در پودرهای پوششی پیدا کرده است.

در این دستگاه، نمونه‌ی پودر پخش شده در هوا، از میان یک پرتو نور تکفام لیزر عبور می‌کند. نور پراکنده شده از ذرات، در زاویه‌های مختلف دریافت و اندازه‌گیری می‌شود و مقادیر عددی مربوط به نحوه انتشار، برای تجزیه و تحلیل ثبت می‌گردد. با استفاده از یک مدل نوری و یک روش ریاضی مناسب، یک توزیع حجمی از اندازه ذرات بهدست می‌آید. مزایای تعیین اندازه‌ی ذرات پودرهای پوششی به وسیله‌ی روش پراش لیزری عبارت است از:

۱. مبنایی کاملاً علمی دارد و نیاز به درجه‌بندی ندارد.
۲. سرعت اندازه‌گیری بسیار زیاد است، بنابراین کنترل اندازه‌ی ذرات در فرآیند تولید، امکان‌پذیر خواهد بود.

1- Laser diffraction method

2- Particle size analyser

۳. اندازه‌ی ذره در شرایطی معین می‌شود که پودر در اثر جریان هوا به حرکت درآید؛ این شرایط مشابه با شرایط عملی اعمال پودر است.
۴. قابلیت تکرارپذیری نتایج بسیار زیاد است.

نتایج تعیین اندازه‌ی ذره را می‌توان به شکل جدول یا نمودار نشان داد. دستگاه‌های جدید معمولاً به رایانه و چاپگر متصل هستند و نتایج را به شکل اندازه‌ی ذره در برابر جرم یا تعداد گزارش می‌کنند. پودرهای پوششی بهندرت توزیع نرمال دارند، بهویژه اگر در مرحله‌ی آسیاب از فرآیند جداسازی استفاده شده باشد. به همین دلیل برونویابی داده‌ها، توصیه نمی‌شود.

۱-۵: چگالی یا وزن مخصوص

در این راستا دو تعریف را باید به‌طور مجزا در نظر گرفت: یکی چگالی توده و دیگری وزن مخصوص ماده. چگالی توده عبارت است از: حجم اشغال شده به‌وسیله‌ی جرم معینی از پودر که هوا در بین ذرات آن قرار گرفته است. دانستن چگالی توده، به برآورده اندازه‌ی مخزن نگهدارنده‌ی پودر کمک می‌کند، ولی چگالی پودر در تعیین اقتصاد فرآیند مؤثر است. بدین معنا که با در نظر گرفتن کمیت γ محاسبه‌ی سطح پوشانده شده (m^2) توسط جرم معینی از پودر (kg)، طبق معادله‌ی زیر به ضخامت لایه‌ی d_f (بر حسب mm) و چگالی P_f (بر حسب g/cm^3) بستگی دارد، به شرط آن که هیچ گونه فضای خالی در لایه وجود نداشته باشد.

$$\gamma = \frac{1}{d_f \cdot P_f}$$

برای اندازه‌گیری چگالی پودرهای پوششی می‌توان از روش‌های آزمایشگاهی معمول استفاده کرد که مزیت اصلی این روش است. در روشی دیگر از اصل جایگزینی گاز استفاده شده است. بدین ترتیب که هنگام استفاده از جرم معینی از پودر ریخته شده در ظرف، حجم گاز

جایگزین شده اندازه‌گیری می‌شود. این مسأله با یکسان‌سازی اختلاف فشار ناشی از جایگزینی گاز عملی می‌شود.

نمونه‌ی مورد ارزیابی در یک ظرف دربار ریخته شده، در داخل یکی از سیلندرها قرار داده می‌شود. هر پیستون به یک اندازه به حرکت درآورده می‌شود تا اختلاف فشار بین آن‌ها مشاهده گردد. سپس، سیلندرهای حاوی نمونه به حرکت درآمد، فشار یکسان دوباره برقرار می‌شود. در نتیجه تعییر حجم مشاهده شده، برابر با حجم نمونه پودری خواهد بود. معمولاً گاز جایگزین شده هوا است؛ اما از گازهای دیگری مثل هلیم نیز می‌توان استفاده کرد. در این دستگاه حجم وزن معینی از پودر و سپس با استفاده از معادله‌ی زیر چگالی آن معین می‌گردد.

$$V/m=p$$

۶- ثبات انبارداری

پودرهای پوششی گرماسخت، طی زمان به تدریج تخریب می‌شوند. فرآیند تخریب در شرایط شدید گرما و رطوبت تسريع می‌شود. در این روش نمونه‌ی پودر، در دماهای مختلف قرار داده می‌شود تا شرایط واقعی برای پودر شبیه‌سازی گردد.

فرسایش پودرهای پوششی گرماسخت، به دو شکل تعییر حالت فیزیکی و تعییر واکنش‌پذیری شیمیایی پودر امکان‌پذیر است. در مورد اول، ممکن است ذرات مجزای پودر به گونه‌ای فشرده شوند که تشکیل کلوجه دهنده یا فشرده‌گی به حالت درونی پودر بوده، منجر به تشکیل انبوهه‌ها گردد. در چنین مواردی که حالت فیزیکی تعییر می‌کند، در برخی موارد با استفاده از دستگاههای مکانیکی ساختار پودر قابل بازیابی خواهد بود.

گاهی در زمان انبارداری واکنش‌های شیمیایی در پودر روی می‌دهد که ممکن است بر ساختار فیزیکی پودر اثر نگذارد، اما اثر قابل توجهی بر توانایی تشکیل یک لایه‌ی صاف داشته باشد، در این حالت بر ویژگی‌های

مکانیکی پوشش مانند مقاومت در برابر ضربه اثر منفی خواهد گذاشت. ترکیب پوشش پودری، باید در طی مراحل حمل و نقل و انبارداری، دارای ویژگی جریان‌پذیری آزاد باشد و اجزای آن در مراحل پیش از اعمال بهویژه در فصل گرما، به شکل واکنش نداده باقی بماند.

معمولًاً پوشش‌های پودری حفاظتی واکنش‌پذیرتر از سایر پوشش‌های پودری هستند، بنابراین باید هنگام حمل و نقل و انبارداری محیط آن‌ها را خشک و خنک نگاه داشت تا طول عمر و کارایی آن‌ها افزایش و کیکی و کلوخه شدن آن‌ها کاهش یابد. گاهی برای برخی از انواع پودرها، استفاده از یخچال‌های صنعتی نیز توصیه می‌شود. از طرف دیگر، سهولت تخلیه‌ی پودر از ظروف بسته‌بندی و تغذیه به سامانه‌ی اعمال‌کننده و نیز به مقدار قابل توجهی به میزان پایداری آن بستگی دارد.

پایداری و ثبات پودر از لحاظ اندازه، شکل و سختی ذرات پودری و همچنین واکنش‌پذیری در زمان انبارداری به عوامل متعددی بستگی دارد. یکی از مهم‌ترین این عوامل، دمای انتقال شیشه‌ای (T_g) ترکیب پوشش است که کاربران در هنگام ترکیب کردن پودرها باید آن را مدنظر قرار دهند. این دما به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر پایداری فیزیکی و شیمیایی ترکیب پوشش در هنگام انبارداری، تشکیل لایه در مرحله‌ی سخت شدن و همچنین ایجاد و گسترش تنش داخلی در لایه‌ی نهایی طی کارکرد پوشش اثر می‌گذارد.

۷-۱: بررسی توزیع اندازه‌ی ذره

حالت کلوخه شدن نسبی را می‌توان با رسم توزیع اندازه‌ی ذره به خوبی درک کرد. انتقال متوسط توزیع اندازه‌ی ذره به مقادیر بالاتر، احتمالاً نشان‌دهنده‌ی کلوخه شدن پودر خواهد بود. اما، برای اطمینان مقدار معینی پودر (در حدود ۵۰ گرم) در ظرف مخصوصی به حجم ۱۲۰ میلی‌لیتر) ریخته، سپس در ظرف با یک فویل آلومینیومی مسدود می‌گردد. برای شبیه‌سازی شرایط انبار، ظرف فوق را به مدت ۲۴ ساعت

در دمای ۵۰ درجهی سانتیگراد، یک هفته در دمای ۵۰ - ۴۵ درجهی سانتیگراد و سه هفته در دمای ۴۰ درجهی سانتیگراد قرار داده میشود. برای بررسی ثبات انبارداری، متوسط توزیع اندازهی ذرهی یک پودر تازه تولید شده با پودری که در شرایط آزمون قرار داده شده است، مقایسه میگردد.

۱-۸: واکنش‌پذیری (زمان ژل شدن)

اندازه‌گیری زمان ژل شدن، میتواند پایداری پودر در زمان انبارداری را نشان دهد. زمان ژل شدن که واکنش‌پذیری نسبی یک ترکیب پوشش پودری را در دمای ویژه‌ای نشان می‌دهد، معمولاً بر اساس زمان لازم برای ژل شدن (برحسب ثانیه) بیان می‌شود.

زمان ژل شدن می‌تواند داده‌های مفیدی را در خصوص عمر نگهداری^۱ و قابلیت کارکرد یک پودر پوششی در اختیار قرار دهد، بنابراین برای ارزیابی ثبات انبارداری نیز می‌تواند به کار رود. با مقایسه‌ی زمان ژل شدن پودر اولیه با زمان ژل شدن پودر انبار شده، می‌توان تمایل به کلوخه شدن و در نتیجه ثبات انبارداری پودر را بررسی کرد.

تا قبل از سال ۱۹۹۰ میلادی، این آزمون به شکل دستی انجام می‌شد. بدین ترتیب که نمونه‌ی کوچکی از پودر (حدود ۲ گرم) روی ظرف مقرر پیش‌گرم شده‌ای ریخته، بلافاصله با ثبت زمان و همزدن مداوم با یک سوزن مخصوص، زمان لازم برای ایجاد تغییر در سرعت حرکت سوزن اندازه‌گیری می‌گردد. به این زمان، زمان ژل شدن اطلاق می‌شود. امروزه با پیشرفت فناوری، این فرآیند خودکار شده، بهوسیله‌ی رایانه کنترل می‌گردد.

در روش‌های جدید، یک کاوهی^۲ شیشه‌ای در داخل نمونه‌ی آزمایش گرمادهی شده قرار می‌گیرد؛ وقتی نمونه شروع به ژل شدن می‌کند،

1- Shelf life

2- Probe

حرکت کاوه در نمونه با محدودیت مواجه می‌شود. بدین ترتیب میزان نفوذ^۱ در برابر زمان به دست می‌آید. کاهش زمان ژل شدن تا بیش از ۵۰ درصد مقدار اصلی را می‌توان به ناپایداری پودر در انبار ربط داد.

۱-۹: دمای ذوب

اندازه‌گیری دمای ذوب در پودرهای گرمانرم و تعیین محدودهٔ ذوب پودرهای گرماسخت نیز برای ارزیابی پایداری پودر مطلوب است. یکی از روش‌های تعیین دمای ذوب، روش موبینگی می‌باشد. با استفاده از روش گرماسنجی پویش تفاضلی (DSC)^۲، نیز می‌توان دمای ذوب پودرهای موردنظر را معین کرد.

۱-۱۰: جریان‌پذیری پودر

جریان‌پذیری پودر^۳ را می‌توان از دو جنبه بررسی کرد: جریان‌پذیری در مراحل قبل از اعمال و جریان‌پذیری ذرات پودر که در تماس با یکدیگر هستند. به عبارتی جریان‌پذیری در مرحله‌ی تغذیه و عبور پودر در لوله‌ها و شیلنگ‌های پاشش با عنوان قابلیت ریزش و دیگری در مرحله‌ی اعمال و سیال شدن است. همین مطلب اساس طراحی روش‌های آزمون سیال شدن در مواد پودری را تشکیل می‌دهد.

۱-۱۱: قابلیت ریزش پودر

قابلیت ریزش پودرهای انبار شده و مقایسه‌ی آن با نمونه‌های استاندارد می‌تواند ارزیابی مناسبی از ثبات انبارداری را نشان دهد.

1- Penetration

2- Differential Scaning Calorimetry

3 -Powder flow

پوشش‌های پودری باید در حدی سیال باشند که بتوان آن‌ها را مانند مواد نقاشی مایع، به راحتی به داخل کانتینرها تخلیه کرده، از درون لوله‌ها و شیلنگ‌ها عبور داد و در نهایت پاشید. مشابه مواد نقاشی مایع، نیروی حداقلی مورد نیاز است تا پودر برای سیال شدن آماده شود. با به کارگیری روش‌های گرانزوی‌سنجدی، می‌توان رفتار رئولوژیکی مواد مایع را به آسانی شناسایی کرد. در عمل سیال شدن پودر از یک ظرف، باید بدون تأخیر یا بدون کلوخه شدن باشد.

روش کارهای بسیار ساده‌ای برای به تصویر کشیدن رفتار سیال شدن ذرات پودر ارایه شده است. با اندازه‌گیری زاویه‌ی ریزش پودر امکان ارزیابی این ویژگی وجود دارد. هرچه این زاویه کوچک‌تر باشد، پودر از قابلیت ریزش بهتری برخوردار خواهد بود. این روش آزمایشگاهی به دلیل سادگی و کم‌هزینه بودن آن جالب توجه است.

۱-۱۲: سیال شدن^۱

در مراحل مختلف فرآیند اعمال، پودر به حالت سیال شده است. بنابراین انجام بررسی ویژگی سیال شدن پودر با روشی مناسب ضروری می‌باشد. سیال شدن با قابلیت ریزش تفاوت اساسی دارد. قابلیت ریزش، مشخصه‌ی سیال شدن در پودرهای دارای هم‌چسبی است. حال آن‌که سیال شدن خاصیت ویژه‌ی مخلوط پودر و هواست. یعنی مخلوطی که در آن ذرات پودر آنقدر از یکدیگر فاصله دارند که هیچ گونه نیروی جاذبه‌ای بین آن‌ها وجود ندارد. برای پاسخ دادن به این پرسش که آیا نمونه‌ی پودر موجود برای اعمال با فرآیند پاشش مناسب است یا خیر، می‌توان آزمونی را انجام داد.

در این آزمون، دستگاه دارای یک مخزن استوانه‌ای مجهر به صفحه‌ی مشبك با قطر ۱۰۰ میلی‌متر است. مقدار معینی پودر (معمولًاً ۲۵۰ گرم)

روی صفحه‌ی مشبک قرار داده می‌شود. سپس هوا با سرعت ۵۰۰ لیتر بر ساعت به صفحه دمیده می‌شود تا پودر روی صفحه به حالت سیال درآید. پس از ۱ تا ۲ دقیقه که حالت تعادل برقرار گردید، می‌توان ارتفاع ستونی از ماده‌ی سیال شده را اندازه‌گیری کرد. سپس، با قطع جریان هوا و نشستن پودرها روی صفحه، ارتفاع h به عنوان کمیت دوم معین می‌گردد. پس از این اندازه‌گیری مقدماتی، یکبار دیگر بهوسیله‌ی هوا با همان شدت جریان قبلی، سیال می‌گردد. ولی این بار، دریچه‌ی روی جداره‌ی استوانه برای مدت ۳۰ ثانیه باز شده، مقدار معینی از پودر سیال شده از مخزن خارج می‌گردد. سپس پودر خروجی در ظرف دیگری جمع‌آوری شده، وزن می‌شود. برای افزایش دقت اندازه‌گیری بهتر است این آزمون چندین بار تکرار شود.

اگر m برحسب گرم، نشان‌دهنده‌ی مقدار متوسط جرم پودر باشد، می-توان عوامل سیال شدن پودر مورد آزمایش را، طبق معادلات زیر محاسبه کرد.

$$R = \frac{m h_1}{h_0} \quad f = \frac{h_1}{h_0}$$

h_1 ارتفاع پودر سیال شده، h_0 ارتفاع پودر در حالت سکون و m وزن پودر تخلیه شده در زمان ۳۰ ثانیه است. در عمل، مقدار R می‌تواند از ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرم متغیر باشد. اگر $g = 150\text{ g}$ باشد، سیال شدن خوب است ولی اگر R کمتر از ۸۰ گرم باشد، پودر ویژگی‌های مناسب برای پاشش ندارد.

۱-۱۳: سیال شدن مذاب

میزان سیال شدن طی مرحله‌ی سخت شدن، نقش بهسازی در شکل ظاهری پوشش داده شده دارد. سیال شدن پوشش‌های پودری، پدیده‌ی بسیار پیچیده‌ای است که نمی‌توان آن را با یک آزمون ویژه به‌طور کامل

بررسی کرد. ولی با انجام آزمون سیال شدن روی سطح شیبدار که مورد تأیید انجمن پوشش‌های پودری نیز قرار گرفته، می‌توان شاخصی از میزان سیال شدن در زمان پخت را ارایه کرد که اثر قابل توجهی بر جلوه‌ی سطح فیلم پخت شده دارد.

در این آزمون، ابتدا قرص فشرده‌ای از پودر پوششی تهیه می‌شود و روی یک صفحه‌ی گرما داده شده، به شکل افقی قرار می‌گیرد. صفحه به مدت ۳۰ ثانیه در موقعیت افقی نگاه داشته می‌شود تا قرص شروع به ذوب شدن کند. سپس بدون باز کردن در آون، صفحه به مدت ۱۵ دقیقه در وضعیت ۶۵ درجه نسبت به خط افقی نگاه داشته می‌شود. درنهایت میزان سیال شدن پودر بر حسب طول یا مسافت طی شده به‌وسیله‌ی پودر مذاب، بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری می‌شود.

از آن جا که طراحی آون، زاویه‌ی شیب و ویژگی‌های قرص تهیه شده از پودر، بر نتایج آزمون اثر می‌گذارد، قابلیت بازتولید نتایج مشکل است. به همین دلیل، دمای ۱۷۷ درجه‌ی سانتی‌گراد برای گرمادهی، ضخامت ۶ میلی‌متر برای قرص پودر، وزن معادل نصف وزن مخصوص پودر مورد نظر برای قرص پودر در زاویه‌ی شیب ۶۵ و زمان‌های ۳۰ ثانیه و ۱۵ دقیقه به‌ترتیب برای نگهداری قرص پودر موقعیت‌های افقی و شیبدار به‌عنوان استاندارد توصیه شده است. به‌طور کلی مسافت ۱۲ میلی‌متر برای پوشش‌های پودری ویژه می‌گردد. ۳۰-۴۰ میلی‌متر برای پوشش‌های پودری ویژه‌ی سطح خارجی لوله‌ها، عدد تقریبی ۴۰ میلی‌متر برای پوشش‌های پودری ویژه‌ی سطوح داخلی لوله‌ها و محدوده‌ی ۳۰-۸۰ میلی‌متر برای پوشش‌های پودری تربینی قابل قبول است.

