

علوم و تکنولوژی پیش آغشته‌ها

Science and Technology of Prepregs

مهندس محمدحسین بهشتی

مهندس علیرضا حیدری

مجمع صنعتی تهید شادآبادی

واژه‌های کلیدی:

پیش آغشته، آغشته‌سازی، مرحله B، زمان B، روندگی

چکیده:

مواد پیش آغشته شده یا پیش آغشته‌ها، ترکیب‌هایی از رزین و تقویت کننده‌اند که مستعد قالبگیری می‌باشند و به عنوان مواد مهندسی در ساخت کامپوزیت‌های پیشرفته مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد که اولین بار در سال ۱۹۴۷ در آزمایشگاه تهیه و در سال ۱۹۴۸ وارد بازار شدند موجب رشد سریع تکنولوژی پلاستیک‌های تقویت شده ساختاری و فداشونده‌ها را فراهم آورده‌اند. امروزه، پلیمرهای گرمانرم به‌همان خوبی پلیمرهای گرماسخت در ساخت پیش آغشته‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهم‌ترین ویژگی یک پیش آغشته گرماسخت، شبکه‌ای شدن جزئی رزین آن می‌باشد که میزان آن از اهمیت ویژه‌ای در کیفیت محصول برخوردار است. امکان کنترل خوب نسبت رزین به تقویت کننده، روندگی و ژله شدن از مزایای پیش آغشته‌هاست.

در این مقاله مواد اولیه مورد استفاده، مزایا، کاربرد تکنولوژی تولید و روش‌های مختلف آغشته‌سازی و نحوه بهبود آنها مورد بحث قرار می‌گیرد. شرایط انبارداری، آزمون‌های مهم کنترل کیفیت، عیب‌های به‌وجود آمده در حین تولید و خصوصیات مکانیکی پیش آغشته‌های مختلف نیز بررسی می‌شود. استفاده از آمه‌های مصنوعی و کامپیوتر در خط تولید و بهبود تقویت کننده‌ها و رزین‌های موجود یا استفاده از تقویت کننده‌ها و رزین‌های جدید از جمله موارد دورنمای تکنولوژی تولید پیش آغشته‌هاست.

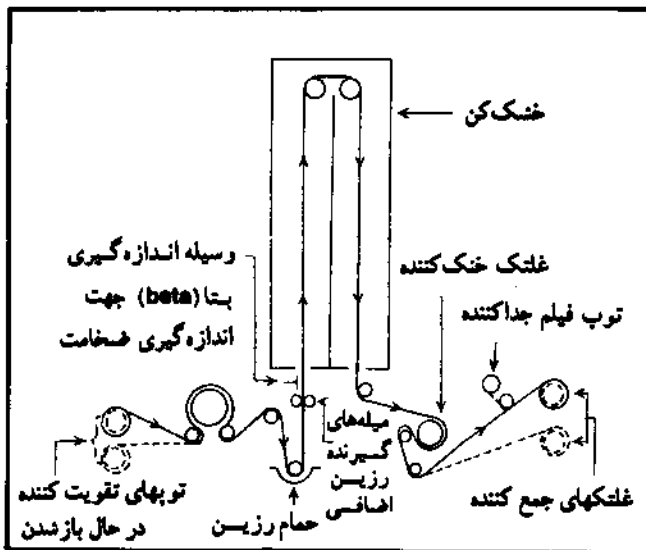
مقدمه

واژه پیش آغشته (prepreg) از مفهوم مواد پیش آغشته شده (pre-impregnated material) گرفته شده است. پیش آغشته به محصول واسطه‌ای گفته می‌شود که شامل یک ماده تقویت کننده و یک ماده پلیمری است و آماده شکل‌گیری و تبدیل به محصول نهایی است و در صورتی که ماده پلیمری از مواد گرماسخت باشد، جزئی شبکه‌ای شده است [1]. به عبارت دیگر پیش آغشته‌ها ترکیبی از رزین و مواد تقویت کننده‌اند که به راحتی قالبگیری می‌شوند.

مواد پیش آغشته اولین بار در سال ۱۹۴۷ به طریق آزمایشگاهی تهیه شدند و در سال ۱۹۴۸ به مرحله استفاده تجارتي رسیدند. معلوم شده است که این مواد تأثیر بسزایی در رشد و پیشرفت پلاستیک‌های تقویت شده داشته‌اند. این مواد با توجه به مزایایی که دارند سبب رشد سریع تکنولوژی پلاستیک‌های تقویت شده ساختاری و فداشونده (ablatives) شده‌اند [2].

در روشی که اولین بار حدود پنجاه سال قبل برای تهیه این مواد مورد استفاده قرار گرفت از رزین اپوکسی و الیاف شیشه استفاده شده بود. امروزه، مواد تقویت کننده مصرفی گستره وسیعی پیدا کرده‌اند و نام پیش آغشته به کاغذهای پیش آغشته شده، تقویت کننده‌های آغشته شده با رزین‌های گرمانرم و ترکیبات قالبگیری ورقه‌ای نیز گفته می‌شود. گرچه تولید هریک از این مواد نیاز به دستگاه‌های ویژه دارد ولی می‌توان گفت که تمامی آنها از لحاظ تکنولوژی تولید شبیه یکدیگرند و می‌توان آنها را از نظر فرایند تولید جزء پیش آغشته‌ها قرار دارد [1].

پیش آغشته‌ها که ترکیبی از رزین و تقویت کننده‌اند به صورت پارچه‌های بافته شده، پارچه‌های نم‌دی، دسته الیاف نتابیده (roving) و کاغذهای آغشته شده به رزین تولید می‌شوند و همچنین به شکل تویه‌های پارچه، نوارها، ورقه‌ها یا صفحه‌ها و الیاف خُرد شده وجود دارند. این شکل‌های مختلف پیش آغشته توسط آغشته کردن پارچه‌های بافته شده، انواع کاغذ یا الیاف پیوسته با یک رزین در شرایط کنترل شده تهیه می‌شوند. نمای کلی یک سیستم آغشته سازی و تهیه پیش آغشته‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ - نمای کلی یک سیستم آغشته‌سازی عمودی و تهیه پیش آغشته [2]

Key Words:

Prepreg, Impregnation, B-stage, B-time, Flow

همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، ابتدا تقویت‌کننده با رزین آغشته می‌شود و پس از گرفتن رزین اضافی آن، از یک خشک‌کن عبور می‌کند. در آنجا حلال رزین تبخیر می‌شود و واکنش شبکه‌ای شدن رزین به طور جزئی پیشرفت می‌کند. به عبارت دیگر جزئی پیوندهای عرضی بین زنجیرهای پلیمر به وجود می‌آید و بدین ترتیب جرم مولکولی پلیمر افزایش می‌یابد و به مرحله B می‌رسد. در اینجا توضیح این مطلب ضروری به نظر می‌رسد که واکنش یک رزین گرماسخت شامل سه مرحله A، B، C است. مرحله A، اولین مرحله در واکنش یک رزین گرماسخت است که در این مرحله رزین هنوز در مایعات معینی انحلال‌پذیر و ذوب شدنی است و وزن مولکولی پایینی دارد. در این مرحله رزین ممکن است به حالت مایع، جامد یا نیمه جامد باشد و رزینهای گرماسختی که به بازار عرضه می‌شوند در این مرحله‌اند.

مرحله B، یک مرحله میانی در واکنش رزینهای گرماسخت است که در این مرحله رزین در اثر گرم‌انرم و در تماس با مایعات معینی متورم می‌گردد، اما به طور کلی ذوب یا حل نمی‌شود به عبارتی رزینهای گرماسخت هنگام سخت شدن از یک حالت کشسان می‌گذرند که به آن مرحله B گویند. مدت زمان گذر از یک حالت مایع به یک حالت لاستیکی در یک دمای مشخص را زمان B (B-time) نامند. رزینها در ترکیبات قالبگیری گرماسخت معمولاً در این مرحله می‌باشند و در فرایند قالبگیری به مرحله C تبدیل می‌شوند.

مرحله C، مرحله نهایی در واکنش رزینهای گرماسخت است که در این مرحله رزین به طور کامل شبکه‌ای شده و غیرقابل حل و ذوب می‌باشد. در فرایند پیش‌آغشته‌سازی، رزینهای گرماسخت در مرحله A به تقویت‌کننده افزوده می‌شود و سپس در اثر گرما و ایجاد تعدادی پیوندهای عرضی به مرحله B می‌رسد که این عمل را پیشرفت رزین و گاهی پیش پخت گویند. میزان پیشرفت یا پیش پخت رزین بسیار اهمیت دارد. هر رزین گرماسختی در مرحله A یک زمان B مشخص دارد و در فرایند آغشته سازی به علت پیشرفت رزین، این زمان کاهش می‌یابد. ویژگی اساسی یک پیش‌آغشته گرماسخت، همین میزان پیشرفت آن می‌باشد.

اشاره می‌شود که بسته به نوع روش آغشته‌سازی، باید تغییراتی را در سیستم تهیه پیش‌آغشته ایجاد کرد ولی روش کلی همان است که در شکل ۱ نشان داده شده است. یادآوری می‌شود که پیش‌آغشته‌سازی را نباید با پیش‌اشباع کردن (pre-saturation) اشتباه گرفت. پیش‌اشباع کردن یک خیس کردن معمولی تقویت‌کننده است که قبل از مصرف آن انجام می‌شود [2].

امروزه از تقویت‌کننده‌های مختلف در تهیه پیش‌آغشته‌ها استفاده می‌شود و همچنین مواد پلیمری گوناگونی مورد استفاده قرار می‌گیرند که در ادامه مقاله به بحث درباره آنها خواهیم پرداخت.

طی سالهای گذشته دوشرکت نورتروپ (Northrop) و ام‌بی‌بی (M.B.B) در زمینه استفاده از آدمهای مصنوعی (robots) در دستگاههای تهیه پیش‌آغشته‌ها مطالعاتی را انجام داده‌اند، زیرا استفاده از آدمهای مصنوعی در

قسمتهای مختلف دستگاه تهیه پیش‌آغشته‌ها، سرعت تولید را افزایش می‌دهد. براساس کار انجام شده توسط شرکت نورتروپ، مدت زمان لایه گذاری یک دکل هواپیما با استفاده از آدمهای مصنوعی حدود ۱/۵ دقیقه می‌باشد که در مقایسه با روش دستی که ۹۰ دقیقه به طول می‌انجامد، به مراتب کمتر است [3].

مزایای استفاده از پیش‌آغشته‌ها و کاربرد های آنها

استفاده از پیش‌آغشته‌ها در ساخت قطعات کامپوزیتی در مقایسه با استفاده از دیگر مواد، مزایای زیادی دارد که عبارت‌اند از:

– مواد پیش‌آغشته از قبل آمیزه سازی شده‌اند و مراحل شیمیایی موردنظر را خارج از خط تولید گذرانده‌اند.

– کیفیت مطلوب قابل تولید مجدد است و آغشته‌سازی یکواخت رزین و تقویت‌کننده ممکن می‌شود.

– کنترل خوب نسبت رزین به تقویت‌کننده، سبب ایجاد خواص عالی در محصول می‌شود.

– روش تولید ساده است. زیرا پیش‌آغشته یک ماده آماده مصرف است. در ضمن آمیزه کردن مواد و ریختن رزین با دست که در دیگر

فرایندهای پلاستیکهای تقویت شده وجود دارد، در اینجا حذف شده است.

– راحتی ساخت به طراح آزادی عمل بیشتری می‌دهد تا اشکال غیرمنظم و با ضخامتهای مختلف را طراحی کند.

– تعداد مواد خام اولیه مورد نیاز کاهش می‌یابد. در پیش‌آغشته‌ها فقط یک ماده وجود دارد که باید حمل و نقل و انبار شود و مورد استفاده قرار گیرد.

– مقدار مواد تلف شده و ضایعات بسیار ناچیز است. پیش‌آغشته‌ها را می‌توان به شکل موردنظر برید و مورد استفاده قرار داد که در این صورت

نسبت رزین به تقویت‌کننده تغییر نمی‌کند و قطعه پلیسه (یا ضایعات اطراف قطعه پس از قالبگیری) چندانسی ندارد. ضایعات عمل برش را می‌توان خرد کرد و به عنوان یک ترکیب قالبگیری مورد استفاده قرار داد.

– روش تولید پیش‌آغشته‌ها می‌تواند به عنوان یک روش تولید خودکار مورد استفاده قرار گیرد. پیش‌آغشته‌هایی را که به صورت پیوسته

می‌باشند می‌توان خرد و قطعه قطعه کرد تا برای عمل قالبگیری آماده شوند. بسیاری از قطعات را می‌توان به طور مستقیم از این مواد تولید کرد.

– مواد پیش‌آغشته را می‌توان در یک خط تولید پیش‌ساخت شکل داد و سپس برش زد. قطعات برش داده شده را می‌توان به روش چندلایه سازی

(lamination)، در قالبهای چوبی یا فلزی ارزان قیمت قالبگیری کرد.

خصوصیات یک پیش‌آغشته بستگی به نوع رزین و تقویت‌کننده آن دارد. مشخصات مکانیکی آن به نوع، میزان و جهت‌یابی تقویت‌کننده وابسته است. خصوصیات شیمیایی، الکتریکی و گرمایی آن، بستگی به

نوع رزین و چگونگی آمیزه‌سازی آن با بقیه مواد افزودنی دارد [1]. بدیهی است که ویژگیهای هر دو فاز ماتریس، یعنی سیستم رزین و تقویت‌کننده، و

همچنین سازگاری بین آنها از اهمیت بالایی برخوردار است. نحوه فرآورش و شرایط آن نیز روی خصوصیات پیش‌آغشته تأثیر می‌گذارد. شرایط آغشته‌سازی و میزان نفوذ رزین در الیاف و خصوصیات سطحی تقویت‌کننده و همچنین نوع سیستم رزین نیز بسیار اهمیت دارند.

پیش‌آغشته‌ها مصارف گوناگونی دارند که در این قسمت به نمونه‌هایی از آنها اشاره می‌شود:

— چندلایه‌ایهای عایق الکتریکی: پیش‌آغشته‌ها در ساخت چندلایه‌ایها بیشترین کاربرد را دارند، زیرا بهترین چندلایه‌ایها را می‌توان با استفاده از پیش‌آغشته‌ها ساخت. بدین ترتیب کامپوزیتی حاصل می‌گردد که توزیع رزین و الیاف و جهت‌یابی آنها بخوبی کنترل شده است. و این امر در صورتی ممکن می‌شود که از پیش‌آغشته بدون عیب استفاده شود. — مواد پایه برای تولید صفحات مدار چاپی: چندلایه‌ایهای نازک همراه با یک پوشش مسی را به راحتی می‌توان از پیش‌آغشته‌ها تهیه کرد. لذا یکی از کاربردهای مهم پیش‌آغشته‌ها در تهیه این‌گونه صفحات چندلایه‌ای می‌باشد.

— ساخت قطعات به روش رشته پیچی: یکی از کاربردهای مهم پیش‌آغشته‌ها در ساخت قطعاتی است که به روش رشته پیچی تهیه می‌شوند. در این پیش‌آغشته‌ها از تقویت‌کننده‌های تک‌سویسی (*unidirectional*) یا دسته الیاف نتائیده استفاده می‌شود. این‌گونه پیش‌آغشته‌ها کاربردهای وسیع و گسترده‌ای پیدا کرده‌اند که از جمله می‌توان، ساخت مخازن تحت فشار و محفظه موتور موشکها را به کمک فرایند رشته پیچی نام برد [2]. با توجه به خصوصیات پیش‌آغشته‌ها که می‌تواند قبل از رشته پیچی مشخص شود، امکان پیش‌بینی دقیق اینکه آیا قطعه نهایی توانایی تحمل شرایط کاربردی را دارد یا خیر ممکن می‌شود. در طول فرایند رشته پیچی، با تغییر میزان کشش اعمال شده بر پیش‌آغشته، میزان رزین قطعه تولید شده تغییر نمی‌کند. همچنین دستیابی به بالاترین استحکام قطعه نهایی تضمین می‌شود زیرا در این حالت می‌توان از کمترین مقدار ممکن رزین استفاده کرد و بیشترین مقدار تقویت‌کننده را در قطعه به کار برد. مهاجرت رزین به لایه‌های خارجی و بیرونی و در نتیجه عدم یکنواختی توزیع رزین در کل قطعه، که در فرایند رشته پیچی تر وجود دارد، در این حالت به کلی حذف می‌شود [2].

— یکی دیگر از کاربرد پیش‌آغشته‌ها در ساخت فداشونده‌هاست که از آن جمله مصرف پیش‌آغشته‌های مقاوم حرارتی در ساخت گلوله‌اندازها، سکویهای پرتاب موشک و کاربردهای فضایی است [2].

مواد مورد استفاده در تهیه پیش‌آغشته‌ها

مواد اصلی مورد استفاده در تهیه پیش‌آغشته‌ها، رزین و تقویت‌کننده است و همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، مشخصات پیش‌آغشته تابع خصوصیات رزین و تقویت‌کننده آن می‌باشد. در ضمن انتخاب نوع رزین و تقویت‌کننده بستگی به شرایط کاربردی و خصوصیات مورد انتظار

از پیش‌آغشته دارد. البته در پیش‌آغشته‌ها، علاوه بر رزین و تقویت‌کننده از سخت‌کننده‌ها، شتاب‌دهنده‌ها، آغازگرها یا عوامل شبکه‌ای‌کننده، نرم‌کننده‌ها، حلالها و رنگها نیز استفاده می‌شود [1,5,6] که انتخاب این مواد نیز بستگی به نوع آمیزه رزین دارد.