۱۴- سخت کننده‌های مصرفی در رزین‌های پودری گرماسخت

توضیحات	نام رزین
رزین : اپوکسی دی‌سیان دی‌آمید و انواع آن سخت‌کننده: ایندیریدها و آمین‌ها مانند: MDA, DDS, BTDA	پوشش‌های بر پایه‌ی اپوکسی
رزین : کربوکسیل پلی‌استر سخت‌کننده : اپوکسی	پوشش‌های بر پایه‌ی پلی‌استر - اپوکسی
رزین: کربوکسیل پلی‌استر سخت‌کننده: تری‌گلیسیدیل ایزوسیانورات	پوشش‌های پلی‌استری TGIC -
رزین: هیدروکسیل پلی‌استر سخت‌کننده: ایزوسیانات بلوکه شده مانند IPDI	پوشش‌های پلی‌استری-پلی‌یورتان
رزین: کربوکسیل، هیدروکسیل یا گلیسیدیل اکریلیک سخت‌کننده: TGIC ، ایزوسیانات بلوکه شده یا اکریلیک خودبه‌خود خشک‌شونده	پوشش‌های بر پایه‌ی اکریلیک

جدول ۱: سخت کننده‌های مصرفی در رزین‌های پودری گرماسخت

۱۵- انواع پوشش‌های پودری

- به طور کلی پوشش‌های پودری گرماسخت را بر اساس نوع رزین می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم نمود:
۱. اپوکسی: که متشکل از رزین‌های اپوکسی است که به وسیله‌ی رزین‌های فنولی پخت می‌شود.
 ۲. پلی استر - پلی اپوکسی (TGIC): از رزین‌های پلی استر و یک سخت‌کننده پلی اپوکسی مثل TGIC ساخته می‌شود.
 ۳. هیبرید: از رزین‌های اپوکسی و پلی استر با نسبت‌های گوناگون تهیه می‌شود و هر رزین برای دیگری نقش سخت‌کننده را دارد.
 ۴. پلی‌یورتان: از نوع ویژه‌ای از رزین‌های پلی استر یا اکریلیک که با ایزوسیانات سخت شده، تهیه می‌گردد.
 ۵. اکریلیک: متشکل از رزین اکریلیک به همراه سخت‌کننده‌ی پلی ایزوسیانات و یا پلی‌کربوکسیلیک‌اسید می‌باشد.

۱۶- مزایای استفاده از پوشش‌های پودری

- در سال‌های اخیر، ضرورت ساخت محصول‌هایی که در طی فرآیند و مصرف، آلودگی کمتری را برای آب و هوا و به طور کلی محیط زیست داشته باشند، پیوسته رو به افزایش بوده است. یکی از دلایل افزایش میزان مصرف پوشش‌های پودری نیز همین موضوع می‌باشد.
- عدم استفاده از ترکیبات آلی فرآر و حلال‌های آلی، حداقل گازهای خروجی از کوره به هنگام پخت، کم بودن ضایعات در طی فرآیند تولید و مصرف، عاری بودن از فلزات سنگین و غیرسمی بودن این محصولات، همگی دلایلی هستند که رنگ‌های پودری را از نظر زیست‌محیطی، یک پوشش برتر معرفی می‌کند.

علاوه بر مزایای زیستمحیطی، مزایای فنی پوشش‌های پودری سبب گرایش زیادی به مصرف این نوع پوشش در صنایع شده است که عبارت است از:

۱. آماده‌ی مصرف است: پودرهایی که امروزه در بازار عرضه می‌گردد، بلافضله و به صورت تحویل شده قابل استفاده است و نیازی به مواد افزودنی، همزدن، رقیق کردن، تنظیم گرانروی و ... ندارد و بدین ترتیب در وقت و همچنین استفاده از لوازم، مواد و هزینه، صرفه‌جویی می‌شود.

۲. با ویژگی‌های متنوع تولید می‌گردد: طیف وسیعی از انواع رنگ‌های پودری برای سطوح خاص و با خواص ویژه، امروزه قابل طراحی و ساخت است و در دسترس مصرف‌کنندگان قرار دارد. به طوری که کلیه نظرات مصرف‌کننده اعم از سختی، میزان برآثیت، مقاومت در برابر خوردگی، لبه‌پوشی خوب^۱، همگونی سطح و ... تأمین شده است.

به علاوه امروزه رنگ‌های پودری با درخشندگی بین ۵ تا ۹۵ درصد قابل طراحی بوده و نیز رنگ‌هایی با خواص ویژه مثل رنگ‌های متالیک، چکشی، چروکی، چرمگون، شفاف و رنگی زیرنما از سوی شرکت‌های تولیدکننده در دسترس مصرف‌کنندگان قرار گرفته است.

۳. مقرن به صرفه است: اگرچه دستگاه‌های پاشش رنگ‌های پودری گران‌قیمت‌تر از دستگاه‌های پاشش رنگ مایع هستند ولی در درازمدت رنگ‌های پودری به علت پر ناچیز و بازیافت پودر با صرفه‌تر است.

۴. خطر آتش‌سوزی کمتر است: از آنجایی که پوشش‌های پودری حاوی حلال نیستند، به میزان قابل توجهی از احتمال آتش‌سوزی کاسته می‌شود. به علاوه در طی فرآیند تولید و مصرف پوشش‌های پودری، هیچ‌گونه ماده‌ی آتش‌گیری وجود ندارد؛ این خود باعث کاهش هزینه‌ی تجهیزات اطفاء حریق و بیمه می‌گردد.

۵. تبخیر حلال وجود ندارد: در واقع هیچ نوع ماده‌ی گران‌قیمتی در به کار گیری این نوع پوشش دور ریخته نمی‌شود و نیز حلالی وجود ندارد، که تبخیر گردد؛ البته این موضوع در راستای رعایت قوانین محیط زیست، در مورد عدم تخلیه‌ی مواد شیمیایی در محیط می‌باشد. هم‌چنین در طی تولید و استفاده از رنگ‌های پودری هیچ‌گونه ماده‌ی فرآری به صورت بخار از طریق بینی و دهان وارد بدن نمی‌شود. بدین ترتیب مشکل مسمومیت حاد یا مزمن ناشی از استنشاق بخارهای سمی منتفی است و با استفاده از ماسک، احتمال ورود پودر به بینی نیز به حداقل می‌رسد.

۶. زمان کم‌تر برای پوشش دهی: در پوشش‌های پودری با یکبار پاشش رنگ، لایه‌ای با ضخامت دلخواه و سطحی یکنواخت حاصل می‌گردد. پوشش‌های پودری به عنوان پوشش‌های تک‌لایه به کار گرفته شده، قطعه‌ی موردنظر فقط یکبار وارد اتاق ک رنگ‌پاشی می‌گردد و یکبار از کوره عبور می‌کند. بدین ترتیب در فضا و زمان لازم برای کاربری، صرفه‌جویی می‌شود.

۷. کاهش جذب سطحی مواد شیمیایی از راه پوست: احتمال جذب سطحی مواد شیمیایی از طریق پوست بدن بسیار ناچیز بوده، پس از آلوده شدن دست، تنها شستشو با آب گرم و صابون کافی است و نیازی به شستن دست با حلال آلی نیست.

۱-۱۷: مزایای اقتصادی پوشش‌های پودری

۱. کاهش قطعات مرجعی: بسیاری از شرکت‌های تولیدی که در طی سال‌های اخیر خط رنگ‌آمیزی قطعات خود را از رنگ مایع به پودری تغییر داده‌اند، اذعان دارند که گاهی تا ۱۵ درصد از محصولاتی که با رنگ‌های مایع رنگ‌آمیزی شده بودند، به علت داشتن ایراد رنگ، مرجع می‌شندند، حال آن که این نسبت در مورد رنگ‌های پودری، تا ۱ درصد کاهش پیدا کرده است.

۲. کاهش هزینه‌ی بسته‌بندی: از آن جایی که پوشش‌های پودری مقاومت بسیار خوبی در برابر خراشیدگی و به طور کلی عوامل مکانیکی دارند، لذا بسته‌بندی و نگهداری قطعه‌های رنگ شده ساده‌تر است.

۳. صرفه‌جویی در مصرف مواد

۴. افزایش سرعت تولید: بیشتر واحدهایی که خط رنگ‌آمیزی خود را به رنگ‌های پودری تغییر داده‌اند، متوجه شده‌اند که افزایش قابل توجهی در سرعت تولید ایجاد شده، زمان تولید نیز به همان نسبت کاهش پیدا کرده است. به عنوان مثال یک واحد تولیدی با استفاده از رنگ مایع ۵۰۰ قطعه را در روز در طی ۱۰ ساعت رنگ می‌کرده است حال آن که این واحد تولیدی با استفاده از واحد پاشش رنگ پودری دستی، ۱۲۰۰ قطعه را در روز رنگ می‌نماید و می‌تواند با استفاده از واحد پاشش خودکار، ۸۰۰۰ قطعه را در روز رنگ کند.

۵. صرفه‌جویی در مصرف انرژی و سوخت: قیمت سوخت، یک عامل مهم برای واحدهای صنعتی و تولیدی می‌باشد و بسیاری از واحدها ترجیح می‌دهند که به منظور کاهش هزینه‌ی سوخت، خط خود را از مایع به پودر تغییر دهند.

۱-۱۸: معايب رنگ‌های پودري

اگرچه کاربرد رنگ‌های پودری دارای مزیت‌های زیادی است، اما این نوع پوشش‌ها، دارای معايبی نیز هستند که به شرح زير می‌باشد:

۱. آلوده شدن پودر: ذرات پودر باید تا مرحله‌ی سخت شدن پودر، میکرونی و بدون آلوده شدن باقی بماند. بهم چسبیدن و یا ذوب شدن ذرات پیش از به کارگیری رنگ، نوعی آلودگی برای پودر به حساب می‌آید که بعد از پاشیدن رنگ باعث ناهمواری و ایجاد حفره در سطح رنگ می‌گردد.

۲. تعویض رنگ: تعویض رنگ سامانه‌ی پاشش، بسیار حساس و دقیق است. چون اگر مقدار کمی از رنگ قبلی در سامانه باقی بماند، به علت

بازیافت شدن، رنگ قدیم وارد رنگ جدید شده، آن را آلوده می‌سازد. بنابراین باید قبل از پاشیدن رنگ، کل خط را به دقت بازبینی و آن را از رنگ قبلی پاکسازی کرد.

۳. تغییرات فام: بدیهی است آمیخته کردن سایر مواد با پودر اولیه در محل، از نظر عملی امکان‌پذیر نمی‌باشد و رقیق کردن رنگ و تغییرهای جزئی که معمولاً در محل توسط رنگ‌کار می‌تواند انجام بگیرد، در مورد رنگ پودری کاربرد ندارد.

۴. تغییر در منبع تأمین: اگر مصرف‌کننده فقط از یک نوع رنگ پودری استفاده کند یا آن را تنها از یک منبع تأمین‌کننده‌ی پودر تهیه کند، مشکلی به وجود نمی‌آید. اما اگر نوع رنگ پودری را عوض کند یا آن را از یک منبع دیگر تأمین نماید، به علت اختلاف در برنامه‌ی پخت، با مشکل روبرو خواهد شد.

۵. تهیه‌ی فیلم بسیار نازک: روش رنگ‌های پودری برای تهیه‌ی پوشش یکنواخت با قطر کمتر از ۲۰ میکرون، به‌طور عملی کارآمد نیست و اگر پوشش پودری خیلی نازک باشد، پس از پخت سطح زیرین آن دیده می‌شود. گاهی دیده شدن سطح زیرین رنگ، با توجه به صرفه‌جویی در مصرف رنگ قابل اغماض است، اما برای پوشش کامل، ضخامت ۵۰ تا ۹۰ میکرون توصیه می‌گردد.

۱۹-۱: بازار مصرف رنگ‌های پودری

امروزه در همه‌ی دنیا به‌ویژه در غرب، مصنوعات بی‌شماری را می‌توان یافت که با رنگ‌های پودری پوشش داده شده باشند. پنج گروه عمدۀ از صنایع مصرف‌کننده‌ی رنگ‌های پودری به ترتیب اهمیت عبارت است از:

۱. سازندگان لوازم خانگی با ابعاد بزرگ :

- یخچال‌های صنعتی و خانگی
- اجاق‌های الکتریکی
- مخلوطکن
- فریزرهای ماشین لباس‌شویی
- هواکش و هود
- خشک‌کن‌های دوار

- بدن و قاب تلویزیون
 - کولرها و خنک‌سازها
 در بیشتر این مصنوعات از رنگ اپوکسی - پلی استر به صورت هیبرید استفاده شده است.

۲. سازندگان مصنوعات فلزی عمومی:

- مبلمان فلزی
 - قفسه‌بندی
 - تجهیزات آتش‌نشانی
 - پایه‌های تخت‌خواب فلزی
 - تابلو ایزار
 - دیوارها و جداکننده‌های فلزی

این گروه از نظر میزان مصرف رنگ پودری در رتبه‌ی دوم می‌باشد و در حدود ۲۵ درصد از این صنایع از رنگ پودری بهره می‌گیرند.

۳. سازندگان قطعات خودرو:

در حال حاضر ۲۰ درصد از این صنایع، تحت پوشش رنگ‌های پودری می‌باشد، اما جای آن دارد که این عدد به ۴۰ درصد برسد. تولیدات این صنعت به دو گروه عمده تقسیم می‌شود:

الف) تجهیزات زیربدنه مثل: فنرها، قطعات فرمان، شاسی و ... که با پوشش اپوکسی مات پوشیده می‌شود.

ب) قطعات بیرونی مثل: رینگ‌ها، آینه و قاب شیشه، تیغه‌های برف‌پاک کن و ... که به وسیله‌ی سامانه پلی‌استر-TGIC مشکی برآق پوشیده می‌شود.

۴. سازندگان ماشین‌آلات صنعتی و کشاورزی:

در حدود ۱۶ درصد از این گروه صنعتی از رنگ‌های پودری استفاده می‌کنند. به علت تنوع محصولات این گروه انواع رنگ‌های پودری در آن‌ها به کار گرفته می‌شود. تنها نکته‌ی قابل توجه این است که در مورد اجسامی با حجم بزرگ مانند بدنه‌ی تراکتور، به دلیل افت شدید دمای کوره، باید از پودرهایی استفاده کرد که زمان پخت آن‌ها طولانی باشد تا افت دما در طی عمل پخت جبران شود.

۵. صنایع تولیدی محصولات فلزی متفرقه:

تولیدات این گروه عبارت است از:

- مبلمان باغ، نرده‌های باغ
 - تجهیزات معماری
 - پایه‌ی لوستر و لامپ
 - در گاراژ
- حدود ۲۰ درصد از این صنایع، از رنگ‌های پودری برای پوشش محصولات خود استفاده می‌کنند و به طور عموم به علت این‌که همگی خارج از منزل به کار برده می‌شوند، پوشش بر پایه‌ی پلی‌استر – TGIC مورد استفاده قرار می‌گیرد. رشد این صنعت انتظار می‌رود سالانه ۱۰ درصد باشد.

۱-۲۰: فرآیند تولید پوشش‌های پودری

۱-۲۰-۱: روش‌های متداول

روش پذیرفته شده برای ساخت رنگ‌های پودری، همان اختلاط مذاب مواد اولیه در اکسترودر است که پس از آن به ذرات ریز تبدیل می‌شوند. در اکتبر ۱۹۹۵ میلادی، یک روش کاملاً جدید به نام فرآیند VAMP^۱، توسط شرکت فرو^۲ ابداع شد. در این روش از کربن‌دی‌اکسید فوق بحرانی به عنوان محیط واکنش، استفاده می‌شود که از مزایای ویژه‌ای برخوردار است. هشت مرحله‌ی مشخص برای روش ساخت معمولی (اختلاط مذاب) وجود دارد:

۱. وزن کردن مواد اولیه
۲. پیش‌اختلاط
۳. اکسترودر کردن
۴. سرد نمودن و خرد کردن
۵. آسیاب و کنترل اندازه‌ی ذرات

۶. صاف کردن^۱

۷. یکنواخت کردن یا اختلاط خشک^۲

۸. بسته‌بندی

تمامی مراحل فوق مهم است، ولی سه فرایند کلیدی پیش‌اختلاط، اکسترود کردن و آسیاب، از مراحل اصلی در تولید پوشش‌های پودری به حساب می‌آیند.

الف) پیش‌اختلاط:

هدف از این مرحله، ایجاد یک مخلوط یکنواخت از مواد اولیه قبل از مرحله اکستروژن می‌باشد که در نهایت باعث هم‌رنگی و خواص ویژه‌ی پودر می‌شود. بنابراین در این مرحله باید به کمک اکستروژن آزمایشگاهی، هم‌رنگی کنترل شود. در این مرحله، رنگدانه‌های بهم چسبیده شکسته می‌شوند؛ زیرا ممکن است در مرحله‌ی بعد توزیع مناسب و خوب صورت نگیرد.

ب) اکسترودر کردن:

سه نوع اکستروژن برای تهییه رنگ‌های پودری وجود دارد:
تکمارپیچ، دو مارپیچ هم‌دوران و غلتک دنده‌دار چرخشی.^۳
این اکستروژن‌ها، به گونه‌ای طراحی شده‌اند تا حداکثر توزیع، حداقل زمان اقامت ماده در اکسترودر و کنترل دقیق دمای ذوب را دارا باشند. موارد فوق همواره به‌طور کامل تحقق نمی‌یابند. فرآیندهای متعددی در هنگام اکستروژن صورت می‌گیرد که در کل به توزیع و پراکندگی ذرات منجر می‌شود. این فرآیندها به‌طور مجزا عمل نمی‌کنند و تا حدی همزمان صورت می‌گیرند که عبارتند از:

1- Filtration

2- Dry blending

3 -Toothed planetary roller

- ذوب، اختلاط و یکنواختی اجزای رزین
- ترشدن رنگدانه‌ها توسط اجزای رزین و توزیع افزودنی‌ها در مذاب
- جدا شدن رنگدانه‌های بهم چسبیده به ذرات اولیه برای اطمینان از ذوب رزین، به گرمای ابتدایی اکسترودر نیاز است، ولی در خلال تولید پیوسته، انرژی مکانیکی حاصل از اصطکاک مواد برای تأمین گرما کفايت می‌کند و جداره‌ی داخلی اکسترودر، برای ثابت نگهداشتن دما باید سرد نگهداشته شود. مواد خروجی از اکسترودر، باید بلافاصله به صورت ورقه‌ای نازک سرد شده، به صورت پرک برای استفاده در آسیاب خرد شوند.

ج) آسیاب و کنترل اندازه‌ی ذرات:

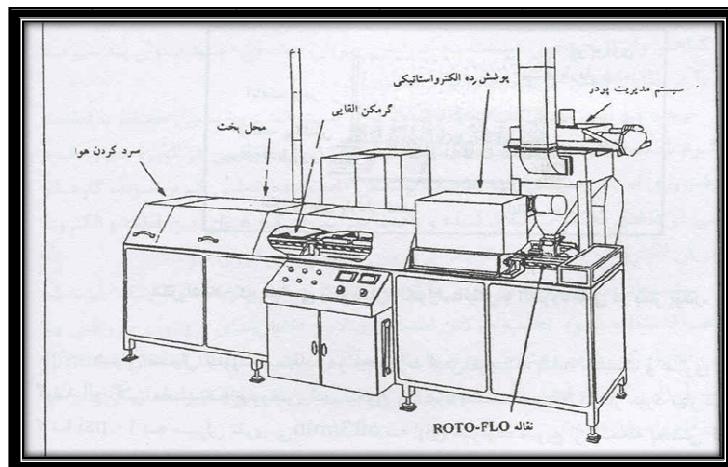
رنگ‌های پودری الکترواستاتیک برای کاربردهای مرسوم، معمولاً توزیع اندازه‌ی ذراتی در محدوده‌ی صفر تا صد میکرون دارند. ولی محدوده‌ای که ویژگی‌های کاربردی خوبی را ارایه می‌دهد، بین ۱۰ تا ۵۰ میکرون است. اگر درصد ذرات زیر ۱۰ میکرون باشد، پودری با بارپذیری ناچیز و ویژگی سیال شدن^۱ ضعیف به‌دست خواهد آمد. وجود ذرات درشت نیز به پوشش‌هایی با ظاهر نامطلوب خواهد انجامید.

آسیاب‌های پیندیسک^۲ به طور عموم برای خرد کردن رنگ‌های پودری مورد استفاده قرار می‌گیرند. آن‌ها شامل یک کلاسیفایر داخلی برای کنترل حداکثر اندازه‌ی ذرات هستند. ذرات درشت و خارج از محدوده، دوباره به آسیاب بر می‌گردند. یک هوکش با حجم بالا، هوا را از جانب دیگر به داخل آسیاب می‌کشاند که سبب افت گرما شده، انتقال ذرات پودر را ممکن می‌سازد. با کنترل زمان اقامت ذره در داخل آسیاب و سرعت کلاسیفایر، توزیع اندازه‌ی ذرات می‌تواند کنترل شود.

1 -Flowability

2-Pindisc

جمع‌آوری پودرهای منتقل شده از طریق جابه‌جایی هوا توسط سیکلون انجام می‌شود. ذرات بالای ۱۰ میکرون و مقدار جزیی از ذرات با اندازه‌ی کمتر، بسته به بازدهی سیکلون از آن خارج شده و به عنوان محصول جمع‌آوری می‌شود. پودرهای خروجی از سیکلون قبل از ورود به محل بسته‌بندی، از میان یک الک‌پیوسته عبور داده می‌شوند تا ذرات با ضخامت بیش از اندازه‌ی مورد نیاز، از آن جدا گردد. جمع‌آوری مستقیم همه‌ی پودرها از صاف‌کننده نیز ممکن است.



شکل ۱: فرآیند تولید پوشش‌های پودری در اکسترودر

۱-۲۰-۲: فرآیند VAMP

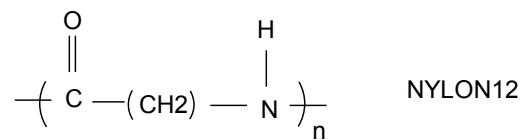
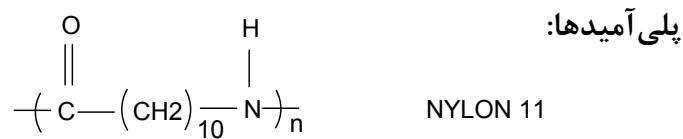
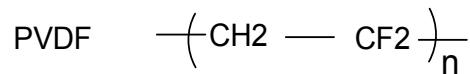
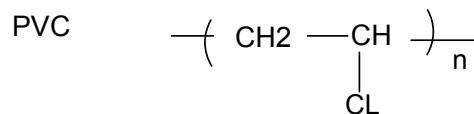
در این فرآیند، کربن‌دی‌اکسید در حالت فوق بحرانی، به عنوان محیط فرآیند عمل می‌نماید. شرایط فوق بحرانی شدن در دما و فشار به ترتیب، بالای ۲۳ درجه‌ی سانتی‌گراد و $7/391$ کیلوپاسکال مهیا می‌شود. در چنین شرایطی، بسیاری از بسیارها در کربن‌دی‌اکسید، حلالیت بالایی دارند، ضمن این‌که اثر نرم‌کنندگی قوی نیز دارد. مواد اولیه به یک مخزن فشار که مجهز به یک پروانه جهت اختلاط است وارد شده، بعد از تماس با کربن‌دی‌اکسید به شرایط فوق بحرانی

رسانده می‌شود. اثر کربن‌دی‌اکسید همانند یک حلal است که رزین را نرم کرده، موجب درهم آمیختن مواد می‌شود.

سیال جهت یکنواخت شدن، مخلوط شده، سپس از طریق یک نازل به داخل یک ظرف، خالی می‌شود. این عمل به صورت کلاسیفایر اندازه‌ی ذرات، برای ذرات ریز پودری عمل می‌نماید. مواد با اندازه‌ی درشت‌تر به آسیاب برای خرد شدن فرستاده می‌شوند. به عنوان جایگزین فرآیند ذکر شده، مواد می‌توانند بعد از تخلیه از ظرف فشار، با روش‌های معمول خرد شوند.

چندین امتیاز را می‌توان برای فرآیند VAMP نام برد که دو مورد از آن‌ها دارای اهمیت بیشتری هستند: یکی این‌که در تهیه‌ی محصول، دوره‌های گرم و سرد شدن کمتری اعمال می‌شود و دیگری این‌که کنترل توزیع اندازه‌ی ذرات بهبود می‌یابد.

**۱-۲۱: ساختار رزین‌های مصرفی در پوشش‌های گرمانرم
رزین‌های وینیلی:**



پلیاتیلن:



**۱-۲۲: پارامترهای اصلی در طراحی ترکیب و انتخاب رزین‌های
مورد مصرف در تولید پوشش‌های پودری**

- وزن مولکولی
- واکنش‌پذیری
- عاملیت (گروههای عاملی)
- دمای انتقال شیشه‌ای
- گرانروی مذاب

۱-۲۲-۱: وزن مولکولی

دو مشخصه‌ی بسیار مهم در وزن مولکولی عبارت است از: متوسط عددی وزن مولکولی و متوسط وزن مولکولی. ویژگی‌های مکانیکی پوشش وابسته به عدد وزن مولکولی و گرانروی مذاب وابسته به عدد جرمی است. افزایش وزن مولکولی رزین موجب بهبود خواص مکانیکی می‌شود و همچنان باعث کاهش حساسیت محمل در برابر تحولات عوامل تغییردهنده‌ی ساختار پودر مانند تفاوت در وزن معادل اپوکسی و ارزش اسیدی می‌گردد. بنابراین، با افزایش وزن مولکولی، می‌توان شاهد افزایش گرانروی مذاب بود. این عامل می‌تواند بر فرآیند تولید پودر و پارامترهای سطحی لایه‌ی نهایی اثرگذار باشد.

۱-۲۲-۲: گروه‌های عاملی

گروه عاملی، بیانگر میانگین تعداد گروه‌های فعال هر مولکول است. معمولاً، با افزایش گروه‌های عاملی رزین، حساسیت نسبت رزین به سخت‌کننده، افزایش و مقاومت شیمیایی نیز بهبود می‌یابد. افزایش گروه عاملی، موجب کاهش سریع گرانروی مذاب در حین فرآیند تولید گردیده، ممکن است سبب ضعیف شدن جریان‌پذیری در هنگام پخت گردد. گروه‌های عاملی رزین باید در حالت اتصال با گروه‌های عاملی سخت‌کننده متصل باشند.

۱-۲۲-۳: دمای انتقال شیشه‌ای (T_g)

برای یک رزین بی‌شکل^۱، دمای انتقال شیشه‌ای، دمایی است که رزین از حالت شیشه‌ای به حالت ویسکوالاستیک تغییر شکل می‌دهد و در دماهای زیر T_g جریان پیدا می‌کند و در دمای کمتر از T_g حالت

غیرسخت شدن^۱ به وجود می‌آید. به همین علت، پوشش‌های پودری با T_g بالا پایداری فیزیکی خوبی در مدت انبارداری از خود نشان می‌دهند. هرچند که گرانروی مذاب با T_g رابطه‌ی مستقیم دارد و هر دوی آن‌ها به وزن مولکولی وابسته‌اند، به دلیل عدم تحرک کافی در دماهای کمتر از T_g بسپار و به حداقل رسیدن حرکت قطعه‌های بسپاری عامل کنترل‌کننده‌ی انجام واکنش‌های شبکه‌ای، وابسته به گروه‌های عاملی رزین و عامل سخت‌کننده نیست. در این حالت عامل تعیین‌کننده، در کنار یکدیگر قرارگرفتن گروه‌های عاملی رزین و سخت‌کننده است. برخی از عوامل که منجر به افزایش T_g می‌شوند، عبارت است از: وزن مولکولی، چگالی ایجاد پیوندهای عرضی^۲، گروه‌های جانبی، گروه‌های عاملی، قطبیت و تقارن که در زنجیر مولکولی رزین وجود دارند و ممانعت فضایی برای زنجیر ایجاد می‌کنند.

هرچه اختلاف بین T_g لایه‌ی سخت شده و دمای محیط کمتر باشد، تنش‌های درونی در داخل سامانه کمتر خواهد بود. T_g پوشش سخت‌شده روی مقدار تنش درونی ایجاد شده در پوشش، بر اثر سخت شدن یا سرد کردن اثر می‌گذارد. تنش ایجاد شده، به‌طور مستقیم با تفاوت میان پوشش و دمای محیطی که پوشش در آن سرد می‌شود، ارتباط دارد و به‌طور مستقیم روی میزان چسبندگی پوشش به زیرلایه اثر می‌گذارد.

۴-۲۲-۱: گرانروی

گرانروی، پارامتر بسیار مهمی است که بر مراحل گوناگون از قبیل ترشدن رنگدانه، اختلاط مذاب و تشکیل لایه اثر دارد. از لحاظ ترشدن رنگدانه، هرقدر گرانروی کمتر باشد، شانس رزین برای ورود به خلل و فرج ذرات رنگدانه بیشتر شده، در نتیجه ترشدن بهتر انجام می‌شود. اما

1- Non-sintering

2 -Crosslinking density

از لحاظ فرآیندی، در زمان اختلاط مذاب، هرقدر گرانروی مذاب رزین بیشتر باشد، نیروی برش و رانش ایجاد شده در داخل کanal اکسترودر بیشتر شده، اختلاط پراکنش بهتر انجام می‌گیرد. بنابراین، برای افزایش بازده اختلاط مذاب، دمای بهینه‌ای وجود دارد، هرچندکه این دما تا حدی به واکنش‌پذیری سامانه‌ی محمل وابسته است.

سال	۱۹۷۲	۱۹۶۹	۱۹۶۶	۱۹۶۲
میزان تولید بر حسب تن در سال	۵۸۰۰	۱۳۰۰	۵۰	۸

جدول ۲: میزان تولید پوشش‌های پودری در سال‌های ۱۹۶۲-۱۹۷۲ میلادی

تشکیل پیوند، جاری‌شدن و هم‌ترازی لایه یا پوشش نهایی، به عوامل متعددی که گرانروی مذاب یکی از آن‌هاست، بستگی دارد. گرانروی کم به مسطح و یکنواخت شدن لایه کمک می‌کند، اما برای رسیدن به این هدف طراحی و انتخاب دقیق رزین و همچنین درنظرگرفتن نوع عامل پخت و بهینه کردن ترکیب ضروری است.

فصل دوم

پوشش‌های قابل پخت با
اشعه‌ی فرابنفش

۱-۲: کاربرد پوشش‌های قابل پخت با اشعهٔ فرابنفش^۱

محصولات با پخت تابشی به خصوص پخت با اشعهٔ فرابنفش، دامنهٔ کاربرد بسیار گسترده و شگفت‌آوری پیدا کرده‌اند که به سرعت در حال گسترش نیز هست. عمدت‌ترین بازار مصرف آن‌ها در صنایع پوششی، ساخت مرکب‌ها، چسب‌ها و موارد جدید دیگر می‌باشد.



شکل ۲: طرح‌واره‌ای از دستگاه UV

از مواد پخت تابشی به عنوان پوشش شفاف یا رنگی کاغذ، جلد مجلات، اسناد بانکی، و پوشش پلاستیک جهت به کار بردن در فضای بیرونی یا داخلی ساختمان‌ها، پوشش وسایل ورزشی، کارت‌های اعتباری، قطعه‌های پلاستیکی اتومبیل، بطری‌ها و ظروف پلاستیکی، کف‌پوش‌های وینیلی، پوشش‌های روی چوب، پوشش‌های روی فلزات و کامپوزیت‌ها، پوشش روی پانل‌های کامپوزیتی و پلی‌استر، پوشش روی ظروف فلزی و پوشش‌های ویژه دیگر مانند: پوشش الیاف نوری، پوشش چرم و پارچه،

پوشش شیشه و آینه و ... استفاده می‌شود. مرکب‌های تهیه شده از مواد با پخت تابشی، بر روی فلز، کاغذ، چوب و پلاستیک‌ها به کار می‌روند.

۲-۲: مزايا و محدوديت‌ها

از محسن سیستم‌های پخت تابشی به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

۱. عدم وجود حلال
۲. مصرف کم انرژی
۳. فضای کم مورد نیاز برای تجهیزات
۴. سرعت زیاد پخت
۵. مقاومت شیمیایی و مکانیکی
۶. نسبت هزینه به کارایی مناسب
۷. دمای کم مورد نیاز سطح زیرین
۸. عدم کاهش ضخامت بعد از پخت

علاوه بر موارد فوق که مربوط به تمام سیستم‌های پخت تابشی (EB, UV) می‌گردد، سیستم‌های پخت با اشعه فرابنفش (UV) نسبت به سیستم‌های شعاع الکترونی (EB) دارای مزايايی هستند که شامل: سرمایه‌ی اولیه‌ی کمتر، هزینه‌ی نگهداری کمتر و عدم نیاز به محیط خنثی است. مواردی که استفاده از سیستم‌های پخت تابشی را تا حدی محدود می‌کند، عبارت است از:

۱. قیمت مواد اولیه‌ی این سیستم‌ها، نسبتاً بالاست و سرمایه‌ی اولیه‌ی بالایی برای تجهیزات مورد نیاز است. البته با در نظر گرفتن این که مراحل جداسازی و بازیافت حلال در این سیستم‌ها وجود ندارد، هزینه‌ی تمام شده‌ی محصول قابل رقابت است.
۲. خطرناک و سوزش‌آور^۱ بودن برخی از مواد اولیه‌ی مورد استفاده در این سیستم‌ها، مشکلاتی در حمل و نقل و کاربرد آن‌ها به وجود می‌آورد.

۳. به دلیل این که این ترکیبات، هنوز تأییدیه‌ی سازمان جهانی غذا و دارو را برای تماس مستقیم با مواد غذایی ندارد، استفاده از آن‌ها به کاربردهای صنعتی محدود شده است.

۲-۳: ترکیبات

ترکیب‌های رزینی که قابلیت پخت تابشی را دارند، می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی کرد:

۱. مخلوط‌های پلی‌استر - استایرن
۲. ترکیباتی با گروه‌های متاکریلیک
۳. مخلوط‌های تین - تیول
۴. پیش‌بسپارها^۱ و مونومرهای تک‌بسپار با عامل اکریلیک
۵. رزین‌های اپوکسی

در تمام این سیستم‌ها، واکنش‌های بسپارش زنجیره‌ای در اثر تشعشعات الکترومغناطیسی فرابنفش (UV) یا یونیزه‌کننده (EB) صورت می‌گیرد که در اثر آن مخلوط به یک شبکه‌ی بسپاری با اتصالات عرضی تبدیل می‌شود.

بسپارش زنجیره‌ای، دارای سه مرحله‌ی: آغاز، پیشرفت و پایان است. در مرحله‌ی آغاز، اجزای فعال به وجود می‌آیند که در تابش فرابنفش از تجزیه‌ی شیمیایی یک آغازگر نوری و در پخت با یک شعاع الکترونی EB از اثر متقابل الکترون‌های شتاب‌دار با ترکیبات آلی حاصل می‌شوند.

در ترکیب‌های رزینی شماره ۱ تا ۴ بالا، بسپارش رادیکالی اتفاق می‌افتد، بدین ترتیب که از تجزیه‌ی آغازگر نوری، رادیکال‌های آزاد تشکیل می‌شوند که با پیوندهای دوگانه‌ی کربن - کربن، واکنش می‌دهند.

در رزین اپوکسی، اجزای فعال اسیدی تشکیل می‌شوند که با ترکیبات حلقوی آلیفاتیک اپوکسی و وینیل‌اترها واکنش داده، تشکیل یک شبکه با

اتصالات عرضی می‌دهند. رزین‌های پلی‌استر – استایرن، ارزان‌تر از سیستم‌های دیگر هستند و در پوشش‌های چوب به کار می‌روند. مشکل اصلی این سیستم‌ها وجود استایرن فرآر و سرعت کم پخت آن‌ها است. محصولات دارای گروههای متاکریلات، در مواردی به کار می‌روند که سرعت پخت در خط تولید اهمیت کمی داشته باشد و بیش‌تر به صورت ترکیب با اکریلات‌ها در کاربردهای خاص مانند صنایع الکترونیک برای افزایش چسبندگی استفاده می‌شود. مخلوطهای تین - تیول می‌توانند فیلم‌های بسیار انعطاف‌پذیر تولید کنند ولی بوی تند آن‌ها، مانع جدی برای استفاده از این مواد است.

رزین‌های اپوکسی، چسبندگی خوبی به اکثر سطوح دارند و برای مصرف بسته‌بندی غذایی نیز مناسب هستند. مشکل عمده‌ای که استفاده از آن‌ها را محدود کرده، قیمت بالای مواد اولیه و همچنین محدود بودن آغازگرهای نوری سازگار با آن‌هاست. این ترکیبات برای پوشش‌های حفاظتی و فولادی و محصولات پلاستیکی و کاغذی به کار می‌روند و بیش‌تر در مواردی استفاده می‌شوند که نیاز به چسبندگی زیاد به فلزات باشد یا در مواردی که نفوذ اکسیژن باید خیلی کم باشد.

۲-۴: سامانه‌های قابل پخت با تابش فرابنفش بر پایه‌ی اکریلات‌ها

سیستم اکریلاتی قابل پخت با تابش فرابنفش معمولاً شامل چهار جزء اصلی زیر است:

۱. پیش‌بسپار یا الیگومر که ۹۰ - ۲۵ درصد از ترکیب را شامل می‌شود.
۲. مونومرها یا رقیق‌کننده‌های واکنش‌گر که ۶۰ - ۱۵ درصد از ترکیب را تشکیل می‌دهند.
۳. افزودنی‌ها و پرکننده‌ها که می‌توانند ۵۰ - ۱ درصد از ترکیب را شامل شوند.
۴. آغازگرهای نوری که ۳ - ۱ درصد از ترکیب را تشکیل می‌دهند.