الف - تقویت‌کننده‌ها

تقویت‌کننده‌هایی که عمدتاً از آنها استفاده می‌شود عبارت‌اند از: الیاف شیشه، کوارتز، گرافیت، کربن، آرامید، برن (*boron*)، پنبه نسوز، سیلیکا، نایلون، کاغذ محکم قهوه‌ای رنگ و پارچه‌های کتان [1,2] از نظر شکل و حالت بیشترین مصرف را الیاف بافته شده (پارچه‌ها) دارند، اما انواع دیگر از قبیل الیاف تک‌سویسی، دو و سه‌سویسی نیز مصرف می‌شوند. همچنین الیاف به صورت رشته‌ای مانند دسته الیاف نتائیده و نخ (*yarn*) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند [1]. در اینجا به بحث درباره چند نمونه از تقویت‌کننده‌ها می‌پردازیم:

— الیاف شیشه: تقویت‌کننده‌ای که به‌طور معمول مورد استفاده قرار می‌گیرد الیاف شیشه پیوسته نوع E می‌باشد [1]. در کاربردهای ویژه از انواع دیگر آن (*S, R*) نیز استفاده می‌شود. یادآوری می‌شود که الیاف شیشه انواع مختلفی دارد که به *S, R, E* و *D* معروف‌اند و هر یک خصوصیات ویژه خود را دارد. الیاف شیشه دارای ویژگیهای نسبت استحکام به وزن خوب و برجسته، استحکام کششی بالا، مدول کشسانی و جهندگی نسبتاً خوب و پایداری ابعادی خوب می‌باشد. این الیاف بیشترین کاربرد را در تهیه پیش‌آغشته‌ها دارد و همچنین دارای کاربردهای وسیعی در صنایع هوایی، قطعات موشکها، اجزای الکتریکی و قطعات بدنه اتومبیل است. الیاف شیشه همراه با همه رزینهای مورد استفاده در تهیه پیش‌آغشته‌ها به کار می‌رود [2].

— الیاف پنبه نسوز: پنبه‌های نسوز به صورت نمد، پارچه‌های بافته شده و کاغذ وجود دارند. نمدهای پنبه نسوز استحکام کششی و خمشی متوسط و مقاومت فداشوندگی (*ablation*) خوب دارند و عایقهای حرارتی مناسبی به حساب می‌آیند. پارچه‌های پنبه نسوز دارای خواص مقاومت در برابر ضربه بالا و استحکام کششی و خمشی خوب می‌باشند. کاغذهای پنبه نسوز عایق ارزان قیمت‌اند. از آنجا که پنبه‌های نسوز از خواص حرارتی کوتاه‌مدت (*short term heat*) و مقاومت در برابر شعله خوب (3700°C برای مدت 60 ثانیه) برخوردارند غالباً در صنایع موشکی و قطعات فضایی به کار برده می‌شوند. منسوجات پنبه نسوز در ساخت چندلایه‌ایهای بزرگ و کاغذهای پنبه نسوز به عنوان عایق ارزان غیر ساختاری به کار برده می‌شوند. پنبه‌های نسوز به عنوان تقویت‌کننده با فنولها و سیلیکونها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند [2]. یادآوری می‌شود که نباید آثار زیان‌بار ناشی از مصرف پنبه‌های نسوز را از نظر دور داشت و به هنگام مصرف آنها باید به نکات ایمنی توجه کرد.

— کاغذ: کاغذ به عنوان تقویت کننده در ساخت چندلایه‌ایهای فشار بالا (*high pressure laminates*) به کار برده می‌شود و به عنوان تقویت کننده فشار پایین نیز کاربردهای پیدا کرده است. از آنجا که این مواد گران بوده و چاپ روی آنها به راحتی انجام می‌شود و همچنین استحکام مناسبی برای این گونه کاربردها دارند، مصرف آنها در ساخت چندلایه‌ایهای زینتی زیاد است. کاربرد اصلی آنها در صفحات مدار چاپی است و به عنوان پوشش‌دهنده بعضی از محصولات نظیر انواع صندلی (با صفحات زینتی) نیز مصرف می‌شوند.

کاغذ به مقدار بسیار زیاد در ساخت لانه زنبوری (*honeycomb*) مورد استفاده قرار می‌گیرد. فنولها و ملامینها، رزینهای اصلی مورد مصرف در ساخت پیش‌آغشته‌های تقویت شده با کاغذ می‌باشند [2].

— تقویت کننده‌های ویژه: این دسته از تقویت کننده‌ها شامل شیشه با مقدار سیلیکای بالا، کوارتز، گرافیت و کربن است که این مواد می‌توانند دماهای بالا را تحمل کنند. الیاف سنتزی نیز کاربردهای ویژه‌ای پیدا کرده‌اند. الیاف شیشه با مقدار سیلیکای بالا در ساخت فداشونده‌ها در سکوها پرتاب موشک به کار می‌روند. الیاف گرافیت در ساخت قطعات قالبگیری فداشونده در موشکها مصرف می‌شوند و الیاف سنتزی در لوله‌ها و مجراهایی که حالت انعطاف پذیر دارند مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ب — رزینهای قابل استفاده در پیش‌آغشته‌ها

رزینهای فراوانی در پیش‌آغشته‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند ولی رزینهای اصلی مصرفی در پیش‌آغشته‌ها عبارت‌اند از: رزینهای پلی‌استر، اپوکسی، فنولی، سیلیکون، ملامین، پلی‌ایمید و پلی‌یورتان [1, 2]. امروزه استفاده از پلیمرهای گرمانرم در ساخت کامپوزیت‌های با کارکرد بالا رو به رشد است، زیرا این پلیمرها، نسبت به پلیمرهای گرماسخت از مقاومت در برابر ضربه بالاتر و مقاومت محیطی بهتر برخوردارند [4]. در این قسمت به توضیح چند نمونه از رزینها می‌پردازیم.

— رزین پلی‌استر: پیش‌آغشته‌های پلی‌استر در مقایسه با سایر پیش‌آغشته‌ها ارزان بوده و به راحتی در دمای پایین قالبگیری می‌شوند. آنها خواص مکانیکی، شیمیایی و الکتریکی خوبی دارند. انواعی از آنها مقاوم در برابر شعله می‌باشند. کاربرد اصلی پلی‌استرها در ساخت قطعات هواپیما، صفحات بزرگ (*panels*)، قطعات الکتریکی، قطعات بدنه اتوجیل و لوله‌هاست. پلی‌استرهای تقویت شده با کاغذهای مخصوص کاربردهای جدیدی را در ساخت صفحات حفاظت کننده و تزئینی پیدا کرده‌اند. خانواده جدیدی از پیش‌آغشته‌های پلی‌استر تولید شده است که در معرض انرژی ماورای بنفش به‌طور مستقیم پخت می‌شود [2].

— رزین اپوکسی: رزینهای اپوکسی جهت ساخت پیش‌آغشته‌ها، رزینهای بسیار مناسبی می‌باشند و مشکل خاصی ندارند. پیش‌آغشته‌های اپوکسی، استحکام مکانیکی زیادتری نسبت به پلی‌استرها دارند و دارای

ویژگیهای مقاومت خستگی و ثبات ابعادی عالی مقاومت زیاد در مقابل مواد خورنده، خواص الکتریکی خوب و میزان جذب آب خیلی پایین می‌باشند. پیش‌آغشته‌های اپوکسی — شیشه، مواد اصلی مصرفی در فرایند رشته بیچی‌اند و معمولاً در ساخت میله‌های گلف، قطعات هواپیما و موشکها مورد استفاده قرار می‌گیرند [2]. رزینهای اپوکسی مرحله B کاملاً مشخصی از خود نشان می‌دهند اما عمر مفید در ظرف سرباز پیش‌آغشته‌های آنها کوتاه است مگر آنکه در دماهای زیر 10°C — نگهداری شوند. پیش‌آغشته‌های رزینهای اپوکسی — نوالاک را می‌توان در دمای اتاق نگهداری کرد و اثری از تخریب در نمونه‌هایی از آنها که حدود ۱۴ ماه نگهداری شدند، مشاهده نشده است. البته باید آنها را با پوششهایی از پلی‌اتیلن نگهداری کرد [5].

— رزین فنولی: پیش‌آغشته‌های فنولی از خصوصیات استحکام مکانیکی زیاد (نظیر اپوکسیها)، مقاومت در مقابل دماهای بالا، خواص الکتریکی عالی و مقاومت شیمیایی زیاد برخوردارند. در ضمن عایقهای حرارتی خوبی می‌باشند. رزینهای فنولی ارزان قیمت با تقویت کننده الیاف شیشه برای ساخت میله ماهیگیری، قطعات داخلی هواپیما با استحکام زیاد و ساختار لانه زنبوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. تقویت کننده‌های دیگری که با رزینهای فنولی مصرف می‌شوند شامل پنبه‌های نسوز برای قطعات سکوها پرتاب موشک، کاغذ و کتان برای کلاهای ایمنی و چندلایه‌ایهای مورد مصرف در صنایع الکتریکی و شیشه با مقدار سیلیکای زیاد یا نایلون برای کاربردهای دمای بالا می‌باشند [2].

کاربرد رزینهای فنولی با دسته الیاف نستا بیده بسیار مشکلتر از کاغذها و نوارهای پهن است و در آزمایشهای گوناگونی که روی رزینهای فنولی مختلف صورت گرفته است به این نتیجه رسیده‌اند که اگر رزینی به مرحله B واقعی خود برسد، پیش‌آغشته‌هایی سفت و شکننده حاصل می‌گردد. با توجه به این مشکل کاربرد رزین فنولی با الیاف پیوسته غیر ممکن می‌شود مگر آنکه در هنگام تهیه پیش‌آغشته، میزان پیشرفت رزین در نقطه‌ای بین حالت بخت نشده و مرحله B متوقف گردد [5]. البته با تغییر در سیستم رزین می‌توان این مشکل را تا حدی رفع کرد. در تهیه پیش‌آغشته‌ها، عمدتاً از رزین فنولی نوع رزول (*resole*) استفاده می‌شود. — رزین ملامین: پیش‌آغشته‌های ملامین در طیف وسیعی از رنگها وجود دارند و رنگ خود را به خوبی حفظ می‌کنند. مقاومت سایشی زیاد، خواص الکتریکی خوب و مقاومت در مقابل بازها و شعله از ویژگیهای آنهاست. پیش‌آغشته‌های ملامین با ریبون و کاغذ، هنگامی که قالبگیری شوند کاربردهایی نظیر وسایل تزئینی، ظروف غذاخوری و کاشیهای دیواری پیدا می‌کنند. به علاوه ملامینهای تقویت شده با کاغذ در ساخت سطوح تزئینی برای روی میزها، مبلمان، صندلیها و صفحات بزرگ روی دیوار به کار می‌روند و با تقویت کننده‌های الیاف شیشه در ساخت چند لایه‌ای‌های صنعتی مصرف می‌شوند [2].

— رزین سیلیکون: پیش‌آغشته‌های سیلیکون از بالاترین

بیشتر در مورد مسائل این دو قسمت می‌پردازیم.

واحد آغشته‌سازی

واحد آغشته‌سازی یکی از قسمت‌های مهم یک سیستم آغشته‌سازی است که در آن تقویت‌کننده با رزین آغشته می‌گردد و مقدار مشخصی از رزین روی تقویت‌کننده قرار می‌گیرد. شرایط آغشته‌سازی، نوع و میزان نفوذ رزین و خصوصیات سطحی الیاف از عوامل بسیار مهم در این قسمت می‌باشند [4]. چهار روش برای آغشته‌سازی تقویت‌کننده با رزین وجود دارد که می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم کرد [4]:

الف - روشهای محلول

— غوطه‌وری در محلول (solution dip)

— افشاندن محلول (solution spray)

ب - روشهای مذاب

— غوطه‌وری در مذاب (melt dip)

— ورقه‌سازی مذاب توسط غلتک (melt film calendaring)

در روشهای محلول، رزین در یک حلال فرار حل می‌شود و سپس به روش غوطه‌وری یا افشاندن به تقویت‌کننده اعمال می‌گردد. این روشها نسبت به روشهای مذاب از قدمت بیشتری برخوردارند و در صنعت رایجترند، زیرا به کار گرفتن این روشها راحت‌تر و کنترل سیستم آغشته‌سازی سهلتر انجام می‌شود. در روشهای محلول ویسکوزیته رزین یا در صد مواد جامد محلول رزین، بسیار اهمیت دارد و هر چه ویسکوزیته محلول رزین مصرفی کمتر باشد عمل آغشته‌سازی بهتر انجام می‌شود [4]. میزان رزین جذب شده توسط تقویت‌کننده از روی میزان محلول اعمال شده به الیاف و مقدار حلال مصرفی تعیین می‌شود. در هر دو روش استفاده از محلول، لازم است که در مراحل بعدی فرایند، به وسیله تبخیر، حلال از سیستم خارج شود. کنترل میزان مواد فرار باقیمانده در پیش‌آغشته از عوامل مؤثر بر خصوصیات آن، در این روش می‌باشد. از نقاط ضعف روشهای محلول استفاده از حلال و سپس تبخیر آن است که از نظر اقتصادی و آلودگی محیط اهمیت دارد.

در روشهای مذاب، تقویت‌کننده یا از طریق غوطه‌وری در مذاب به رزین آغشته می‌گردد یا با استفاده از ورقه یا فیلمی از مذاب رزین، به آن آغشته می‌شود. در حالت دوم به روش ورقه‌سازی توسط غلتک، مذاب پلیمر به صورت یک لایه نازک روی یک فیلم جداکننده (releasing film) کشیده می‌شود. به عبارت دیگر رزین مذاب روی فیلم جداکننده ریخته می‌شود و ضخامت آن توسط یک تیغه کنترل می‌گردد. سپس رزین مذاب در یک قسمت گرم، به تقویت‌کننده انتقال می‌یابد. اولین مرحله یعنی روکش کردن فیلم جداکننده توسط یک لایه رزین مذاب را می‌توان در ابتدای سیستم آغشته‌سازی یا به عنوان مرحله‌ای جدا از فرایند آغشته‌سازی انجام داد. این روش در مواردی که از رزینهای گرم‌انرم به جای رزینهای گرم‌سخت استفاده می‌شود، کاربرد دارد [4].

خصوصیات الکتریکی قابل دسترس در پلاستیکهای تقویت شده برخوردارند. به علاوه آنها دارای بیشترین ثبات حرارتی قابل دسترس در انواع پیش‌آغشته‌ها می‌باشند. این مواد پیش‌آغشته حتی پس از آنکه به مدت طولانی در معرض دمای 230°C - 260°C قرار گیرند خصوصیات استحکام مکانیکی و الکتریکی خود را حفظ می‌کنند. پیش‌آغشته‌های سیلیکون - الیافت شیشه به عنوان عایق الکتریکی، لوله‌ها و مجراهای انتقال هوای گرم و قطعات هواپیما و سکوی پرتاب موشک مورد استفاده قرار می‌گیرند. پیش‌آغشته‌های سیلیکون با تقویت‌کننده پنبه نسوز یا شیشه با مقدار سیلیکای زیاد، مقاومت حرارتی بسیار بالا دارند و عایق‌های حرارتی خوبی می‌باشند. به همین جهت در نازل موشکها و موتورخانه گلوله اندازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [2].

تکنولوژی و فرایند تولید پیش‌آغشته‌ها

نمای کلی سیستم تهیه پیش‌آغشته‌ها در شکل ۱ نشان داده شد که به آن سیستم آغشته‌سازی عمودی گفته می‌شود. واژه عمودی به دلیل عمودی بودن خشک‌کن آن به کار برده می‌شود که از قسمت‌های اصلی این فرایند است. در صورتی که خشک‌کن به صورت افقی باشد آن را سیستم آغشته‌سازی افقی می‌نامند. در مکانهایی که از نظر ارتفاع مشکلی وجود نداشته باشد از سیستم عمودی استفاده می‌شود چون مساحت کمتری را اشغال می‌کند.

معمولاً یک سیستم آغشته‌سازی از قسمت‌های زیر تشکیل می‌شود:

— واحد بازکننده: در این قسمت تقویت‌کننده قرار می‌گیرد که ممکن است به صورت توپ پارچه یا قرقره‌هایی از نوع دسته الیاف نتاییده باشد. معمولاً از توپهای پارچه (به صورت یک، دو و سه سویه) استفاده می‌شود. پس از آنکه تقویت‌کننده از روی محور خود باز می‌شود از اطراف چند غلتک عبور می‌کند تا صاف و یکواخت شود.

— واحد آغشته‌سازی: این قسمت شامل یک ظرف رزین و چندین غلتک غوطه‌ورکننده است. آغشته شدن تقویت‌کننده با رزین و کنترل میزان رزین آن در این قسمت انجام می‌شود. از آنجا که ویسکوزیته رزین نقش بسزایی در آغشته‌سازی دارد و در ضمن تابع دماست، کنترل دمای قسمت آغشته‌سازی اهمیت دارد.