۱-۴-۲: الیگومرها

ویژگی‌های اصلی یک محصول با پخت اشعه‌ی، بستگی به نوع الیگومر مورد استفاده دارد. طیف وسیعی از الیگومرهای اکریلاتی تجاری در بازار پخت تابشی وجود دارد که انواع اصلی آن‌ها را می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم کرد:

- اپوکسی اکریلات‌ها
- پلی‌استر اکریلات‌ها
- پلی‌اتر اکریلات‌ها
- یورتان اکریلات‌ها

رزین‌های اپوکسی - اکریلیک، بیشترین مصرف را در بین الیگومرهای اکریلاتی دارند. دو نوع اصلی این الیگومرها اپوکسی‌های آروماتیک و اپوکسی‌های آلیفاتیک است. این رزین‌ها به‌طور کلی در کاربردهایی که نیاز به فیلم‌های سخت با مقاومت شیمیایی بالا و پخت سریع دارند به‌کار می‌روند و از نظر قیمت کلی، نسبتاً ارزان هستند. اپوکسی‌های آروماتیک، گرانروی بیشتری دارند و نیاز به رقیق‌کننده‌های مونومری دارند. از طرف دیگر، اپوکسی‌های آلیفاتیک گران‌قیمت‌تر هستند و تنها در کاربردهای خاص مانند آسترها پایه‌ی آبی پارکت استفاده می‌شوند.

رزین‌های پلی‌استر اکریلات، به‌طور کلی ویسکوزیته‌ی کمی دارند و اغلب نیاز به رقیق‌کننده ندارند و یا این‌که به مقدار خیلی کم از رقیق‌کننده استفاده می‌شود. این ترکیب‌ها، انواع متنوعی دارند و برای دامنه‌ی وسیعی از پوشش‌ها می‌توانند مناسب باشند، تفاوت آن‌ها در میزان عوامل فعال، مونومر مورد استفاده در ساخت پلی‌استر و جرم مولکولی آن‌هاست. محدودیتی که این مواد دارند، جرم مولکولی پایین و فعالیت برخی ترکیب‌های آن‌هاست که خطرناک و سوزش‌آور هستند. به‌طور کلی می‌توان گفت که پلی‌استر اکریلات‌ها، ویژگی‌هایی بین یورتان اکریلات‌ها و اپوکسی اکریلات‌ها دارند.

پلی اتر اکریلات‌ها، رزین‌هایی با ویسکوزیته‌ی پایین هستند، به‌طوری که ویسکوزیته‌ی برخی از آن‌ها در حد مونومرهایی با ویسکوزیته متوسط است. این مواد انعطاف‌پذیری بالایی دارند. برخی از آن‌ها سازگاری خوبی با آب نشان می‌دهند و می‌توان در ترکیب‌های رقیق‌شونده با آب نیز استفاده کرد. مشکل اصلی این دسته از الیگومرها، مقاومت کم در برابر آب و مواد شیمیایی است. به همین دلیل اغلب همراه با الیگومرها دیگر و یا مونومرهای ویژه استفاده می‌شوند.

یورتان اکریلات‌ها از واکنش پلی‌ایزوسیانات‌ها با هیدروکسی‌الکیل اکریلات‌ها ساخته می‌شوند و بسیار متنوع هستند. عوامل مهمی که در انواع گوناگون این ترکیب‌ها تغییر می‌کند: میزان گروه‌های فعال، نوع ایزوسیانات، نوع پلی‌ال و جرم مولکولی است.

یورتان اکریلات‌ها به دو نوع آلیفاتیک و آروماتیک نیز تقسیم می‌شوند. یورتان‌های آروماتیک، مقاومت جوی بیشتری دارند و بیشتر در محیط‌های باز از آن‌ها استفاده می‌شود.

۲-۴-۲: مونومرها

در سیستم‌های پخت تابشی به جای حلal از رقیق‌کننده‌های واکنش‌گر (مونومرها) برای کاهش ویسکوزیته‌ی پیش‌بسپارها استفاده می‌شود. این رقیق‌کننده‌ها می‌توانند در فرآیند اتصالات عرضی در داخل شبکه‌ی به وجود آمده، جای گیرند. مونومرهایی که به این منظور استفاده می‌شوند، علاوه بر کاهش ویسکوزیته‌ی محلوط، بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نهایی نیز اثر می‌گذارند و برای بهبود خواصی نظری: چسبندگی، واکنش‌پذیری، مقاومت شیمیایی، مقاومت خراش، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

مونومرهای مورد استفاده را می‌توان به سه گروه زیر تقسیم کرد:

۱. مونومرهای تک‌عاملی مانند، ایزوبورنیل اکریلات که انعطاف‌پذیری محصول نهایی را بالاتر می‌برند.

۲. مونومرهای دو عاملی مانند: هگزان دی ال دی اکریلات^۱ و تری پروپیلن گلیکول دی اکریلات^۲.

۳. مونومرهای چند عاملی مانند: تری متیلوپروپان تری اکریلات^۳ که تراکم اتصالات عرضی پوشش نهایی را افزایش می‌دهند.

۲-۴-۲-۱: گروههای عاملی

هرچه تعداد گروههای عاملی مونومرها بالاتر باشد، واکنش‌پذیری آن‌ها بالاتر است. از طرف دیگر هرچه تعداد گروههای عاملی پایین‌تر باشد، گرانزوی کم‌تر است و انباسته شدن در واکنش بسیارش نیز کم‌تر می‌باشد. به همین دلیل اغلب برای افزایش چسبندگی به سطوح فلزات و پلاستیک‌ها مونومرهایی با تعداد گروههای عاملی پایین استفاده می‌شوند.

۲-۴-۲-۲: نوع اسکلت شیمیایی مونومرها

شامل سه گروه عمده‌ی هیدروکربن‌ها، اترها و مواد دیگر است. مونومرهای هیدروکربنی دارای کشش سطحی پایین بوده، در نتیجه برای بهبود خواص ترک‌کنندگی و چسبندگی مناسب می‌باشند. ویژگی‌هایی مانند: انعطاف‌پذیری بالا، زردشیدگی خیلی کم و مقاومت عالی در برابر آب را نیز دارا هستند. مونومرهایی از نوع اتری، قطبیت بالاتری دارند و در نتیجه واکنش‌گری آن‌ها بالا است.

1 - HDDA
2 - TPGDA
3 - TMPTA

۲-۴-۲: ساختار شیمیایی

مونومرها از نظر ساختار شیمیایی به سه گروه حلقوی، شاخه‌دار و خطی تقسیم می‌شوند و مهم‌ترین اثر این ساختار بر روی دمای انتقال شیشه‌ای مونومر است.

۲-۴-۲-۴: جرم مولکولی

هر چه جرم‌مولکولی مونومر پایین‌تر باشد، ویسکوزیته کمتر و واکنش‌گری بالاتر است. مونومرهای اکریلات چند عاملی که عمده‌ترین رقیق‌کننده‌های مورد استفاده هستند، اکثراً دارای بوی تند بوده، باعث سوزش چشم می‌گردند. افزون برآن، این مواد موجب افزایش انباشه شدن^۱ در سیستم می‌شوند که این امر استفاده از آن‌ها را برای سطوح انعطاف‌پذیر، مشکل می‌نماید.

۲-۴-۳: افزودنی‌ها و پرکننده‌ها

افزودنی‌ها در برخی موارد می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در خواص نهايی سیستم‌های پخت تابشی داشته باشند. افزودنی‌هایي مانند رنگدانه‌ها و پرکننده‌ها برای کنترل قیمت یا کنترل گرانروی، ضدکف، عامل ترک‌کنندگی و عوامل هم‌سطح‌کننده، نقش اساسی در سیستم‌های پوشش دارند.

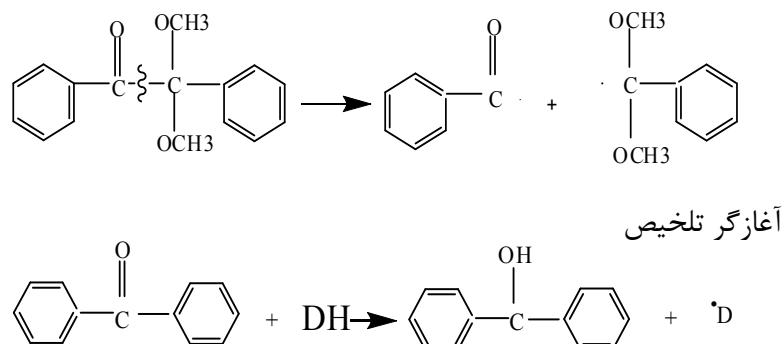
۲-۴-۴: آغازگرهای نوری

آغازگرهای نوری از اجزای اصلی سیستم‌های پخت با اشعه‌ی فرابنفش هستند و آن‌ها را می‌توان به دو دسته‌ی زیر تقسیم کرد:

۱. آغازگرهای نوری که رادیکال‌های آزاد را از طریق تلخیص بین مولکولی هیدروژن تولید می‌کنند؛ مانند: بنزووفون. این مواد نیاز به یک آغازگر کمکی مانند آمین‌های نوع سوم دارند.

۲. آغازگرهای نوری که رادیکال‌ها را از طریق شکافت نوری بین مولکولی تولید می‌کنند؛ مانند بنزوئین اترها.

۱-۴-۲: ساختار بعضی از آغازگرهای نوری آغازگر شکاف نوری



۵-۵: مزایای پوشش‌های سخت‌شونده با پرتو فرابنفش^۱
۱) پیش از مرحله‌ی سخت شدن، پوشش مقاومت سایشی و شیمیایی ندارد و چسبنده است

در فرآیند اکستروژن (روزنرانی) پس از ولکانش لاستیک، روی لاستیک اکستروف شده، پوشش‌های معمولی بر پایه‌ی پراکنش پلی‌یورتان^۲ که حاوی روان‌سازند، پاشیده می‌شود. پس از اعمال پوشش، مرحله‌ی سخت شدن آن به اجرا درمی‌آید. این مرحله، شامل مجموعه‌ای از تونل‌هاست که یا به روش همرفت^۳ یا به کمک امواج میکروویو و مادون قرمز گرم می‌شوند. پس از مرحله‌ی سخت شدن، پوشش مقاومت شیمیایی و سایشی ندارد و حتی هنگامی که حلal آن (چه آب و چه حلal

1 - Benefits of UV Curable Coating

2 - PUD

3 - Convection

های آلی) تبخیر می‌شود، باز هم چسبنده است. سخت شدن با گرما می‌تواند، واکنش دادن عامل ایجادکننده پیوندهای عرضی با گروههای OH آزاد را آسان کند که در پی آن پلی‌یورتان دارای پیوند عرضی، به طور کامل به وجود می‌آید.

۲) سامانه‌های پوشش سخت‌شونده با فرابنفش در کمتر از یک ثانیه سخت می‌شوند

یکی از مهم‌ترین مزایای پوشش‌های سخت‌شونده با تابش فرابنفش در مقایسه با پوشش‌های هوaxشک و سخت‌شونده با گرما، سرعت سخت شدن آن‌هاست. این نوع پوشش‌ها، در کمتر از یک ثانیه سخت می‌شوند. این در حالی است که پوشش‌های هوaxشک ویژه‌ی چوب، برای سخت شدن کامل به چند دقیقه یا حتی چند ساعت زمان نیاز دارند. چنین اختلافی در سرعت سخت شدن، امکان ایجاد خطوط تولید سریع‌تر و در نتیجه اقتصادی‌تر را در پی دارد.

از آنجا که سازوکار سخت شدن با پرتوهای فرابنفش با سازوکار معمولی آن تفاوت دارد، لایه‌ی سخت‌شده با تابش فرابنفش از نظر شیمیایی مقاوم‌تر است که علت آن، تشکیل شبکه‌ی مستحکمی از پیوندهای قوی کووالانسی است، پوشش‌های سخت‌شونده با تابش فرابنفش که ویژه‌ی چوب می‌باشند، صدرصد از نوع سامانه‌های مونومری هستند. این بدان معنی است که هیچ نوع حلال اضافی ندارند و تنها دارای مونومرها (یا الیگومرها) و ترکیب‌های جامدی نظیر رنگ‌دانه‌ها و پرکننده‌ها هستند.

۳) تلفیق فن‌آوری پرتو فرابنفش با فرآیند اکستروژن برای پوشش‌دهی

پوشش‌های فلور و بسیارهای سخت‌شونده با گرما، ویژه‌ی سطوح لاستیکی به طور کامل به روش شیمیایی، پیوند عرضی دار می‌شوند. دلیل واقعی به کارگیری فن‌آوری تابش فرابنفش، اصلاح مقاومت شیمیایی نیست؛ هدف واقعی آن است که علاوه بر داشتن مزایای پوشش‌های

سخت‌شونده با گرما، روش تولیدی کوتاه، سریع و تقریباً فوری ابداع شود. با مرتبط کردن و انتقال دادن مزایای سامانه‌های پوشش سخت‌شونده با تابش فرابنفش به فرآیند اکستروژن، مزایایی نیز به دست می‌آید.

۴) صرفه‌جویی در فضای کار

طول لازم برای خشک کردن بهوسیله‌ی تابش فرابنفش حدود ۵ متر است که با فضای مورد نیاز برای اتاقک پاشش معادل است، در حالی که فضای اشغال‌شده با گرمکن‌های مرسوم از نوع هوای داغ، چیزی حدود ۳۰ متر است. منبع گرمایی مورد استفاده در فرآیند پوشش‌دهی، مجموعه‌ی کوتاهی از لامپ‌های مادون قرمز است. این مجموعه از آن جهت ضرورت دارد که پیش از انجام سخت‌شدن با تابش فرابنفش در کلیه‌ی سامانه‌های بر پایه‌ی آب، حتماً باید آب از محیط عمل خارج شود.

۵) آسانی نصب تجهیزات

تجهیزات مورد نیاز برای سخت‌شدن با تابش فرابنفش را می‌توان به راحتی روی خط موجود پوشش‌دهی با استروژن نصب کرد، ضمن آن که هزینه‌های گزاف مربوط به فضای اشغال شده بهوسیله‌ی مجموعه‌ی گرمکن‌های تونلی شکل را نیز در پی ندارند.

۶) افزایش سرعت تولید

در دو سال اخیر، روش‌های جدید و متعدد فرآیند اکستروژن گسترش یافته است. خطوط تولید پروفیل لاستیک EPDM^۱، بهویژه انواعی که به عنوان درزگیر پنجره به کار می‌روند، قابلیت کار با سرعت ۵۰m/min را دارند. در سامانه‌های پوشش، پلی‌یورتان پراکنش (PUD) که به تازگی به کار بردۀ می‌شوند، در نتیجه امکان سخت‌شدن با سرعت تولید زیاد وجود ندارد. دلایل این امر بدین قرار است:

- گرمکن‌های پرظرفیت با طول تقریبی ۱۰۰ متر مورد نیاز است که خود مستلزم سرمایه‌گذاری سنگین برای ماشین‌آلات، مصرف زیاد انرژی

برای گرم کردن و نیز فضای وسیعی برای کار است و در حالت عدم وجود چنین فضایی، مؤسسه‌های تولید در جای مناسب خود مستقر نمی‌شوند.

- از آن جا که پیش از پخت کامل، پوشش‌های پلی‌پورتان پراکنش (PUD)، نسبتاً چسبنده هستند، لازم است که پروفیل اکسترود شده EPDM، در سرتاسر تونل گرم کن با هیچ جسمی تماس پیدا نکند. این کار در مورد گرم‌کن‌های متداول فعلی ممکن است؛ اما اجرای آن، در خطوط تولید سریع چندان عملی و ساده نیست.

۷) کم بودن هزینه‌ی سوخت و انرژی

در استفاده از گرم‌کن‌های تونلی پیش از پوشش‌دادن پروفیل اکسترود شده، لازم است تونل‌ها، پیش گرم^۱ شوند و زمانی که خط اکستروژن خالی از مواد است، باید دمای تونل‌ها همچنان ثابت بماند. در سامانه‌های شامل لامپ فرابنفش این امکان وجود دارد که چنان‌چه نیازی به انرژی گرمایی نباشد، لامپ‌ها فوراً خاموش و در حالت نیاز به گرم‌کن به‌طور مجدد روشن شوند.

۸) کاهش ضایعات

در هر فرآیند پیوسته همانند اکستروژن، برای آن که شرایط کاری مورد نظر به اجرا درآید، همواره مقداری ضایعات به وجود می‌آید. در فرآیند پوشش‌دهی قطعات در حال اکسترود شدن، لازم است ضخامت فیلم تر و خشک در حد مناسب و درست باشد. در حال حاضر برای خشک کردن لایه‌ی پوشش پلی‌پورتان پراکنش سخت‌شونده با گرما، به مدت زمان ۷۵ تا ۳ دقیقه و سرعت اکستروژن $15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ نیاز است. بدیهی است که تا رسیدن به ضخامت مناسب و مورد نظر، مقداری ضایعات (متناسب با زمان سخت شدن) به وجود می‌آید، به علاوه باید دستگاه‌های پاشش را چندین بار تنظیم کرد. در فرآیند پوشش‌دهی به کمک تابش فرابنفش، از آن جا که مدت زمان سخت شدن بسیار کوتاه است، ضایعات ناشی از فرآیند

اکستروژن، که به طور معمول پروفیل است، به همین نسبت کاهش پیدا می‌کند.

فصل سوم

فصل سوم
پوئشش‌های پر جامد

۱-۳: انواع پوشش‌های پر جامد^۱

در اواسط دهه‌ی شصت میلادی، توجه به مشکلات زیست‌محیطی و اقدام برای رفع آسیب‌های زیان‌بار ناشی از رها شدن مواد آلی فرّار به داخل اتمسفر، تولید کنندگان رنگ در کشورهای پیشرفته صنعتی را بر آن داشت تا پوشش‌های پر جامد یا به عبارتی پوشش‌هایی با ۸۰ تا ۸۰ درصد وزنی مواد غیر فرّار را مورد توجه بیشتری قرار دهند. انواع این پوشش‌ها عبارت است از:

۱. رزین آلکیدیلی استرها
۲. رزین اپوکسی
۳. پلی یورتان‌ها
۴. آکریلیک‌ها

۲-۳: عوامل مؤثر بر گزینش پوشش‌های پر جامد

در طراحی و انتخاب پوشش‌های پر جامد، عوامل متعددی دخیل است؛ بی‌شک شناخت این عوامل، تولید کنندگان و صنعت‌گران را یاری می‌دهد تا محصول مورد نظر خود را با دقت و اطمینان بیشتری برگزینند.

۱-۲-۱: نوع روغن

روغن‌های به کار رفته در تهیه‌ی رزین‌های آلکید، اغلب روغن‌های گیاهی هستند که ترکیب‌های خالصی نبوده، به طور عمده متشکل از تری‌گلیسریدهای اسید چرب هستند. این اسیدهای غیر اشباع دارای

مراکز فعال می‌باشند، البته تعداد و موقعیت پیوندهای دوگانه در طول زنجیر، خود عامل تعیین‌کننده‌ی مهمی روی ویژگی‌های اسید چرب است.

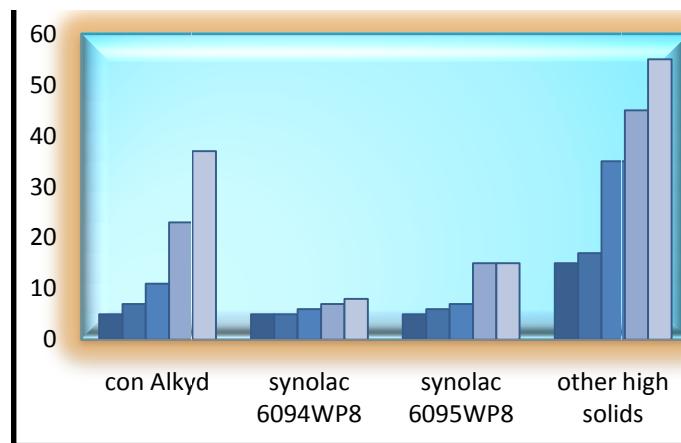
۳-۲-۲: وزن مولکولی

اگر وزن مولکولی رزین کم باشد، ویژگی‌های فیزیکی پوشش ضعیف می‌شود. مثلاً خشک شدن کنتر و سختی فیلم حاصل، نسبتاً کم‌تر می‌گردد. رزین با وزن مولکولی کم از راه واکنش با اکسیژن هوا، اتصالات عرضی تشکیل می‌دهد و با ازدیاد وزن مولکولی، فیلمی پایدار و سخت ایجاد می‌شود. در پوشش‌های پر جامد رابطه‌ی میان گرانروی محلول بسپار، غلظت و وزن مولکولی بسپار به‌طور تقریبی از معادله‌ی زیر پیروی می‌کند:

$$\log \eta = nvm KM^{0/5}$$

که در آن η گرانروی، m وزن مولکولی، nvm میزان مواد غیرفرار یا همان درصد وزنی جامد و K ثابت تجربی است که به بسپار یا رزین موجود، حلال و دمای کاربرد وابسته است. ثابت ماندن گرانروی، موضوع مهمی است که در پوشش‌های پر جامد همواره باید آن را مدنظر داشت.

با توجه به معادله‌ی بالا، می‌توان نتیجه گرفت که با دو برابر شدن درصد وزنی جامد (مثلا از ۳۵ درصد به ۷۰ درصد)، لازم است جرم مولکولی رزین مصرفی یک‌چهارم شود تا گرانروی ثابت مانده، در عملیات پوشش‌دهی اشکالی پیش نیاید.



شکل ۳: سرعت خشک شدن پوشش‌های پرجامد الکیدی با انواع ضخامت

۳-۲-۳: توزیع وزن مولکولی

رزین‌های با وزن مولکولی کم بر چسبندگی، انعطاف‌پذیری و درخشندگی اثر مثبت به جای می‌گذارند. اجزای سازنده با وزن مولکولی زیاد، موجب می‌شوند که فیلم پوشش داده شده، سریع‌تر خشک و سخت گردد و در برابر حلال‌ها مقاوم‌تر باشد. برای بالا بردن کیفیت پوشش پرجامد، اجزای با وزن مولکولی خیلی کم یا خیلی زیاد، باید از ترکیب رزین حذف شوند.

یک روش مناسب آن است که ابتدا بسپار را در حلal به‌طور کامل حل کرده، با افزودن غیرحلال دوباره آن را رسوب داد تا بسپاری با توزیع وزن مولکولی بهتر به‌دست بیاید. یادآور می‌شود که این عامل بیش‌تر جنبه‌ی علمی داشته، در صنعت به آن توجه نمی‌شود؛ چون جدا کردن اجزای با وزن مولکولی خاص هزینه‌بر است.

۳-۲-۴: اثر شاخه

گرانروی بسپارهای شاخه‌ای نسبت به بسپارهای خطی (با وزن مولکولی یکسان)، کم‌تر است. به همین دلیل بهتر است در فرمول‌نویسی پوشش‌های پرجامد، از بسپارهای پرشاخه‌تر استفاده شود.

۳-۲-۵: گروه‌های عاملی

میان گروه‌های هیدروکسیل و گروه‌های استری که در ترکیب آlkیدها به کار می‌رond، نیروهای بین مولکولی قوی وجود دارند که عامل بسیار مهمی در افزایش گرانروی محسوب می‌شوند. مقادیر اندکی از کتون‌ها و الکل‌ها، اثر بسیار قابل توجهی در کاهش ناگهانی گرانروی پوشش‌های پر جامد دارند و می‌توان از عوامل پوشاننده‌ی گروه‌های هیدروکسیل استفاده کرد. به همین دلیل، در ترکیب آlkیدهای پر جامد از کلروتری‌متیل‌سیلان به عنوان پوشاننده‌ی گروه‌های هیدروکسیل استفاده می‌شود. به هنگام مصرف، از سامانه‌های کاتالیزگر اسیدی بالا استفاده می‌شود تا عوامل پوشاننده‌ی گروه‌های عاملی از سامانه خارج شوند.

۳-۲-۶: حلال

مقدار حلال در سامانه‌های پر جامد تا حد ممکن کاهش یافته است. پس شکی نیست که گزینش حلال امری حساس است. یکی از دلایل استفاده از حلال، کنترل نحوه جریان یافتن، به هنگام اعمال پوشش و کمی پس از آن است. در پوشش‌های معمولی و متداول که درصد جامد آن‌ها چندان زیاد نیست، با تبخیر حلال، گرانروی افزایش می‌یابد. اما در پوشش‌های پر جامد به دلیل کم بودن وزن مولکولی، پس از تبخیر حلال، پوشش هم‌چنان روان باقی می‌ماند. البته باید توجه داشت که روان بودن پوشش نباید خیلی هم زیاد باشد، چرا که در این حالت، رنگ از روی سطح روان می‌شود یا به اصطلاح شره می‌کند.

بهتر است، حلال با توجه به مقدار پارامترهای انحلال‌پذیری حلال و رزین انتخاب شود. اگر پارامتر انحلال‌پذیری حلال و ماده‌ی حل شونده برابر یا نزدیک هم باشد، انحلال کامل است. سرعت تبخیر حلال با کاهش یافتن میزان آن کندتر می‌شود. سرعت تبخیر بهویژه در مراحل انتهایی فرآیند، کندتر است که به علت غلظت زیاد حل شونده است. حلال باید

بتواند به راحتی به درون سطح کار نفوذ کند. نرم‌کننده‌ها نیز سرعت تبخیر حلال را بیشتر می‌کنند.

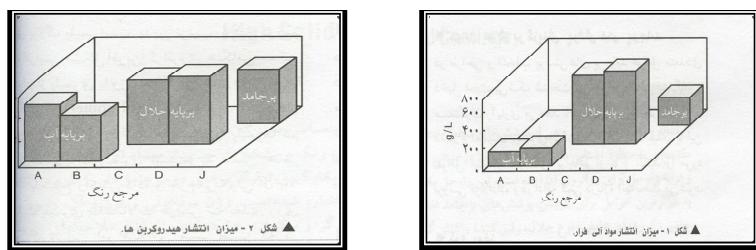
۲-۷: رقیق‌کننده‌ی واکنش‌گرا

یک راه بسیار مناسب برای تهیه‌ی پوشش‌های پرجامد، استفاده از رقیق‌کننده‌ی واکنش‌گرا است. رقیق‌کننده‌های واکنش‌گرا ترکیبی با وزن مولکولی کم هستند که به راحتی روان می‌شوند و پس از انجام واکنش سخت شدن، روی سطح کار لایه‌ای یک پارچه به وجود می‌آورند. واکنش سخت شدن، به طور معمول با افزایش دما یا با استفاده از کاتالیزگرهای آغاز می‌شود.

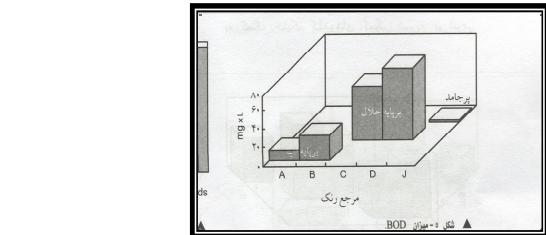
۲-۸: ترکیب‌های خشک‌کننده

خشک‌کننده‌ها به طور معمول، کمپلکس‌های صابون‌های فلزی هستند که واکنش خوداکسایشی را کاتالیز می‌کنند. انواع کبالت، سرب و منگنز جز خشک‌کننده‌های اصلی هستند، ولی اکثرًا در کنار آن‌ها یک خشک‌کننده‌ی کمکی مانند انواع کلسیم‌دار یا زیرکونیوم‌دار هم وجود دارد. خشک شدن کامل^۱ یعنی خشک شدن کل ماده‌ی موجود در پوشش. پس از خشک شدن سطح لایه است که به کمک خشک‌کننده‌های کمکی تسریع می‌شود.

1 - Through drying



شکل ۱ - میزان انتشار مواد آتی فزار



شکل ۲: مقایسه‌ی پوشش‌های پر جامد با سایر پوشش‌های متداول

سازوکار خشک شدن در سطح لایه، با سازوکار خشک شدن مواد در زیر سطح تفاوت‌هایی دارد. حضور اکسیژن و تبخیر سریع حلال در سطح موجب می‌شود، سطح کار زودتر از کل پوشش خشک شود. گاهی این امر منجر به این برداشت غلط می‌شود که رنگ خشک شده، واکنش‌های آن به اتمام رسیده است. به همین دلیل، خشک‌کننده‌های کمکی اهمیت زیادی دارند. بعویظه مقدار آن‌ها در فرمول نویسی رنگ، باید به دقت معلوم باشد.

بسیاری از فلزات واسطه، جایگزین مناسبی برای خشک‌کننده‌های اکسیدانی محسوب می‌شوند. استفاده از خشک‌کننده‌های غیراکسیدانی مثل آلومینیوم در گروه خشک‌کننده‌های کمکی به تازگی متداول گردیده است. البته خشک شدن آن‌ها از راه ایجاد اتصالات عرضی سه بعدی رخ می‌دهد، از این‌رو، در پوشش‌های ضخیم، کیفیت کار بسیار بالا خواهد رفت. باید توجه داشت که با بیشتر شدن ضخامت پوشش لایه، زمان کامل خشک شدن، به شکل نمایی افزایش می‌یابد.

فصل چهارم
پوشش‌های بر پایه‌ی آب
و سایر پوشش‌ها

۱-۴: انواع پوشش‌های بر پایه‌ی آب^۱

پوشش‌های بر پایه‌ی آب، سامانه‌هایی هستند که آب حلال اصلی آن‌ها به‌شمار می‌رود. پژوهش دربارهٔ پوشش‌های بر پایه‌ی آب، از دههٔ ۱۹۵۶ میلادی آغاز شد و امروزه با گذشت بیش از پنج دهه، کاربرد متنوعی پیدا کرده‌اند.

برای سال‌ها، پوشش‌های بر پایه‌ی آب از نظر شیمیایی، ضعیفترین اعضای سامانه‌های پوشش‌های بر پایه‌ی حلال به‌شمار می‌رفت. اما در سال‌های اخیر با توجه به سخت‌تر شدن مقررات زیست‌محیطی، سازندگان پوشش‌های بر پایه‌ی آب، اولویت زیادی برای این پوشش‌ها قایل شده‌اند.

الف: پوشش‌های رقیق‌شونده با آب^۲

رزین‌های موجود در این پوشش‌ها، در آب محلول نیستند، بلکه ابتدا در یک حلال آماده شده، سپس با آب رقیق می‌شوند. به طور کلی تمام رزین‌هایی که دارای گروه عاملی کربوکسیلیک‌اسید می‌باشند و با آمین‌هایی با جرم مولکولی کم، خنثی شده‌اند و تمامی رزین‌هایی که دارای گروه عاملی آمینی هستند و با اسیدهایی با جرم مولکولی پایین، خنثی شده‌اند، می‌توانند به عنوان رزین سازنده‌ی نوع رنگ‌های بر پایه‌ی آب، مورد استفاده قرار بگیرند.

ب: پوشش‌های بر پایه‌ی لاتکس^۳

محصول بسپارش تعلیقی برخی از انواع مونومرها در آب، لاتکس نامیده می‌شود. لاتکس پس از اضافه کردن رنگ‌دانه و افروزنده‌های خاص، به

1 - Waterborne Coatings

2 - water – reducible coatings

3 - Latex – based coating

عنوان پوشش، قابل استفاده است و به نام رنگ لاتکسی معروف می‌باشد. در این نوع پوشش‌ها، عمل تعليق رزین در آب صورت می‌گیرد. مصرف عمده‌ی این نوع پوشش‌ها، در نمای خارجی و داخلی ساختمان است. در این نوع پوشش، عمل تعليق رزین در آب صورت می‌گیرد. انواع رزین‌های مصرفی در پوشش لاتکس عبارت است از: آکریلیک، استیرن، بوتادیان و

ج: پوشش‌های امولسیونی^۱

در این نوع پوشش نیز از حلالی استفاده نمی‌شود و عمل تعليق رزین، به کمک آب صورت می‌گیرد. کاربرد متفاوت و گستره‌ی این نوع رزین‌ها، آن‌ها را از رده‌بندی پوشش‌های بر پایه‌ی لاتکس جدا می‌کند. از معروف‌ترین رزین‌های مصرفی در پوشش‌های امولسیونی، رزین اپوکسی‌بیس‌فنول آ را می‌توان نام برد. این نوع رزین‌ها در پوشش دیوارهای بیمارستان‌ها و ظروف تهیه‌ی غذا به کار می‌روند.

۱-۱-۴: مزایا و معایب

یکی از مهم‌ترین مزایای پوشش‌های بر پایه‌ی آب، کاهش شدید ترکیب‌های آلی فرآر (VOC)^۲ در آن‌هاست. که باعث می‌شود تا این نوع پوشش‌ها، جواب‌گوی سخت‌ترین مقررات زیستمحیطی باشند. میزان آلانددها در پوشش‌های بر پایه‌ی آب، دارای حد VOC زیر ۲۵ درصد است و از آن‌جا که این نوع پوشش‌ها به جای حلال، ابتدا با آب رقیق می‌شوند، می‌توان آن‌ها را با آب و صابون پاک کرد. بنابراین برای کاربران موجب صرفه‌جویی زیادی در هزینه‌ی حلال می‌شود.

کاهش بو در هنگام کار و حذف خطرهای ناشی از آتش‌گیری، از دیگر عوامل کاهش هزینه است که نتیجه‌ی آن، پایین آمدن حق بیمه و بالا رفتن ایمنی کار می‌گردد.

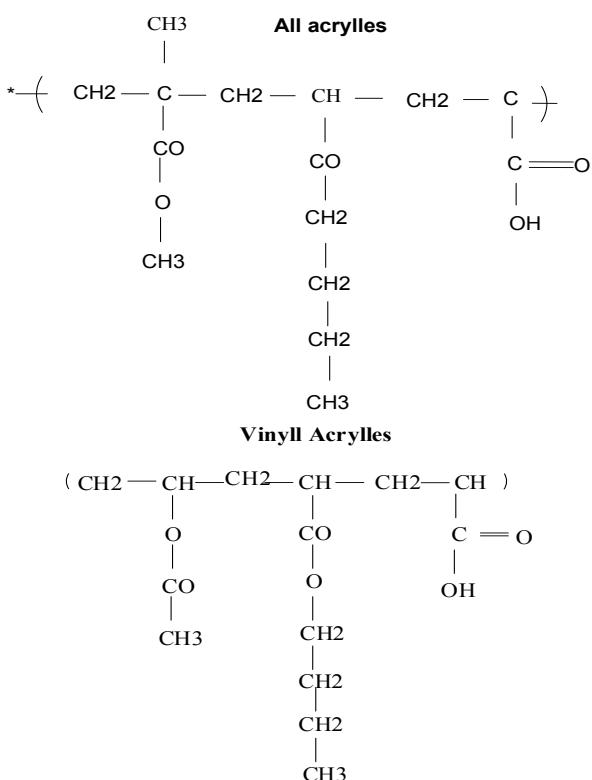
1- Emulsion coatings

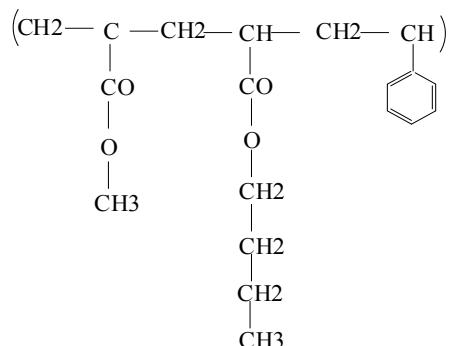
2 -VOC: Volatile Organic Compound

پوشش‌های بر پایه‌ی آب، روی اغلب سطوح مانند: فلز، پلاستیک، چوب، شیشه و مصالح ساختمانی با انواع روش‌های رنگ‌کاری مانند: افشاردن، غوطه‌وری یا پوشش‌دهی الکترواستاتیک قابل اعمال می‌باشد. برخی از پوشش‌های بر پایه‌ی آب، هواخشک و برخی از آن‌ها به پخت نیاز دارند.

کاربرد پوشش‌های بر پایه‌ی آب محدود است. این پوشش‌ها فقط تا ضخامت فیلم خشک در حدود $1/2\text{ mils}$ (۶۰ میکرو) کارایی خوبی دارند و هنگامی که رطوبت زیاد باشد، خشک شدن پوشش‌های بر پایه‌ی آب، بیش‌تر طول می‌کشد. بنابراین، سامانه‌های گردش هوا یا خروج بخارهای پوشش‌دهی گران‌تر است.

۴-۱-۲: ساختار برخی رزین‌های بر پایه‌ی آب



Styren Acrylates

۴-۲: انواع پوشش‌های ضدخزه و اهمیت استفاده از آن‌ها در سازه‌های دریایی و اجسام شناور در آب^۱

نخستین بار در قرن هجدهم میلادی، کشتی‌هایی با بدنه‌ی مسی ساخته شدند که در مقایسه با کشتی‌های معمولی، بدنه‌ای مقاوم‌تر داشتند. بعد از آن در قرن نوزدهم میلادی، کشتی‌هایی با بدنه‌ی فولادی ساخته شدند. با این حال در آب دریا، موجودات دریازی زیادی زیست می‌کنند که به بدنه‌ی کشتی‌ها صدمه می‌زنند، به این منظور پوشش‌های ضدخزه ساخته شدند.

این پوشش‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: لایه‌ی انجلاپذیر و لایه‌ی انجلالنپذیر. لایه‌ی انجلاپذیر، شامل یک جزء رزینی است که با حل شدن، اجازه‌ی نفوذ آرام مواد سمی را به آب دریا می‌دهد. این پوشش‌ها به دلیل مقرن به صرفه بودن، در کشتی‌های تجاری به کار برده می‌شوند.

¹ -Antifouling Coatings and the Importance of their Using in marine Structures and faloatings

در لایه‌ی انحلال ناپذیر، از مقدار زیادی مواد سمی استفاده می‌شود و سرعت شسته شدن مستقل از نوع لایه می‌باشد. کارایی آن‌ها، به واسطه‌ی تماس پیوسته‌ی ذرات سمی با آب دریاست، به‌طوری‌که وقتی یک ذره حل می‌شود، ذره‌ی دیگر در معرض شسته شدن قرار می‌گیرد. نیروی دریایی آمریکا مقادیر قابل توجهی از این نوع پوشش‌ها را استفاده می‌کند.