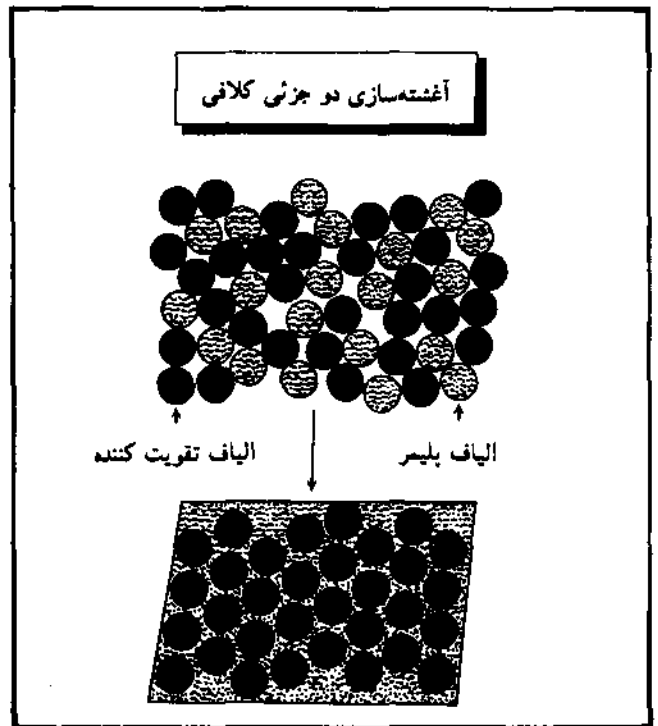
— خشک‌کن: یکی از قسمت‌های مهم یک سیستم آغشته‌سازی است که در آن تبخیر حلال و کنترل پشرفت رزین (شبکه‌ای شدن جزئی رزین و رسیدن به مرحله B مورد نظر) انجام می‌شود.

— سیستم جمع‌کننده: پس از خشک‌کن امکاناتی وجود دارد که پیش‌آغشته را جمع می‌کند. بدین ترتیب که پیش‌آغشته به صورت توپ پارچه در آمده یا به وسیله یک گیوتین به صورت صفحات بزرگی بریده می‌شود.

از چهار قسمت پیش‌گفته در یک سیستم آغشته‌سازی دو قسمت آغشته‌سازی و خشک‌کن از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند که به توضیح

در شکل ۲ روش جدیدی برای تولید پیش‌آغشته‌ها نشان داده شده است که آغشته‌سازی دو جزئی کلافی (*biconstituent tow impregnation*) نامیده می‌شود. در این روش ماتریس پلیمر به شکل لیف در می‌آید. شکل‌شناسی پلیمر نیز در مرحله ریسندگی و قبل از آغشته‌سازی کنترل می‌شود. الیاف پلیمر و تقویت‌کننده در کنار هم و بین یکدیگر قرار می‌گیرند که این عمل سبب آغشته‌سازی بهتر می‌گردد. این روش به طور عمده برای ماتریسهای گرم‌مانرم یا ویسکوزیته بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، انتقال ساختار پلیمر در مرحله ریسندگی به ماتریس کامپوزیت ممکن می‌شود [4].

بعضی از این روشهای آغشته‌سازی را می‌توان با هم مورد استفاده قرار داد، تا گستره وسیعتری از فرایندهای آغشته‌سازی را برای الیاف و رزینهای متفاوت به دست آورد.



شکل ۲ - روش آغشته‌سازی متشکل از دو جزء که هر دو فاز تقویت‌کننده و ماتریس پلیمری به صورت لیف می‌باشند و با هم وارد قسمت آغشته‌سازی که گرم است می‌شوند [4]

در تهیه یک پیش‌آغشته عمدتاً دو هدف اصلی دنبال می‌شود [1]:
 - تهیه پیش‌آغشته با درصد مشخصی از رزین یا وزن واحد سطح معینی از پیش‌آغشته (m_p) که این مشخصه به سرعت حرکت تقویت‌کننده (v) و ویسکوزیته رزین (η) بستگی دارد.

- دستیابی به نقطه مشخصی از مرحله B یا لحظه خاصی از زمان B پیش‌آغشته (B_p) که به سرعت حرکت تقویت‌کننده و دمای خشک‌کن (T) بستگی دارد.

با توجه به این نکات، اگر هدف رسیدن به درصد مشخصی از رزین

در پیش‌آغشته باشد با انتخاب ویسکوزیته، سرعت حرکت مشخص می‌شود. سپس با توجه به B_p مورد نظر، دمای خشک‌کن به دست می‌آید. بدین ترتیب متغیرهای v ، T و η را برای دستیابی به m_p و B_p مشخص، تعیین می‌کنند. اما در عمل مسائل بدین راحتی نیست و الیاف از لحاظ میزان جذب و رزینها از لحاظ قابلیت نفوذپذیری (خیس‌کنندگی) با هم تفاوت دارند.

استفاده از تقویت‌کننده‌های سنگینتر و همچنین سرعت حرکت بیشتر، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است ولی با افزایش وزن واحد سطح تقویت‌کننده و سرعت حرکت آن، کیفیت محصول کاهش می‌یابد. برای کاهش عیبه‌ها و مشکلاتی که در ارتباط با تهیه پیش‌آغشته‌ها به وجود می‌آید باید در روش آغشته‌سازی تغییراتی ایجاد کرد. روشهای عملی و مناسب که در ارتباط مستقیم با تغییرات فیزیکی می‌باشند در زیر آمده است [1]. با توجه به این موارد می‌توان پیش‌آغشته‌هایی با کیفیت خوب تولید کرد.

- حذف رطوبت جذب شده روی سطح تقویت‌کننده: این کار با پیش‌خشک کردن انجام می‌شود. تقویت‌کننده‌ها غالباً جاذب رطوبت می‌باشند و روی آنها را معمولاً لایه نازکی از رطوبت می‌پوشاند که این رطوبت باعث کاهش سازگاری و تماس رزین با تقویت‌کننده می‌گردد.

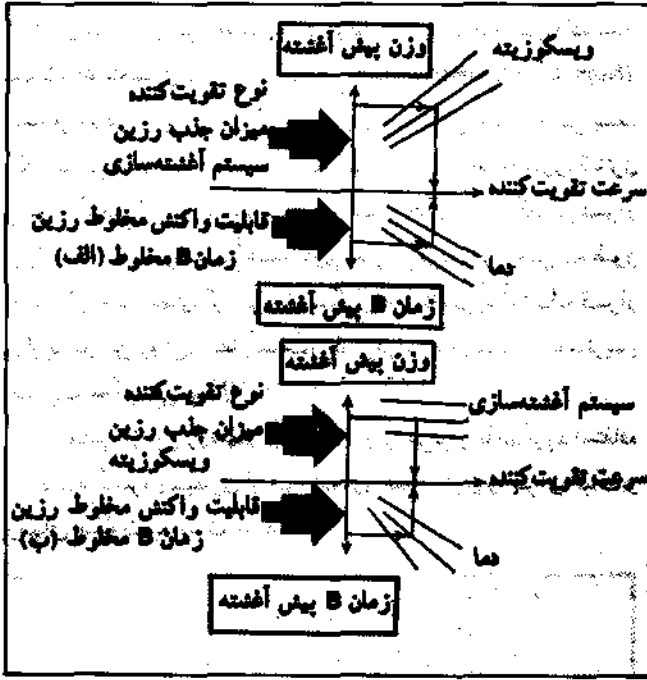
- افزایش انرژی سطحی تقویت‌کننده: این کار با اصلاحات الکتروستاتیک و پلاسما انجام می‌شود.

- کاهش کشش سطحی مخلوط رزین: این کار با استفاده از رزین و حلال مخصوص صورت می‌گیرد. موارد ۲ و ۳ سبب افزایش سازگاری رزین و تقویت‌کننده و تماس خوب آنها با هم می‌شود.

- اصلاح جریان مایع از طریق خطوط مویی تقویت‌کننده: برای این کار از روشهای مختلف از جمله استفاده از حمام آغشته‌سازی بزرگتر، غلتکهای پیش‌خیس‌کننده، سیستم‌خلاء، وسایل مافوق صوت، وسایل لرزان مکانیکی و آغشته‌سازی طی چند مرحله با استفاده از غلتکهای تنفسی استفاده می‌شود.

در شکل ۳ روش آغشته‌سازی چندمرحله‌ای نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که اولین مرحله آغشته‌سازی به وسیله یک غلتک پیش‌خیس‌کننده (*pre-wetting*) انجام می‌گیرد (I). در این مرحله یک طرف تقویت‌کننده خیس می‌شود که در نتیجه هوای موجود در تقویت‌کننده از طرف دیگر خارج می‌گردد. سپس طی چندین مرحله عمل آغشته‌سازی تکرار می‌شود (II). بدین ترتیب مدت زمان تماس تقویت‌کننده با رزین افزایش می‌یابد. در مرحله آخر (III) تقویت‌کننده درون ظرف رزین غوطه‌ور شده و آغشته‌سازی نهایی صورت می‌گیرد و رزین به خوبی جذب الیاف می‌گردد. با این کارها کیفیت آغشته‌سازی بهبود پیدا می‌کند.