۱-۲-۴: ویژگی پوشش‌های ضدخزه

۱: سرعت شسته شدن

سرعت شسته شدن مطلوب در یک پوشش ضدخزه، 10 g/cm^2 از مواد سمی در هر روز است. عوامل خارجی مؤثر بر سرعت شسته شدن عبارت است از:

- دمای آب: در صورت افزایش یا کاهش دما به میزان یک درجه، سرعت شسته شدن رنگ به میزان ۵٪ تغییر می‌کند؛ این عامل بر عمر نهایی پوشش اثر می‌گذارد. برای مثال پوششی که دارای سرعت شسته شدن 10 g/cm^2 باشد، در ۵ درجه پایین‌تر، دارای سرعت شسته شدن $7/5 \text{ g/cm}^2$ خواهد شد.
- شوری آب: سرعت شسته شدن با توان دوم میزان شوری مناسب است، به عبارتی، اگر میزان شوری آب نصف شود، سرعت شسته شدن رنگ با یک‌چهارم کاهش می‌یابد. البته بسیاری از موجودات زنده ایجاد کننده‌ی جرم، در آب‌های با درجه‌ی شوری کم نمی‌توانند دوام بیاورند.
- سرعت جریان آب: در سرعت‌های بالاتر دو گروه دریایی از خزه‌ها، قدرت چسبیدن به اجسام متحرک را دارند. به همین دلیل در این اجسام، سرعت شسته شدن پوشش از اهمیت کمی برخوردار است.
- نوع پوشش رزین: به منظور حفاظت سازه‌های دریایی در برابر خوردگی ناشی از نمک موجود در آب دریا و نیز در برابر ترکیبات مس موجود در رنگ‌های ضدجلبک، از آستری استفاده می‌شود. نوع این آستری، اثر اساسی روی چگونگی جلوگیری از جرم گرفتن و کارایی یک

پوشش ضدخزه را دارد. به عنوان مثال، حل شدن مواد سمی یک پوشش اجرا شده روی آستری اولئوزین، سریع‌تر از رنگی است که روی آستری قیر اجرا شده است.

- میزان اسیدی بودن آب دریا: آب دریا به طور معمول دارای pH برابر $8/4 - 8/1$ است. ولی موجودات زنده‌ی موجود در آب دریا، ممکن است با جذب کربن‌دی‌اکسید، باعث افزایش خصلت بازی یا با ایجاد آن باعث افزایش خصلت اسیدی شوند. سرعت شسته شدن پوشش ضدخزه به ازای $1/1^{\circ}$ تغییر در میزان pH، به اندازه‌ی 25% تغییر می‌کند. یک پوشش ضدخزه با سرعت شسته شدن 10 در pH برابر $8/1$ ، سرعت شسته شدن آن در $pH=8/3$ ، به میزان 50% کاسته می‌شود.

- اثر لایه‌ی لعابی: در پوشش‌هایی که تنها ماده‌ی سمی آن‌ها اکسید مس است، یک لایه‌ی لعاب باکتریایی، روی پوشش ایجاد می‌شود. با این‌که لعاب تمايل به کاهش میزان شسته شدن رنگ دارد، ولی به علت سمی بودن از چسبیدن بارناکل‌ها (نوعی باکتری)، جلوگیری می‌کند.

- ضخامت لایه‌ی خشک: طول عمر یک پوشش ضدخزه به طور مستقیم، به ضخامت لایه‌ی خشک آن بستگی دارد. اگر چه سرعت شسته شدن اولیه‌ی یک پوشش در اثر ضخامت لایه‌ی خشک نیست، ولی حالت یکنواخت شسته شدن رنگ در لایه‌های نازک دچار مشکل می‌شود؛ در این حالت، افزایش ترکیب‌های سمی نیز اثری ندارد. افزون بر این، لایه‌های نازک سریع‌تر فرسوده می‌شوند.

- طول عمر: طول عمر یک پوشش بستگی به مقاومت آن در برابر سایش مکانیکی و میزان حل شدن ترکیب‌های آن دارد.

- چسبندگی: رنگ ضدخزه باید حتی در شرایط نامناسب (سطحی مرطوب و دمای پایین) چسبندگی داشته باشد.

- مدت زمان خشک شدن کوتاه: خشک شدن سریع، بهویژه در کشتی‌های تجاری که مدت کوتاهی در بنادر توقف می‌کنند، ضروری است.

- اجرای آسان: استفاده از افشارنی یا قلم مو به علت محدودیت تسهیلات، مؤثرتر است.

- فام: برخی از رنگدانه‌ها، آثار پوشش ضدخرze را کمتر می‌کنند، به عنوان مثال، یک سطح تیره بیش از یک سطح روشن ارگانیسم‌ها را به خود جلب می‌کند.

۲: ترکیبات

در پوشش‌های رنگ‌های ضدخرze، رنگ‌دانه‌ها، محمول‌ها و افزودنی‌ها به کار می‌روند. افزودنی‌ها می‌توانند سخت‌کننده‌ها یا نرم‌کننده‌ها باشند.

۳: رنگ‌دانه‌ها

در پوشش‌های ضدخرze، تنوع رنگ‌دانه وجود دارد که این رنگ‌دانه‌ها می‌توانند سمی یا غیرسمی باشند. مواد سمی با توجه به میزان انحلال‌پذیری آن‌ها در آب دریا انتخاب می‌شوند. ترکیب‌های سمی، انحلال‌پذیری خوبی دارند. از ترکیب‌های مس معمول می‌توان به اکسید مس اشاره کرد. ترکیب جیوه و قلع نیز در این پوشش‌ها به عنوان مواد سمی به کار برد هستند.

ترکیب‌های جیوه از رشد خزه‌ها جلوگیری می‌کنند که مهم‌ترین آن‌ها اکسید جیوه است. ترکیب‌های قلع از رشد باکتری‌ها و قارچ‌ها جلوگیری می‌کنند. از این ترکیب‌ها می‌توان به ارگانوتین (یک ترکیب آلی قلع) اشاره کرد. به همراه این رنگ‌دانه‌های سمی از رنگ‌دانه‌های دیگر، به منظور رسیدن به قیمت مناسب و ویژگی مدنظر در پوشش نهایی استفاده می‌شود.

۴: محمول‌ها

دوام استحکام و کارایی یک پوشش ضدخرze، به رزین آن بستگی دارد. استفاده از صمغ در میان رزین‌های طبیعی، باعث به وجود آمدن ویژگی‌هایی از هر دو پوشش ضدخرze خواهد شد. رزین‌های فنولی ترکیب

شده با صمغ، انحلال‌پذیری کمتری از صمغ تنها دارند. ترکیب رزین‌های فولی اصلاح شده با صمغ به همراه روغن‌های خشک‌شونده، ماتریس بسیار خوبی برای رنگ‌های ضدخزه تماسی است.

استفاده از همبسپار وینیل استات – وینیل‌کلرید، در رنگ‌های ضدخزه بسیار سودمند است. این رزین‌ها بسیار سخت و مقاوم به حل شدن در آب دریا هستند. از این محمل به تنها یی نیز می‌توان استفاده کرد، ولی برای رسیدن به حفاظت مناسب، مقدار زیادی ترکیب‌های سمی مورد نیاز است. حداقل مقدار ترکیب‌های سمی مورد نیاز برای رسیدن به سرعت شسته شدن مناسب، به طور کامل بستگی به نوع ماتریس به کار رفته دارد.

۵: افزودنی‌ها

- سخت‌کننده‌ها: از جمله افزودنی‌های به کار رفته در این پوشش‌ها، آستر صمغ است. این افزودنی، ماده‌ای کاملاً طبیعی بوده، در آب دریا انحلال‌ناپذیر است. از فرآورده‌های سلولزی و ترکیب‌های کلردار نیز به عنوان دیگر افزودنی‌های سخت‌کننده‌ی این پوشش‌ها، می‌توان نام برد.
- نرم کننده‌ها: آسترها صمغ هیدروژن‌دار و روغن‌های خشک‌شونده به عنوان نرم‌کننده و افزایش‌دهنده‌ی چسبندگی استفاده می‌شود.

۴-۲-۲: روش‌های آزمون استاندارد پوشش‌های ضدخزه

الف) روش استاندارد برای آزمون فرسایش رنگ‌های ضدخزه با استفاده از سرعت زیاد آب (D - 4938)

در این آزمون دیواره‌ی فولاد ضدزنگ به وسیله‌ی ذرات ساینده تا درجه‌ی نزدیک به سفید، تمیزکاری می‌شود و اندازه‌ی پروفیل سطح آن ۷۵ - ۲۵ میکرون است. سپس سامانه‌ی ضدخزه که شامل یک آستر ضد خوردگی اپوکسی با ضخامت ۹ میل و یک پوشش رویه‌ی ضدخزه است، روی قطعه اجرا می‌گردد.

پس از گذشت هفت روز از اجرا، قطعه را در کanal آبی با pH معادل $8/3 - ۷/۶$ ، سرعت ۱۲m/s و میزان شوری $۳۵۰۰\text{ppm} - ۲۷۰۰$ قرار می‌دهند. در تمام مراحل آزمون، یک نمونه‌ی شاهد که از قبل در شرایط استاندارد آزمایش شده است، برای درجه‌بندی شرایط آزمون قرار داده می‌شود. از دیواره‌های مورد آزمون باید قبل از آزمون و در فواصل زمانی مشخص طی آن و در پایان، عکس‌های رنگی گرفته شود و ضخامت اولیه و نهایی آن‌ها نیز در پایان با یکدیگر مقایسه شوند.

ب) روش استاندارد برای آزمایش دیواره‌های ضدخze غوطه‌ور در اعماق کم دریا (D 3623)

در این آزمون دیواره‌های فولاد ضدزنگ به‌وسیله‌ی ذرات ساینده تا درجه‌ی نزدیک به سفید، تمیز کاری می‌شوند، به‌طوری که پروفیل سطح آن‌ها $۳۸ - ۲۳$ میکرون باشد. سامانه‌ی اجرا شده، شامل یک لایه‌ی آماده‌کننده‌ی سطح، به ضخامت خشک ۱۳ میکرون و پس از ۲۴ ساعت لایه‌ی آستری سرنج وینیلی به ضخامت خشک ۱۵۰ میکرون است که در چهار مرحله با فواصل زمانی $۲۴ - ۲$ ساعت اجرا می‌شود. سپس پوشش ضدخze به‌عنوان لایه‌ی آخر، در دو مرحله به ضخامت خشک ۱۰ میکرون، در فواصل زمانی $۲۴ - ۲$ ساعت اجرا می‌شود.

پس از گذشت زمان چهار ساعت تا ۱۴ روز، غوطه‌وری قطعه انجام می‌شود که به مدت یک سال در شرایط حاد ایجاد جرم صورت می‌گیرد. سپس هر روز یکبار از لحظه مقدار جرم بررسی می‌شوند. به سطوحی که عاری از جرم هستند، درجه‌ی ۱۰۰ و به سطوحی که جرم به تازگی در آن‌ها ایجاد شده است، درجه‌ی ۹۵ داده می‌شود. اگر جرم به‌طور کامل روی سطح رشد کرده باشد، قطره‌ی یک از تجمع‌ها را اندازه گرفته، پس از کم کردن مجموع آن‌ها از ۹۵ ، این عدد به‌عنوان درصد مقاومت جرم گزارش می‌شود.

۳-۴: پوشش‌های ضدمیکروب برای مواد غذایی و دارویی

این نوع پوشش‌ها، بیشتر در محیط‌های بیمارستانی و محیط‌های تولید مواد غذایی و دارویی به کار می‌روند. باکتری‌ها و قارچ‌ها به وسیله‌ی این پوشش‌ها از بین می‌روند، اما بر روی ویروس‌ها هیچ تأثیری ندارند. بسته به این‌که این پوشش‌ها، باکتری‌ها را از بین ببرند یا فعالیت آن‌ها را متوقف کنند، به دو دسته‌ی عمدۀ تقسیم می‌شوند:

۱. باکتری‌کش
۲. بازدارنده‌ی باکتری

۱-۳-۴: انواع پوشش‌های ضدمیکروب باکتری‌کش

الف) باکتری‌کش‌های مقاوم به چسبندگی

باکتری‌ها با تولید نشاسته و پروتئین به سطوح می‌چسبند. برای این منظور رزین‌های آب‌دوست یا آب‌گریزی را سنتز کرده‌اند که در برابر چسبندگی مقاوم هستند و عبارتند از:

۱. اکریلیک‌ها یا پلی‌یورتان‌های با محمول فلوئور: رزین‌های آب‌گریزی هستند که سطح انرژی شیمیایی پایینی دارند و باعث ایجاد چسبندگی نمی‌شوند.
۲. رزین‌های سیلیکونی وینیل‌فلوئوروسیلیکون: گران‌قیمت هستند و در برابر سایش مقاوم می‌باشند؛ بنابراین در مکان‌هایی کاربرد دارند که نباید زیاد در اثر نظافت ساییده شوند.
۳. هیدروژل‌ها: رزین‌های آب‌دوست که شامل پلی‌آمید و پلی‌استر هستند، با جذب اکسیژن لایه‌ای از آب در سطح خود ایجاد کرده، در صنایع پزشکی به کار می‌روند.
۴. لایه‌ی فداشونده: با رها کردن لایه‌ی بالایی سطح خود، به آرامی تجدید ساختار می‌یابند. در خلال هیدرولیز شدن آرام رزین‌ها، لایه‌ی بالایی در آب حل شده، شسته می‌شود.

ب) پوشش‌هایی که توکسین آزاد می‌کنند

این نوع پوشش‌ها به محض استفاده، مواد گران قیمت خود را از دست می‌دهند و بعد از مدتی، دیگر کارایی نخواهند داشت. این‌ها به همراه موادی که پوسته نام دارند ایجاد کپسول کرده، هنگام استفاده پاره می‌شوند.

نمونه‌ی این پوشش‌ها، زئولیت‌ها هستند که در داخل منافذ آن‌ها، ذرات نقره را وارد کرده‌اند و به عنوان پوشش ضدمیکروب، در ظروف مواد غذایی به کار می‌رود.

ج) پوشش‌های ضدباکتری تماсی

این نوع پوشش‌ها، به دو دسته‌ی عمدۀ تقسیم می‌شوند:

۱. تثبیت‌کننده‌ها: شامل زنجیرهایی با سه تا ده پیوند شیمیایی هستند که هرچه تعداد پیوند بیش‌تر باشد، مطلوب‌تر است.
۲. عوامل فعال نوری: شامل روتیل (TiO_2) هستند که در اثر نور ($h\nu$) به صورت رادیکال می‌شکنند و باکتری را از بین می‌برند.

۴-۴: پوشش‌های ضدحریق

میزان مقاومت این پوشش‌ها با درنظر گرفتن مکان استفاده از آن‌ها، متفاوت است. زمان تحمل آتش برای ساختمان‌های مسکونی و اداری باید سه ربع تا یک ساعت باشد و این زمانی است که معمولاً برای تخلیه‌ی ساختمان لازم است. ساختمان‌های بلند، بیمارستان‌ها، سالن‌های تئاتر و سینما دو ساعت و مکان‌های تجاری و صنعتی حداقل باید سه ساعت تحمل آتش را داشته باشند.



شکل ۵: پوشش‌های ضد حریق

۱-۴-۴-۱: انواع پوشش‌های مقاوم آتش

۱. پوشش‌های کندکننده‌ی سوختن^۱

مواد کندکننده‌ی سوختن، قابلیت اشتعال لوازم و قطعات را کاهش داده، از گسترش آتش جلوگیری می‌نمایند. ترکیب‌های بور، کلر، فسفر و هیدرات آلومینیوم از موادی هستند که نقش اصلی کندکننده‌ی سوختن را در این رنگ‌ها بر عهده دارند. البته استفاده از ترکیب‌های کلردار به خاطر سلطان‌زا بودن و یا سمی بودن آن‌ها، ممنوع شده است.

۲. پوشش‌های متورم‌شونده^۲

رنگ‌های متورم‌شونده، به گروهی از پوشش‌ها اطلاق می‌شود که در مقابل حرارت محیط ۵۰، ۱۰۰ و گاهی تا ۲۰۰ برابر حجیم‌تر و ضخیم‌تر می‌گردد. این عمل به وسیله‌ی تولید گازهای غیرقابل اشتعال مانند CO_2 و NH_3 شروع شده، با به تله افتادن گازهای تولیدی در لایه‌ی پوشش، آن را تبدیل به اسفنج می‌کند.

رنگ‌های متورم‌شونده براساس موادی مانند: ماده‌ی زغالی یا کربنی، ماده‌ی آب‌زدا، مواد پف‌کننده، کاتالیزگر و رزین و رنگ‌دانه طراحی شده است.

1- Fire retard coatings

2- Intum escent coatings

منبع زغالی از پلیالکل هایی مانند پنتا اریترول تأمین می گردد. برای آب زدایی از مونو آمونیوم فسفات استفاده می شود، این ماده نورتاب است و ظاهر زیبایی به رنگ می دهد. مواد نیتروژن دار مانند: ملامین، پارافین کلره و دی سینامین نیز به عنوان مواد پف کننده به کار می روند.

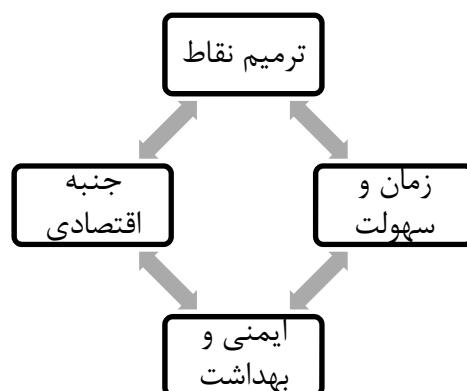
۳. پوشش های سیمانی^۱

این پوشش از رزین ها و رنگ دانه های معدنی ورمیکولیت و افزودنی های دیگر تشکیل شده است. برخی از انواع این پوشش ها تا ۴ ساعت نیز در مقابل آتش تحمل دارند، در صورتی که اغلب پوشش های متورم شونده نمی توانند تحمل بیش از دو ساعت داشته باشند.

۴. پوشش های گچی^۲

این پوشش ها که مخلوطی از گچ، ورمیکولیت و سایر دانه های معدنی، آب و مواد افزودنی و گاهی الیاف معدنی است، باید عاری از آربیست باشد. پوشش های گچی برای سطوح داخل ساختمان مناسب تر از خارج ساختمان است و تحمل نیم تا چهار ساعت آتش را دارند.