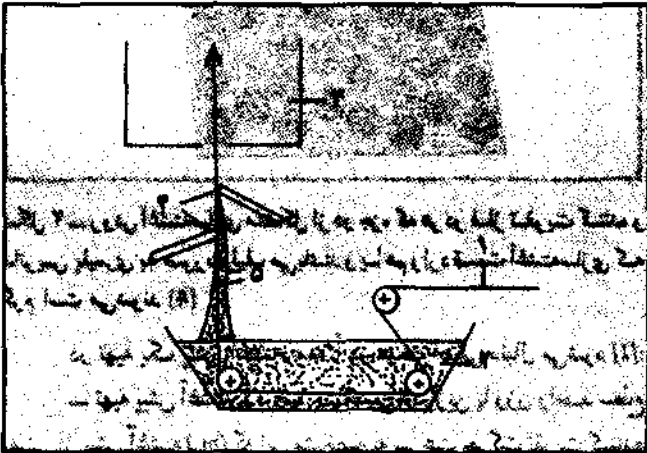
در شکل ۴ نمونه منحنی‌هایی از متغیرهای مختلف فرایند پیش‌آغشته‌ها نشان داده شده است. محور افقی سرعت حرکت تقویت‌کننده و محور عمودی تغییرات وزن واحد سطح پیش‌آغشته و زمان B آن را نشان



شکل ۴ - نمونه متنیهایی از متغیرهای مختلف فرایند پیش آغشته‌ها و اهداف مورد نظر [1]

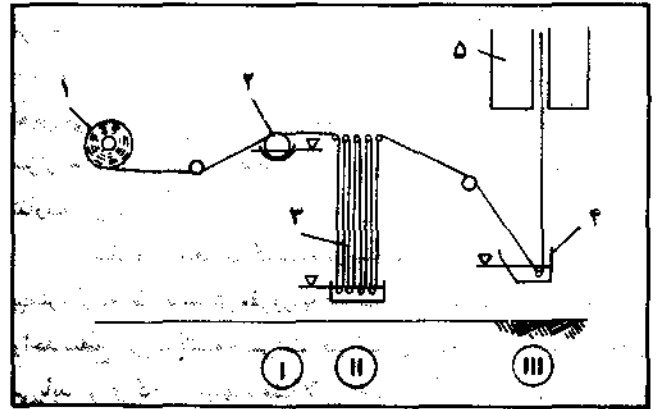
الف - آغشته‌سازی کلاسیک (غوطه‌پوشی) و ب - آغشته‌سازی بهبود یافته (استفاده از تیغه‌های کنترل شانه‌ساز)

است به صورت افقی یا عمودی باشد. خشک‌کنهای افقی دارای سطح زیاد و ارتفاع کم و خشک‌کنهای عمودی دارای سطح کم و ارتفاع زیاد می‌باشند. در صورتی که آغشته‌سازی به روش مذاب انجام شود دیگر نیازی به خشک‌کن نیست و به جای آن باید از یک خشک‌کن استفاده کرد ولی در روشهای محلول استفاده از خشک‌کن ضروری است. گاهی از



شکل ۵ - اصول یک سیستم آغشته‌سازی با استفاده از تیغه‌های کنترل شانه مانند که سبب می‌شود وزن پیش آغشته مستقل از سرعت شود (به شکل ۴ - ب نیز رجوع شود) [1]

۱ - تقویت کننده، ۲ - حمام آغشته‌سازی، ۳ - خشک‌کن، ۴ - تیغه‌های کنترل شانه‌ساز و ۵ - رزینی را نشان می‌دهد که به سمت پایین جریان پیدا می‌کند.



شکل ۳ - سیستم آغشته‌سازی چند مرحله‌ای جهت بهبود کیفیت آغشته‌سازی [1]

۱ - توپ تقویت کننده، ۲ - گلنک پیش خیس کننده، ۳ - آغشته‌سازی تکراری، ۴ - ظرف رزین و ۵ - خشک‌کن

می‌دهد. خطوط مورب مربوط به دماها و ویسکوزیته‌های ثابت است. شکل ۴ - الف یک فرایند آغشته‌سازی کلاسیک را نشان می‌دهد. در چنین سیستمی دستیابی به m_p و B_p مشخص مشکل می‌باشد، زیرا هر دو پارامتر به سرعت حرکت تقویت کننده بستگی داشته و مستقل از هم نمی‌باشند. برای بهبود شرایط آغشته‌سازی از روش ارائه شده در شکل ۴ - ب استفاده می‌شود. در این حالت امکان تعیین شرایط کار به راحتی وجود دارد. بدین ترتیب که سرعت را می‌توان تغییر داد تا به B_p مورد نظر رسید، بدون اینکه وزن پیش آغشته (یا درصد رزین آن) تغییر کند. از طرف دیگر در این سیستم می‌توان از رزینهای همراه با مقدار حلال کمتر استفاده کرد. بدین ترتیب آلودگی محیط توسط بخارات حلال کمتر می‌شود و نیازی به سیستم گران قیمت بازیافت حلال هم نیست. در صورت مصرف کمتر حلال ظرفیت تولید پیش آغشته نیز افزایش پیدا می‌کند، زیرا مقدار حلال کمتری باید تبخیر شود و در نتیجه سرعت عمل بیشتر می‌شود.

در شکل ۵ اصول این نوع سیستم آغشته‌سازی که در بالا به عنوان سیستم آغشته‌سازی بهبود یافته از آن یاد شد، نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در این سیستم با استفاده از تیغه‌های کنترل کننده (تیغه‌های شانه‌ساز) در دو طرف تقویت کننده، میزان رزین کنترل می‌شود و پیش آغشته با وزن مشخص (m_p) تولید می‌گردد. مستقل بودن میزان جذب رزین از ویسکوزیته بدان دلیل است که تغییرات میزان مواد جامد رزین به مراتب کمتر از تغییرات ایجاد شده در ویسکوزیته می‌باشد.

خشک‌کن

در یک سیستم تولید پیش آغشته، پس از مخزن آغشته‌سازی، خشک‌کن قرار می‌گیرد و آن یک تونل حرارتی است که دمای مناطق مختلف آن کنترل می‌شود. همانگونه که قبلاً اشاره شد خشک‌کن ممکن

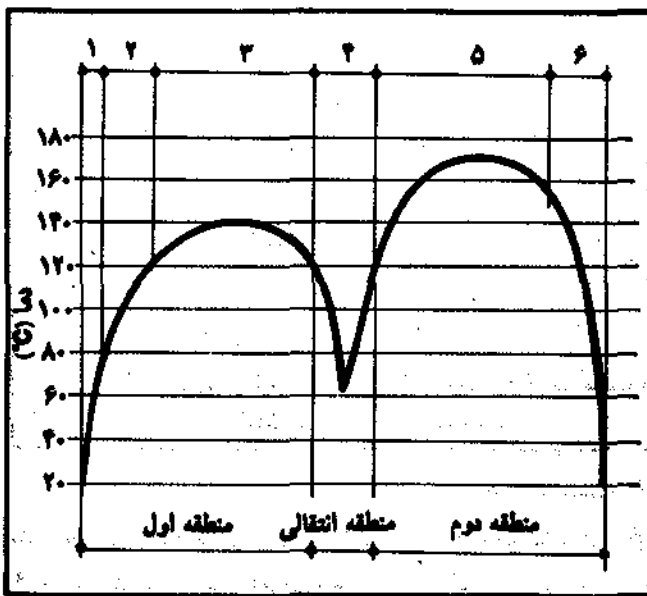
خشک کنهای دو قسمتی (دو قلو) نظیر آنچه که در شکل ۶ نشان داده شده است استفاده می شود. در چنین خشک کنهایی دما ابتدا افزایش و سپس کاهش و دوباره افزایش پیدا می کند. این تغییرات دما یک منحنی دو قلو را ایجاد می کند که ستون خشک کن را به سه منطقه تقسیم می نماید. در شکل ۷ توزیع دما بر حسب طول خشک کن در یک خشک کن دو قسمتی (شکل ۶) نشان داده شده است. همان گونه که در شکل ۷ مشاهده می شود فرایند انجام شده در طول خشک کن به شش مرحله تقسیم می شود. این مراحل عبارت اند از:

منطقه اول

- افزایش دمای تقویت کننده
- تبخیر حلال تا حد امکان
- اولین مرحله پیش پخت

منطقه انتقالی

- خشک شدن پلیمر (یا متوقف شدن پلیمر شدن) که باعث از بین رفتن چسبندگی سطحی پیش آغشته می شود.