۴-۴-۲: مزایای رنگ های ضد حریق در مقایسه با ملات های سیمانی و مواد خمیری

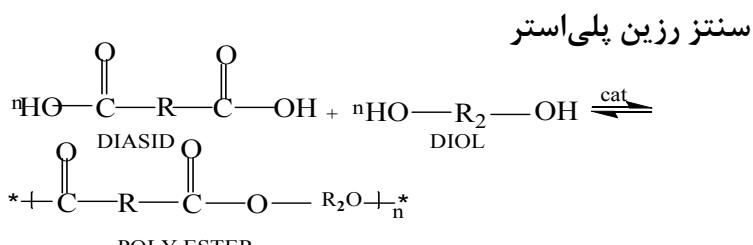
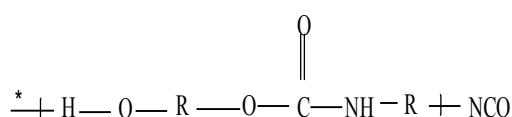
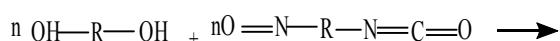
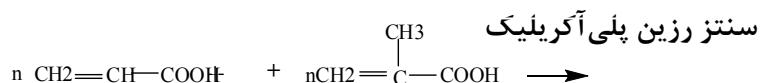


شکل ۶: مزایای رنگ های ضد حریق

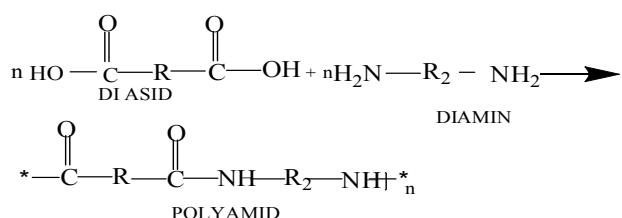
1- Gemtitious coatings

2- Gypsum plaster coatings

۴-۳-۴: سنتز برخی رزین‌های مصرفی در صنایع پوشش



سنتز رزین پلی‌آمید



فصل پنجم
نانوپوشش‌ها

۵- نانوپوشش‌ها

در نگاه اول ممکن است با قرار دادن «نانو» در کنار «پوشش» به این نتیجه رسید، این لایه ضخامتی در حد چند نانو خواهد داشت که البته درست است. ولی همیشه این گونه نیست؛ وضعیتی را در نظر بگیرید که در آن برای تولید پوشش، از مواد نانومتری و نانوذرات استفاده شود. در این صورت، اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی این پوشش‌ها، نانومتری هستند، ولی خود پوشش، بیش از ۱۰۰ نانومتر خواهد داشت.

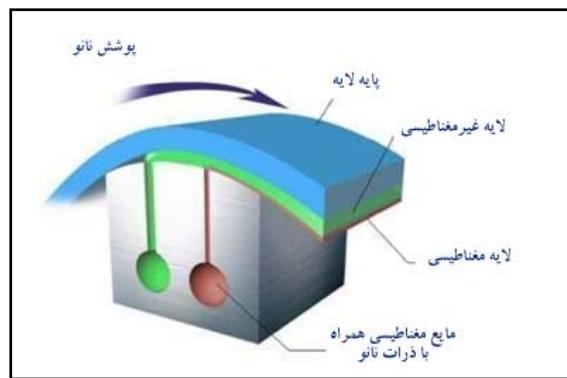
پوشش‌های نانوساختاری پیشرفته، به خوبی بر سطوح گوناگون مانند: فلزات، شیشه، سرامیک و پلاستیک می‌چسبند و تنها چند میکرون ضخامت دارند. ویژگی بارز این نانوپوشش‌گرها، خاصیت ضدخوردگی آن‌هاست. این ویژگی، کاربرد پوششی آن‌ها را در فلزات سبک از قبیل آلومینیوم و منیزیم افزایش داده است. پوشش‌های یادشده، در مقابل حرارت بسیار مقاوم هستند و می‌توانند دما را تا ۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تحمل کنند. استفاده از این نوع پوشش‌گرها، منجر به کاهش خوردگی فلزات می‌شود و درنهایت، محیط زیست را با کاهش میزان مصرف مواد خام حفظ خواهد کرد. نانوپوشش‌ها به سه دسته‌ی اصلی تقسیم می‌شوند:

- نانوذرات چسبانده شده روی یک زمینه
- روکش‌های بلوری با ساختار نانومتری
- لایه‌های نازک

۱-۵: نانوذرات در صنعت پوشش

استفاده از نانوذرات در صنعت پوشش‌ها، چندان جدید نیست. امولسیون لاتکس با اندازه‌ی ذرات بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ نانومتر، از سال‌های

بعد از ۱۹۶۰ میلادی، در ترکیب رنگ‌های خانگی مورد استفاده بوده است. روتیل، رنگ‌دانه‌ی کلیدی مات‌کننده با اندازه‌ی ذرات بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ نانومتر، تقریباً در هر رنگی موجود است. نانوپوشش‌ها را روی سطوحی مانند فلزات، شیشه، سرامیک و پلاستیک با ضخامت‌های چند میکرونی نشانده‌اند و به آن‌ها ویژگی‌هایی نظیر مقاومت در برابر خوردگی مکانیکی، زنگزدگی و خود تمیزشوندگی داده‌اند. با تغییر اندازه‌ی ذرات در مقیاس نانو، نانوذرات، خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوت از آن ذره در مقیاس میکروسکوپی را دارند.



شکل ۷: طرح‌واره‌ای از نانوذرات در صنایع پوشش

۱-۱-۵: بهبود ویژگی‌های پوشش با وارد کردن نانوذرات

اختلاف نانوپوشش‌ها با پوشش‌های معمولی در ساختار خواصشان است. با شناختن ویژگی و ساختار نانوپوشش‌ها، می‌توان متوجه این اختلاف‌ها شد. ویژگی‌های پوشش، به دانه و ذرات تشکیل‌دهنده‌ی آن بستگی دارد. خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی نانوپوشش‌ها ویژگی‌هایی هستند، مانند: مقاومت الکتریکی، نفوذپذیری، مقاومت نسبت به خوردگی، سایش، خاصیت مغناطیسی و غیره. این ویژگی‌ها تابع ساختار و اندازه‌ی پوشش‌ها هستند.

روشن است که استفاده از این خواص، کاربردهای زیادی را فراهم می‌کند. یکی از تفاوت‌های عمدۀ میان نانوپوشش‌ها و پوشش‌های معمولی، مقاومت بالای نانوپوشش‌ها نسبت به خوردگی است.

از جمله خواصی از پوشش که با وارد کردن نانو ذرات می‌توان در آن‌ها تغییر اساسی ایجاد کرد، عبارتند از:

۱. خواص فیزیکی همچون حلالیت، چگالی
۲. خواص سطحی
۳. خواص نفوذپذیری و ویژگی‌های جذبی
۴. خواص نوری و الکتریکی



شکل ۸: ویژگی نانوپوشش‌ها

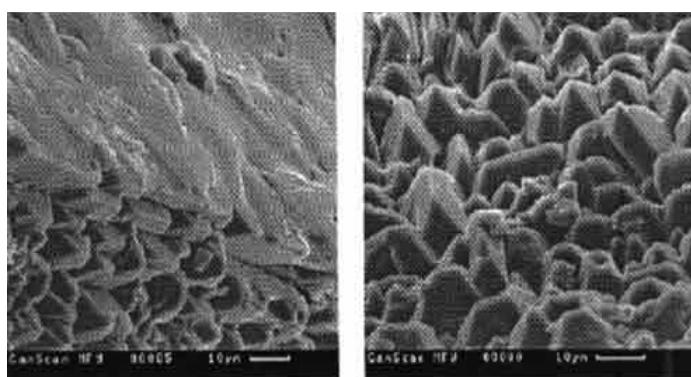
۲-۵: زمینه‌های وارد کردن نانوذرات در صنایع پوشش

۱. پوشش‌های لاتکس مخصوص فضای روباز
۲. پوشش‌های ضدخوردگی
۳. پوشش‌های ضدآلینده

۴. پوشش‌های ضدسرخوردگی
۵. پوشش‌های مخصوص اعلامیه
۶. پوشش‌های دوستدار سلامتی

۲-۵: روکش‌های بلوری با ساختار نانو

چیده‌مان اتم‌های مواد درون سلول‌هایی به نام دانه در مواد بلوری (که اتم آن‌ها به صورت منظم کنار هم چیده شده‌اند)، راه دیگری برای تولید نانوپوشش‌هاست. مواد بلوری، موادی هستند که اتم‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها به صورت منظم در جهت‌هایی خاص، درون حوزه‌هایی مثل سلول‌های روی پوست دست قرار گرفته‌اند.



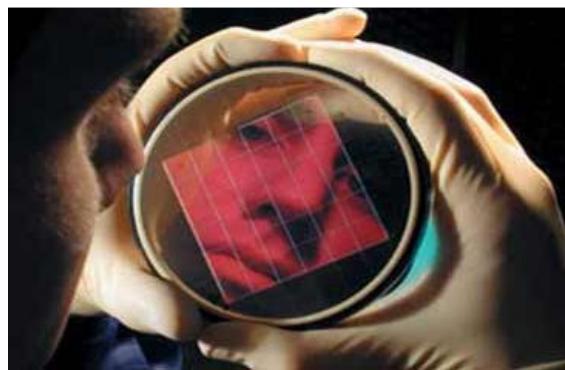
شکل ۹: طرح‌واره‌ای از یک پوشش نانوساختار

برای تولید موادی با این ویژگی، باید اندازه‌ی دانه‌های این پوشش‌ها را به حد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر درآورد، یعنی باید دانه‌ها را که داخل هر کدام از آن‌ها، اتم‌ها در جهت خاصی چیده شده‌اند) ریز کرد. استفاده از دانه‌هایی با اندازه‌ی ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، پوشش تولیدی را به عنوان پوشش نانوساختار مطرح می‌کند.

۳-۵: لایه‌های نازک

لایه‌ی نازک، ضخامت خیلی کمی دارد، اما لایه‌های نازکی نانوپوشش بهشمار می‌روند که ضخامت آن‌ها در محدوده‌ی ۱ تا ۱۰۰ نانومتر باشد. چنین لایه‌هایی کاربردهای فراوانی دارند. مثلاً اگر بخواهیم آینه‌ای فقط طول موج ۶۲۰ نانومتر یعنی قرمز را منعکس کند و بقیه‌ی امواج را از خود عبور دهد، چنین کاری با نشاندن یک لایه‌ی نازک مناسب که دارای این ویژگی باشد، امکان‌پذیر است.

در این فرآیند، معمولاً از دو ماده استفاده می‌کنیم: اولی زیرلایه و دومی پوشش است که با روش‌هایی مثل تبخیر و رسوب‌دهی «لایه‌نشانی» می‌شوند. تعداد لایه‌های نشانده شده بستگی دارد به این‌که بخواهیم آینه چه ضریبی از موج را منعکس کند. این‌که هرچه تعداد لایه‌ها بیش‌تر باشد، امواج بیش‌تری منعکس می‌شوند؛ ولی اگر این تعداد از مقدار معینی بیش‌تر شود، لایه‌ها دیگر بهم نمی‌چسبند.



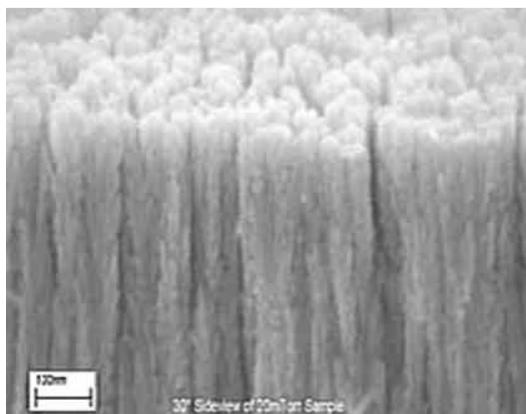
شکل ۱۰: تصویری از آینه‌ای که با لایه‌ی نازک پوشش‌دهی شده است

۴-۵: تولید نانوپوشش‌ها

۴-۵-۱: چیده‌مان اتم‌ها

این روش که در بخش ۵-۲ نیز توضیح داده شد، برای تولید پوشش‌های نانوساختار می‌باشد که اتم‌های مواد، درون سلول‌هایی به نام

دانه در مواد بلوری در جهت خاصی چیده می‌شوند. برای تولید پوشش‌های نانوساختار، باید بلورها یا دانه‌ها را روی سطح قرار دهیم که این روش به وسیله‌ی عمل جوانهزنی انجام می‌گیرد.



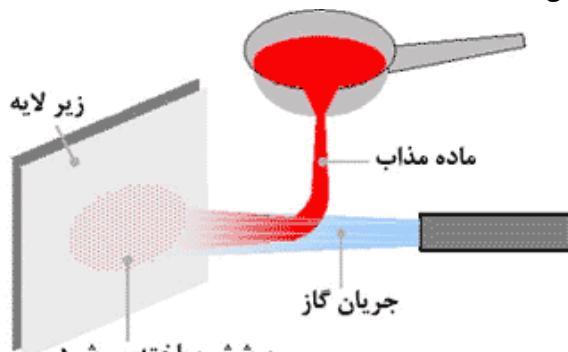
شکل ۱۱: نمونه‌ای از بلورهای ستونی

جوانهزنی، همان‌گونه که از نام آن پیداست به معنی جوانه زدن بلورهای پوشش است که به آن رشد بلوری نیز گفته می‌شود. بلورها به شکل‌های گوناگون هستند: مربعی، هرمی، ستونی، دایره‌ای و ... (شکل ۱۱). بلورهای رشد داده شده، باید اندازه‌ای بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر داشته باشند و برای کنترل رشد و اندازه‌ی دانه‌ی این پوشش‌ها، از موادی به نام کنترل‌کننده‌های رشد استفاده می‌شود. این مواد رسوبات ریزی هستند که با قفل کردن مرزهای یک دانه، مانع از حرکت و در نتیجه رشد آن می‌شوند.

۴-۵-۲: روش پاشش‌دهی

در این روش پودر را با قدرت به سمت قطعه‌ی مورد نظر می‌پاشند و در مسیر پاشش، پرتو لیزر^۱ را قرار می‌دهند. پرتو لیزر با سرعت و قدرت

زیاد محیط را گرم می‌کند، بنابراین باعث می‌شود پودر در مسیر، به صورت مذاب درآید. وقتی پودر با سطح تماس پیدا می‌کند، به علت اختلاف دما، پس از برخورد به سرعت سرد می‌شود و پوشش نانوساختار را شکل می‌دهد. (شکل ۱۲)



شکل ۱۲: طرح‌واره‌ای از روش پاشش حرارتی

۴-۵: روش رسوب‌دهی شیمیایی بخار^۱

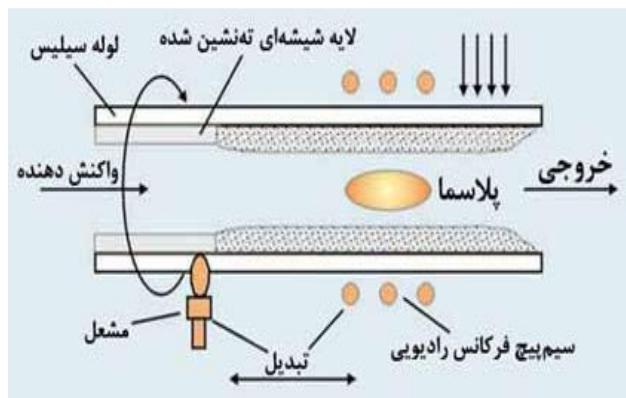
این فرآیند، در فاز گازی انجام می‌شود. یعنی مواد واکنش‌زا گاز هستند و فرآیندهای شیمیایی بین گازها صورت می‌گیرد. ابتدا گازها از یک دریچه وارد می‌شوند و بعد از رسوب بر روی یک زیرلایه، به صورت شیمیایی واکنش می‌دهند. (شکل ۱۳)

این روش لایه نشانی، ممکن است از طریق چند نوع واکنش شیمیایی انجام شود:

- ۱) پیرولیز: که در آن از دمای زیاد برای تجزیه‌ی ماده استفاده می‌شود
- ۲) فوتولیز: که در آن از نور فرابنفش^۲ یا فروسرخ برای تجزیه‌ی ترکیب‌های گازی استفاده می‌شود.

1 - CVD: Chemical Vapor Deposition

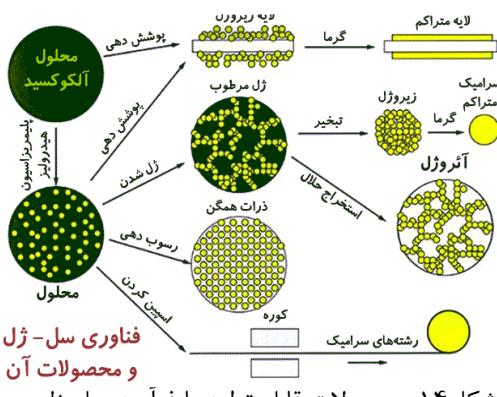
2 - Ultra Violet



شکل ۱۳: طرحی از روش CVD

۴-۵-۴: روش سل-ژل

در این روش در واقع از اصل محلول‌سازی و رسوب‌دهی مواد جامد در مایع با استفاده از تغییر پارامترهایی مثل دما استفاده می‌شود و محصولاتی مثل پوشش و پودر به‌دست می‌آید. برای این کار، ابتدا از ماده‌ای که می‌خواهیم پوشش دهیم، یک محلول تهیه کرده، بعد با حرارت دادن این محلول آن را تبدیل به یک ماده‌ی ژلاتینی می‌نماییم. با ادامه‌ی حرارت دادن، مواد معلق در محلول را روی ماده‌ی پذیرنده‌ی پوشش رسوب می‌دهیم. حال این رسوب می‌تواند به صورت یک لایه‌ی پیوسته باشد که در آن صورت یک لایه‌ی نانومتری تشکیل می‌شود. اگر ضخامت این لایه از ۱۰۰ نانومتر بیشتر باشد، به علت این‌که از ذرات نانومتری تشکیل شده است، یک لایه‌ی نانو ساختار است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: محصولات قابل تولید با فرآیند سل ژل

۴-۵: روش نیتراسیون

اتم نیتروژن، اتمی کوچک است و به همین علت به راحتی می‌تواند به درون سطح اکثر مواد نفوذ کند. حال اگر اتم نیتروژن بتواند چند نانومتر داخل سطح نفوذ کند، یک نانوپوشش تولید کرده است. ترکیب نیتروژن با موادی مانند فولاد، یک ماده‌ی سخت تولید می‌کند. فولادهایی که با نیتروژن پوشش می‌شوند، به‌طور عموم، کربن کمتر دارند، چون کربن کم، باعث نرمی می‌شود.

۵-۵: کاربرد نانوپوشش‌ها

استفاده از فناوری‌های نوین، برای دستیابی به فرآورده‌ی بهتر با کارایی بالاتر، مهم‌ترین و تنها عامل اختراعات و اکتشافات است. نانوپوشش‌ها هم ویژگی‌های فرآورده را از جنبه‌های گوناگون افزایش داده‌اند. در فعالیت‌های صنعتی می‌توان به پوشش‌دهی نانومتری ضدسایش، ضدخش و مقاوم در برابر خوردگی اشاره کرد.

پوشش‌های نوری هم به سرعت در حال پیشرفت هستند. کاربردهای پزشکی و بهداشتی هم بیش‌ترین تأثیر را روی سلامتی و زندگی ما دارند. برای مثال پوشش‌های نانوکامپوزیتی^۱ در صنایع بسته‌بندی سبب نازک‌تر

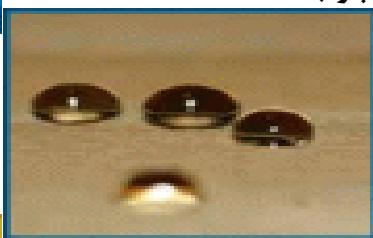
1- Nano Composite

شدن بسته‌بندی و سبکی و طولانی‌تر شدن عمر مواد غذایی می‌شوند (شکل ۱۵). دسته‌ی دیگر، کاربردهای الکترونیکی هستندکه موجب کوچک‌تر شدن قطعات الکترونیکی، افزایش ذخیره‌سازی اطلاعات، ساخت پوشش‌ها با رسانایی بالا و ... می‌شوند

کاربرد نانوپوشش‌ها



نانو خودرو



نانو چوب



نانو شیشه و سرامیک



نانو سنگ و بتن



نانو پارچه



شکل ۱۵- بسته‌بندی مواد غذایی با پوشش‌های نانوکامپوزیتی

۶-۵: فرآورده‌های حاصل از نانوپوشش‌ها**۶-۶-۱: نانوشیشه و سرامیک****□ استفاده از فن‌آوری نانو در شیشه**

با قرارگرفتن بر روی شیشه‌ها و سرامیک‌ها و پوشاندن سطح آن‌ها، مانع از کثیف شدن و خیس شدن سطح می‌شود و در نتیجه با یکبار بارش باران و یا آبریختن بر روی سطح، آلودگی آن از بین می‌رود. موارد استفاده‌ی آن‌ها عبارت است از:

- حفاظت از شیشه‌های پنجره‌ها و ویترین مغازه‌ها
- حمام و سرویس‌های بهداشتی
- سقف‌های شیشه‌ای، نمای ساختمان‌ها و کاشی‌ها
- کاشی‌های دیواری
- آینه‌ها
- سلول‌های خورشیدی

□ مقدار مصرف نانوشیشه و سرامیک

هنگام مصرف مایع شیشه‌های فن‌آوری نانو به صورت دستی برای هر متر مربع ۵ تا ۲۵ میلی‌مول (بنا به جنس سطح) مواد لازم می‌باشد. (۱ لیتر در حدود ۴۰ تا ۱۸۰ متر مربع را پوشش می‌دهد). اگر از اسپری‌های مخصوص استفاده شود (بنا بر جنس سطح مورد استفاده) بین ۵ تا ۱۵ گرم برای هر متر مکعب مواد مصرف خواهد شد.



شکل ۱۶: شیشه‌ای با پوشش نانو شیشه

□ دقت

- ماده باید در جای خشک و خنک نگهداری شود.
- مایع می تواند تا ۶ ماه در بسته‌بندی اصلی خود سالم بماند.
- بعد از باز کردن در ظرف به سرعت آن را مصرف نمایید.

۶-۵: نانوچوب

□ استفاده از فن آوری نانو در چوب

با دفع آب از روی چوب توسط این ماده‌ی فن آوری نانو، علاوه بر افزایش پایداری چوب در برابر پوسیدگی، تخریب و تغییر رنگ، می‌توان از رشد قارچ‌ها نیز جلوگیری نمود، زیرا رطوبت باعث رشد قارچ خواهد شد. دفع آب به‌وسیله‌ی نانوپوشش باعث کاهش چروک و طبله کردن (باد کردن) چوب می‌شود و در نتیجه از ترک برداشت و از بین رفتن چوب جلوگیری می‌نماید. نانوچوب از چوب در برابر پوسیدگی، طبله کردن، چروک شدن، تغییر رنگ و شکستگی محافظت می‌نماید.

نانوچوب یک ماده‌ی شفاف است و تغییری در شکل و رنگ سطح چوب ایجاد نمی‌نماید. مانند گیاهان طبیعت که بعد از باران تمیز و پاک می‌شوند، «نانو چوب» باعث می‌شود تا با شستن چوب آلودگی‌های روی چوب با آب ترکیب شوند و سطح چوب تمیز گردد (مانند درخت کنار در طبیعت).

این ماده‌ی ساخته شده توسط فن‌آوری نانو، درحالی که مانع از نفوذ آب در چوب می‌شود، اجازه می‌دهد تا سطح چوب با هوا تماس داشته باشد. سطحی از چوب که با این ماده آغشته شده است، از چوب در برابر ضربات باران، آلودگی‌های خیابانی، ذرات گرد و خاک، آلودگی هوا و هر نوع عامل کثیفی دیگر محافظت می‌کند و هم‌چنین این امکان را فراهم می‌آورد تا ترک‌های بسیار ریز به سرعت خود را نشان دهند.

موجودات زنده مانند خزه‌ها و قارچ‌ها نیز نمی‌توانند بر روی سطوح نانوچوب رشد نمایند. ذرات نانو در برابر سایش، اشعه‌ی فرابنفش و حرارت مقاوم می‌باشند، این پوشش‌ها با آب و پاک نمودن عادی سطح از بین نمی‌روند.

نانوچوب‌ها در محیط‌های بیرونی و هوای آزاد و محیط‌های داخلی می‌توانند مورد استفاده قرار بگیرند. این مواد برای سطوح رنگ شده و واکس‌زده نامناسب هستند و هم‌چنین نباید سطح چوب قبل از استفاده دارای سنگریزه، گرد و خاک، مواد روغنی و نفتی باشد. نانوچوب‌ها را می‌توان برای الوارها نیز استفاده نمود؛ اما چوب‌های سخت باید بیشتر آزمایش شوند، زیرا امکان دارد ماده‌ی نانوچوب بر روی آن‌ها ننشیند و در آن‌ها نفوذ نکند. این مواد بر پایه‌ی آب ساخته شده‌اند.

□ مقدار مصرف نانوچوب

این مایع باید سطح چوب را به‌طور کامل آغشته نماید. یک لیتر از این مایع برای ۴۵ - ۵ متر مربع سطح چوب بنا به نوع چوب مورد استفاده، کافی می‌باشد.

□ دقت:

- ماده باید در جای خشک و خنک نگه‌داری شود.
- مایع می‌تواند تا ۶ ماه در بسته‌بندی اصلی خود سالم بماند.
- بعد از باز کردن در ظرف به سرعت آن را مصرف نمایید.



شکل ۱۷ : استفاده از نانوچوب در سطوح چوبی

□ کاربرد نانوچوب

نانوچوب‌ها کاربردهای زیادی دارد، مانند:

۱. مبلمان چوبی
۲. اسکله‌های چوبی
۳. عرشه‌ی کشتی
۴. سونا
۵. کف و بام چوبی
۶. کابینتسازی

۳-۶-۵: دیودهای نورگسیل آلی^۱

یکی از محصول‌های مهم فناوری نانو، ساخت صفحه‌های نمایشگر بلور مایع با استفاده از لایه‌های بسپار فولرین است که به OLED مشهورند. فولرین‌ها به خاطر ویژگی‌های نورانی‌شان می‌توانند وضوح بیشتری به نمایشگر بدهند. (شکل ۱۸).

1- OLED: Organic Light-Emitting Diode

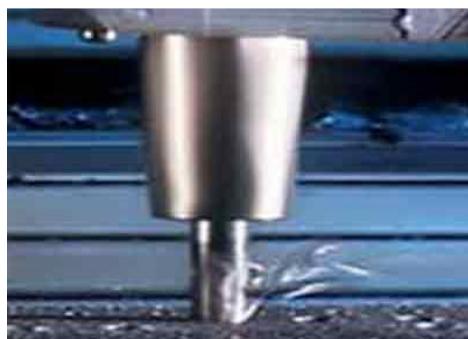


OLED Display Screen (from Universal Display Corp)

شکل ۱۸: صفحه‌های نمایشگر بلور مایع با استفاده از لایه‌های فولرین OLED

۴-۶-۵: پوشش‌های ضدسایش از جنس نانوکامپوزیت

پوشش‌های ضدسایش از جنس نانوکامپوزیت‌های اپوکسی‌سیلیکا مخصوص فولاد رامی‌توان با همراه کردن الکوکسی سیلان‌ها و مشتقات آن‌ها با رزین‌های اپوکسی از طریق فرایند سل-ژل تهیه نمود. رزین‌های اپوکسی مایع با گرانروی کم که توسط روش‌های مناسب به نانوسیلیکا زده‌اند، به دسته‌ی جدیدی از نانوپوشش‌های اپوکسی منجر می‌شوند که از مقاومت بی‌نهایت عالی در برابر خراش و سایش برخوردارند.



شکل ۱۹: ابزار آلات پوشش داده شده با مواد سخت و مقاوم در برابر سایش

۶-۵: نانوسنگ و بتن

□ فن‌آوری نانو در بتن^۱

به دلیل خاصیت مهم نامری بودن پوشش‌های نانوبتون، می‌توان از آن‌ها در محل‌های داخلی و خارجی استفاده نمود. زیرا زیبایی بنا حفظ شده، حتی سطوح بناهای پوشش داده شده توسط این مواد به راحتی و یا با آب باران تمیز می‌شوند. پوشش‌های ساخته شده با فن‌آوری نانو برای سطوح واکس زده شده، لعاب داده شده و رنگ شده نامناسب هستند.

استفاده از مواد نانوسنگ و نانوبتون، بنا به دلایل زیادی برای مصرف کننده، اقتصادی و مقرن به صرفه است. اگر مواد نانوسنگ در کارخانه‌ها بر روی سنگ‌های طبیعی و بتن‌ها به صورت پوششی بر روی سطح قرار گیرد، هزینه‌ها را بسیار پایین خواهد آورد. کارخانه‌هایی که از فن‌آوری نانو در بتن استفاده می‌کنند به سادگی می‌توانند رقبای خود را در بازار از نظر کیفیت و دوام محصولات و تولید محصولات مشتری‌پسند و اقتصادی کنار بزنند. استفاده از فن‌آوری نانو در سنگ‌ها، کیفیت محصول را بالا برده، باعث افزایش رضایت‌مندی مشتری می‌شود.

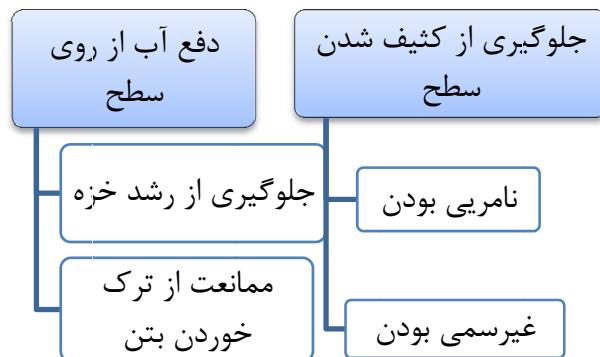
هم‌گام شدن با علم نانو در صنعت، فروش را بالا برده و بازارهای جدیدی برای تولیدکنندگان کالا ایجاد کرده است. شاید مواد نانوسنگ بزرگ‌ترین کمک را به شهرداری‌ها برسانند تا آرزوی داشتن شهری عاری از آلودگی به زودیحقق شود. سیمان‌هایی که برای پوشش درزها مورد استفاده قرار می‌گیرند، تنها با قطرات باران تمیز می‌شوند. تغییرات رنگی سنگ‌ها بر اثر عواملی همچون نور خورشید به سادگی برطرف خواهد شد. مایع نانوسنگ و بتن را می‌توان به وسیله‌ی اسپری‌های بادی که دارای سوراخ‌های ریزی برای پاشیدن مایع می‌باشند، بر روی سطوح اسپری کرد. کوچک‌تر بودن سوراخ اسپری در مصرف بهینه‌ی این نانوپوشش‌ها بسیار مؤثر می‌باشد. با استفاده از اسپری‌های استاندارد برای این مواد می‌توان به

بهینه سازی مصرف ماده از ۲۰- ۱۵۰ گرم بر متر مربع رسید. در صورت استفاده از برس برای کشیدن مایع بر روی سطوح، مصرف آن به صورت بسیار غیراقتصادی افزایش خواهد داشت.

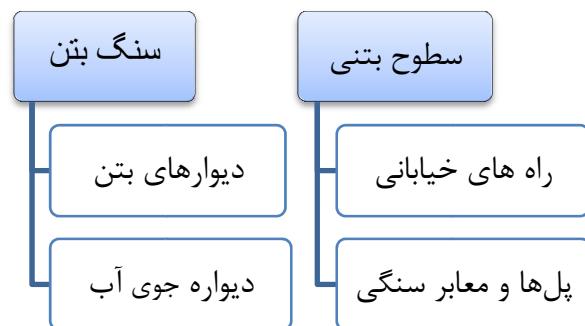
□ نانوسنگ‌های طبیعی

- سنگ‌های شنی و موzaïیک‌ها
- پنجره‌های سیلیس
- سنگ گرانیت
- سنگ گچ
- سنگ رس و سنگ مرمر
- آجر و سفال سقف خانه‌ها

□ مزایای نانوسنگ و بتن



□ کاربردهای نانوسنگ و بتن



۶-۵: نانوپارچه

□ فن‌آوری نانو در تاروپود منسوجات

با اسپری نمودن نانوپارچه بر روی انواع منسوجات، می‌توان از نفوذ آب در تاروپود پارچه جلوگیری نمود. با هر یک لیتر از نانوپارچه می‌توان ۳۰ - ۵۰ متر مربع پارچه را پوشش داد.



شکل ۲۰: پارچه‌ای حاوی پوشش نانو

شرکت‌هایی با استفاده از مواد نانو، پارچه‌هایی تولید کرده‌اند که با یکبار تکاندن آن‌ها، می‌توان حالت اتوی اولیه را به آن‌ها بازگرداند و همه‌ی چین و چروک‌هایشان را زایل کرد. با همین یکبار تکان، همه‌ی گرد و خاکی که به این پارچه‌ها جذب شده‌اند، نیز پاک می‌شوند.

۶-۵: فناوری نانوپوشش و نانوکامپوزیت در صنعت خودرو
پتانسیل گستردگی فناوری نانو، خودروسازان بزرگ دنیا را به سمت آغاز برنامه‌های پژوهش و توسعه در زمینه‌ی فناوری نانو سوق داده، این فعالیت‌ها اغلب با همکاری دانشگاه‌ها و صنایع دیگر همراه است.

یکی از گستردگترین کاربردهای فناوری نانو در صنعت خودرو، تاکنون ساخت نانوکامپوزیت‌ها بوده است. از آنجا که در نانوکامپوزیت‌ها، ذرات بسیار ریز (نانوذرات)، استحکام و دوام رزین را بسیار بالا می‌برند، جایگزین مواد مرسوم مانند میکا و تالک شده‌اند.

علاوه بر ویژگی‌های فیزیکی بهتر، این کامپوزیت‌ها دارای دو برتری دیگر نیز می‌باشند: نخست این‌که نانوذرات با ایجاد ماتریکس (زمینه) یکنواخت و هموار، به طور قابل توجهی زیبایی بیشتر را فراهم می‌کنند، بنابراین نانوکامپوزیت‌ها سطح زیباتر و رنگ‌های شفاف‌تری دارند. همچنین نانوکامپوزیت‌ها به دلیل نیاز به مواد تقویت‌کننده‌ی کمتر، تا حدود بیست درصد نسبت به کامپوزیت‌های رایج سبک‌ترند.

همچنین نانوپوشش‌هایی در حال تولید است که با اضافه کردن آن به سطح شیشه‌ی خودرو (برای مثال به روش اسپری کردن)، فرورفتگی‌های بسیار ریز سطح شیشه را پر کرده، سطح صاف و بدون پستی و بلندی ایجاد می‌کنند و در نتیجه قطرات ریز آب و گرد و غبار روی شیشه باقی نمی‌ماند. بنابراین موجب افزایش دید راننده، استهلاک کمتر برف‌پاکن‌ها و نیاز کمتر به شستشوی شیشه و بهبود دید در شب در نتیجه‌ی کاهش انعکاس مضر نور می‌شوند.

نمونه‌ای دیگر از کاربردهای نانوفن‌آوری در صنعت شیشه‌ی خودرو، شیشه‌هایی با قابلیت بازتاب پرتو فروسرخ نور خورشید می‌باشد. یک لایه‌ی بسیار نازک از نانوذرات، بین دو لایه‌ی شیشه قرار گرفته‌اند که وظیفه‌ی آن‌ها بازتاباندن پرتو فروسرخ نور خورشید و در نتیجه جلوگیری از گرم شدن زیاد داخل خودرو می‌باشد.

۷-۵: برنده‌ی جایزه‌ی نوبل شیمی در سال ۲۰۰۷
گرهارد ارتل^۱ متولد ۱۹۳۶ در آلمان است. وی در سال ۱۹۶۵ از دانشگاه صنعتی مونیخ، دکتری شیمی‌فیزیک گرفت و در حال حاضر استاد مؤسسه‌ی فریتزهابی در برلین آلمان می‌باشد.



شکل ۲۱: گرهارد ارتل

ارتل در زمینه‌ی شیمی سطح پژوهش‌های زیادی انجام داده، جایزه‌ی نوبل شیمی ۲۰۰۷ در این زمینه، به وی اهدا شد. شیمی سطح یکی از شاخه‌های مهم شیمی صنعتی است و در آن فرآیندهای بسیار گوناگونی مانند زنگ زدن آهن، کارکرد سلول‌های سوختی و چگونگی کار کاتالیزگرهای بررسی می‌شود.

1 -Gerhard Artel

۵-۸: نتیجه‌گیری

روشن است که نانو فن‌آوری، روند توسعه و پژوهش در زمینه‌ی پوشش‌ها را تغییر داده، راهکارهای نوینی را برای مشکلات خواص و فرآیند تولید پوشش‌ها ارایه می‌کند. اما بالا بودن قیمت و عدم وجود تولیدکنندگان کافی، راه را برای توسعه در مقیاس وسیع، سد کرده است. با این حال پیش‌بینی می‌شود که روش‌های فرآیند تولید نانوذرات، درحال تغییر است و به زودی قیمت‌های این دسته از مواد جدید، کاهش خواهد یافت و موج گستردگی از طراحی‌های جدید و پوشش‌های نوین، با ویژگی‌های منحصر به‌فرد دنیای پوشش‌ها را در بر خواهد گرفت.

منابع:

References:

- [1]- Sally Ramsey. *Coatings World*, April **2006**, 42-45.
- [2]- Wilfried Scholz and Thomas Sawitowski. *European Coatings Journal*, **2005**, 10, 52-55.
- [3]- Can Vu and Oliuier Laferts, *European Coatings Journal*, **2006**, 6, 34-38.
- [4]- Bocchi G.j., Powder Coatings, *The Complete Finisher's Handbook*, Liberto N.P. (Ed), *The powder Coatings Institute*, **1996**.
- [5]- Sieyfired Hekl; *European Coatings Journal*, **2006**, 6, 56 – 57.
- [6]- *European Coatings Journal*. **2003**, 10, 58-59.
- [7]- Misev T.A., *powder Coatings, Chemistry & Technoloyy*, John Wiley & sosn, **1991**.
- [8]- Andre Wyrsch: *European Coatings Journal*; **2006**, 09, 22-31.
- [9]- B.P.Malliki, *Surface Coatings International, Part A*, 5, **2006**, 248- 253.
- [10]- Reports and Documents at. Internet Sites.
- [11]- Surface. Coatings International.
- [12] -The scince of powder coatings.
- [13] - Reports and documents at magazines.

www.nano.com
www.ripi.ir
<http://www.nano.club.ir>
www.civilica.com
www.indeed.com
www.irancoat.ir
www.dekker.com
www.hupaa.com