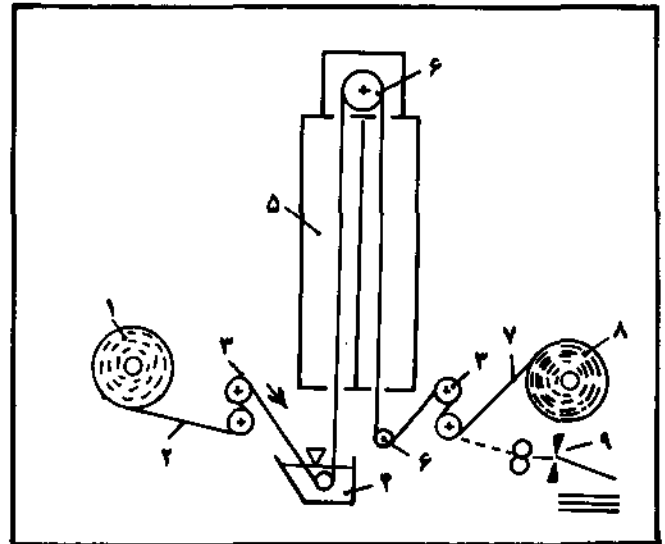


شکل ۷ - منحنی توزیع دما بر حسب طول خشک کن در یک خشک کن دو قسمتی [1]

می رود مقداری از حلالهای موجود، از سطح آن شروع به خارج شدن می کنند. برای این که حلال به راحتی از پیش آغشته خارج شود و حفره و تخلخلی برجای نماند، ویسکوزیته رزین باید کم باشد. یک واحد تولیدی باید توانایی کافی برای تغییر توزیع دما را که برای انواع حلالها و رزینهای مختلف مورد نیاز است داشته باشد. دما باید با دقت $\pm 1/5^{\circ}\text{C}$ کنترل شود [1].

در شکل ۸ یک سیستم خشک کن افقی نشان داده شده است. در این شکل یک مرحله خشک کن نیز دیده می شود. دمای منطقههای اول و دوم جداگانه کنترل می شود. در منطقه اول دما در حدود 125°C - 110°C می باشد که برای گرم کردن پیش آغشته و خروج حلالها لازم است. در این منطقه گرمای جذب شده صرف تبخیر حلال شده و مانع بالا رفتن دمای پیش آغشته می گردد. در منطقه دوم، اغلب حلالهای موجود در سیستم تبخیر شده و دمای پیش آغشته به طرف دمای سیستم و هوای موجود پیش می رود. همین امر سبب شروع واکنش رزین می شود. به همین دلیل دما را در حدود 140°C - 125°C ثابت نگه می دارند. دماهای پیش گفته برای پیش آغشتههای فنولی صادق است. گستره صحیح دما بستگی به نوع رزین به کار رفته و زمان عبور از این منطقهها دارد. منطقه سوم برای سرد کردن پیش آغشته تا دمای محیط یا دمایی که برای حمل و نقل پیش آغشته مناسب باشد به کار می رود. در سیستمهایی که با سرعت کم عمل می کنند نیازی به این منطقه نیست و پیش آغشته گرمای خود را در محیط از دست می دهد، ولی در سیستمهای سریع (40 m/min و بیشتر) لازم است که پیش آغشته سرد شود. برای سرد کردن پیش آغشته می توان از جریان هوا یا غلتکهای فولادی توخالی با جریان آب سرد استفاده کرد [6].

امروزه در واحدهای تولیدی، معمولاً از منابع گرمایش غیر مستقیم



شکل ۶ - اصول یک خط تولید پیش آغشته با خشک کن دو قسمتی [1]

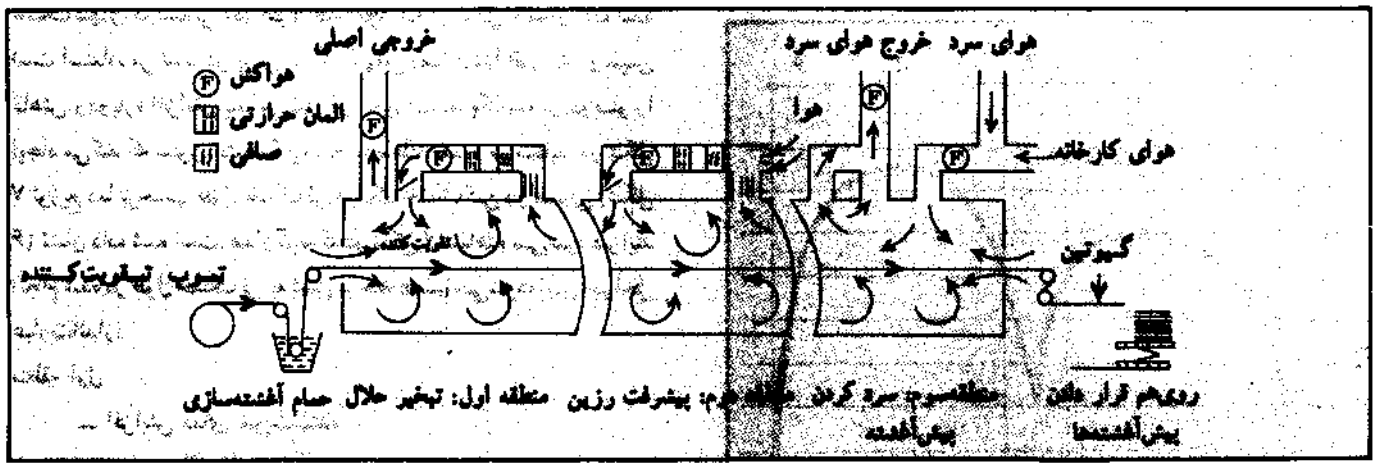
۱ - توپ تقویت کننده، ۲ - تقویت کننده، ۳ - واحد کش، ۴ - مخزن آغشته سازی، ۵ - خشک کن دو قسمتی، ۶ - غلتک خشک کننده، ۷ - پیش آغشته، ۸ - توپ پیش آغشته و ۹ - گوبین

منطقه دوم

- دومین مرحله پیش پخت

- سرد کردن پیش آغشته هنگام خروج از تونل خشک کن.

البته مراحل مراحل پیش گفته، دقیقاً یکی پس از دیگری انجام نمی شوند، بلکه بین مراحل مختلف یک مسیر انتقالی وجود دارد. در محل ورود به خشک کن دما باید زیر نقطه جوش حلال نگهداشته شود و سپس به تدریج افزایش یابد. زمانی که دمای پیش آغشته تا دمای تبخیر حلال بالا



شکل ۸ - سیستم آغشته‌سازی با خشک کن افقی [6]

یا به شکل قطعات کوچکی خرد کرد تا به عنوان ترکیب قابل‌گیری مورد استفاده واقع شود.

انبارداری

در بسیاری موارد پیش‌آغشته بلافاصله مورد استفاده قرار نمی‌گیرد بلکه یا انبار می‌شود یا حمل و نقل شده و به دست مصرف‌کنندگان مختلف می‌رسد. با توجه به اهمیت انبارداری نکاتی را در این زمینه یادآور می‌شویم.

شرایط انبارداری و مدت زمان آن به نوع رزین به کار رفته در پیش‌آغشته بستگی دارد. برای حفظ خواص الکتریکی و همچنین روندگی (flow) پیش‌آغشته، لازم است تا دما، میزان رطوبت و نحوه نگهداری پیش‌آغشته شدیداً مورد توجه قرار داشته باشد. اگر رزین پیش‌آغشته فنولی یا ملامین باشد دمای 33°C برای نگهداری آن مناسب است. در این دما پیش‌آغشته‌های فنولی را می‌توان تا چندماه و پیش‌آغشته‌های ملامین را حتی تا یک سال نگهداری کرد. هرچه دمای نگهداری پیش‌آغشته پایینتر باشد مدت زمان بیشتری می‌توان آن را نگاه داشت. پیش‌آغشته‌های اپوکسی را معمولاً در دماهای زیر 20°C و بعضی از انواع آن را در دماهای زیر صفر (-3°C) نگهداری می‌کنند. پیش‌آغشته‌ها را معمولاً همراه با یک فیلم پلی‌اتیلن می‌پیچند. بسته به نوع رزین در برخی موارد استفاده از فیلم پلی‌اتیلن لازم و ضروری است، در موارد دیگر پیش‌آغشته را که به شکل توپ پارچه درآمده است، در یک فیلم پلی‌اتیلن پیچیده تا از نفوذ گردوغبار و رطوبت به آن و تبخیر مواد فرار از آن جلوگیری به عمل آید.

مدت زمان انبارداری در تمامی پیش‌آغشته‌ها، به دمای نگهداری آن بستگی دارد. اغلب پیش‌آغشته‌ها را در دمای $4/5^{\circ}\text{C}$ یا کمتر نگهداری می‌کنند که این امر باعث طولانی شدن مدت انبارداری آنها می‌شود. به همین دلیل باید توجه داشت که از میمان رطوبت موجود در محیط روی پیش‌آغشته‌های سرد جلوگیری شود، لذا باید بسته‌بندی‌های آنها را پس از بیرون آوردن از محیط سرد تا رسیدن به دمای محیط باز نکرد [8].

مثل بخار آب، آب داغ، روغن داغ یا هوای گرم استفاده می‌کنند. در شکل ۹ یک سیستم خشک‌کن عمودی نشان داده شده که در آن از هوای داغ استفاده شده است. هوای داغ در این سیستم به وسیله سیستم‌های احتراق ایجاد می‌گردد. معمولاً خشک‌کن طوری تنظیم می‌شود که جهت حرکت پیش‌آغشته و جریان هوای داغ به صورت مخالف هم است و یک مجرای فرعی نیز وجود دارد که به تخلیه حلال تبخیر شده کمک می‌کند. هوا از طریق یک مجموعه نازل روی پیش‌آغشته دمیده می‌شود تا مؤثرتر باشد. اما روی هم رفته بازده گرمایی سیستم‌های همرفتی در چنین کاربردی کم است، زیرا احجام زیادی از هوا باید گرم شود تا از انفجار به دلیل بالا بودن نسبت حلال به هوا جلوگیری شود [1].

گاهی از ترکیب دو روش همرفتی و تابشی استفاده می‌شود. در چنین سیستمی بازده حرارتی بالاتر است و برای کاهش غلظت بخارات حلال از هوای سرد استفاده می‌شود. با استفاده از صفحات گرم که به روش تابشی کار می‌کنند و به‌طور غیرمستقیم با روغن داغ گرم می‌شوند، توزیع دما می‌تواند در گستره وسیعتری انجام شود. شکل ۹ - ب چنین سیستمی را نشان می‌دهد. به دلیل جریان هوا، همواره فشار درون خشک‌کن از حد معمول کمتر است و از خروج بخارات حلال به داخل محوطه کار جلوگیری به عمل می‌آید [1].

با کنترل دما در طول خشک‌کن می‌توان سرعت پخت یا میزان کاهش زمان B را مطابق نیاز تغییر داد. عوامل مهم در خشک‌کن دما و زمان عبور تقویت‌کننده از آن می‌باشد که هر دو عامل روی میزان پیشرفت واکنش رزین و شبکه‌ای شدن جزئی آن تأثیر می‌گذارند. میزان پیشرفت واکنش رزین در قالب زمان B یا مرحله B رزین مطرح می‌شود که مقدار آن روی قالب‌گیری پیش‌آغشته نقش بسزایی دارد.

پس از عبور پیش‌آغشته از خشک‌کن، غلتک‌هایی وجود دارند که آن را از خشک‌کن بیرون می‌کشند. پیش‌آغشته پس از ترک خشک‌کن و سرد شدن، دوباره جمع شده و به صورت لوله درمی‌آید و سپس انبار می‌شود. پیش‌آغشته را می‌توان به صورت صفحاتی برش داده شده درآورد

حال روش تعیین هر یک از این خصوصیات را یادآور می‌شویم:

آزمون تعیین میزان جذب رزین

یک نمونه قرص مانند به قطر 1.00 cm پیش آغشته بریده و با دقتی در حد میلی‌گرم وزن می‌شود. افزایش وزن برحسب درصد، درصد رزین جذب شده می‌باشد، یعنی:

$$\%R = \frac{W_p - W_1}{W_p} \times 100$$

W_1 = وزن تقویت کننده یا وزن پیش آغشته بدون رزین

W_p = وزن پیش آغشته با رزین

قابل توجه است که درصد رزینی که بدین روش تعیین می‌شود شامل مواد فرار باقیمانده در پیش آغشته نیز می‌گردد. برای تعیین درصد رزین خالص باید مقدار مواد فرار را از مقدار فوق کم کرد.

آزمون روندگی

روندگی یا جریان پیش آغشته در هنگام قابلیت‌گیری از خصوصیات مهم یک پیش آغشته می‌باشد. که بیانگر میزان پیشرفت واکنش رزین است و هرچه واکنش رزین در مرحله خشک شدن بیشتر پیشرفت کرده باشد میزان روندگی پیش آغشته کمتر می‌شود. برای تعیین روندگی تعدادی قرص به قطر 30 mm را از پیش آغشته بریده و روی هم قرار می‌دهند به گونه‌ای که وزن کل آنها 10 گرم گردد. سپس دو طرف آنها را با یک ورق آلومینیوم می‌پوشانند و در یک پرس کوچک قرار می‌دهند. سپس آنها را به مدت 3 دقیقه در دمای 140°C تحت فشار 10 MPa (10 Kg/cm^2) قرار می‌دهند. طبیعی است که یک چند لایه‌ای کوچک تولید می‌شود و طی این کار مقداری از رزین از لایه‌ها خارج شده و به صورت پلیسه در اطراف قطعه ظاهر می‌گردد. چند لایه‌ای قرص مانند را از روی پرس برداشته و می‌گذارند تا سرد شده و به دمای محیط برسد. سپس رزینهای اطراف آن را جدا کرده و درصد کاهش وزن آن تعیین می‌گردد. درصد کاهش وزن به عنوان روندگی یا جریان می‌باشد، یعنی:

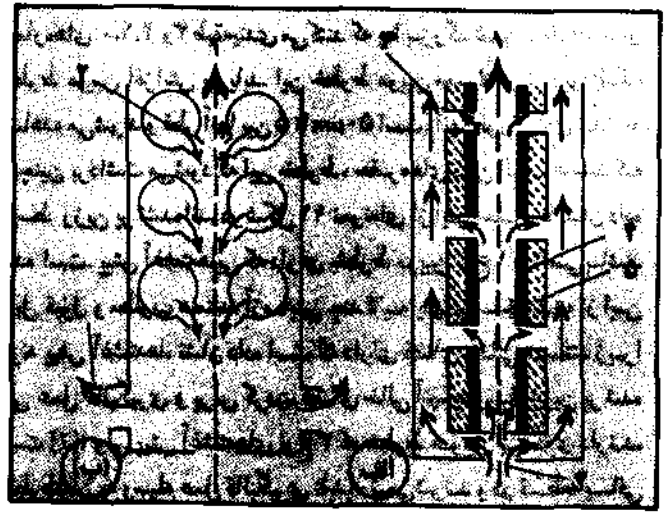
$$\%F = \frac{W_p - W_f}{W_p} \times 100$$

که در آن F = جریان، W_p = وزن اولیه قرصها و W_f = وزن قرصها پس از پرس شدن و جدا کردن پلیسه آنهاست.

آزمون تعیین درصد مواد فرار

برای تعیین درصد مواد فرار، قرصی به قطر 1.0 cm را از پیش آغشته بریده و وزن می‌کنند (W_0). سپس آن را به مدت 15 دقیقه در یک آون در دمای 160°C قرار می‌دهند و مجدداً پس از سرد شدن و رسیدن به دمای محیط وزن می‌کنند (W_1). میزان کاهش وزن به عنوان درصد مواد فرار می‌باشد (V)، یعنی:

$$\%V = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100$$



شکل ۹ - اصول یک خشک کن عمودی [1]

الف - سیستم باهرفنی خالص، ب - ترکیب هر دو سیستم هرفنی و تابشی، ۱ - تقویت کننده، ۲ - مند هوا، ۳ - جریان هوای بیشتر، ۴ - صفحات تابشی، و ۵ - روغن داغ

رزینهای وجود دارند که حمل و نقل آنها احتیاج به مراقبت زیاد دارد ولی پیش آغشته‌های آنها را می‌توان به راحتی حمل و نقل کرد و این یکی از مزایای پیش آغشته‌هاست. رزینهای پلی‌ایمید نمونه‌ای از این مواد هستند [8].

دمای 18°C و رطوبت نسبی 50% شرایط مناسبی برای نگهداری پیش آغشته‌هاست. بدیهی است که میزان پیشرفت واکنش رزینهای گرما سخت به مرور زمان افزایش می‌یابد و اگر برای مدتی طولانی در انبار نگهداری شوند، کیفیت‌شان افت می‌کند. استفاده از موادی که تحت هر شرایط بیش از یک سال از عمر آنها گذشته باشد سؤال برانگیز است و مدت انبارداری از زمان ورود مواد به واحد ساخت حساب می‌شود [8].

آزمونهای کنترل کیفی

به منظور کنترل عملکرد یک سیستم تولید پیش آغشته لازم است که آزمونهای کنترل کیفیت روی پیش آغشته‌ها به عمل آید و معمولاً در کنار هر خط تولیدی وجود یک آزمایشگاه کنترل کیفیت لازم و ضروری است. همچنین انجام این آزمونها قبل از قابلیت‌گیری پیش آغشته‌ها جهت مطمئن شدن از حفظ خصوصیات، لازم به نظر می‌رسد.

برای کنترل عملکرد یک سیستم، کنترل میزان جذب رزین و پیشرفت آن و مقدار مواد فرار باقیمانده در پیش آغشته اهمیت دارد. اگرچه خصوصیات دیگری نیز اندازه‌گیری می‌شود [6,9,10] ولی تعیین این سه ویژگی از اهمیت بیشتری برخوردار است. بدین ترتیب آزمونها را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- آزمون تعیین میزان جذب رزین پیش آغشته

- آزمون روندگی

- آزمون تعیین درصد مواد فرار

یادآور می‌شود که برای انجام آزمون‌ها فوق مطابق استاندارد باید به مراجع مربوط رجوع کرد [11,12].

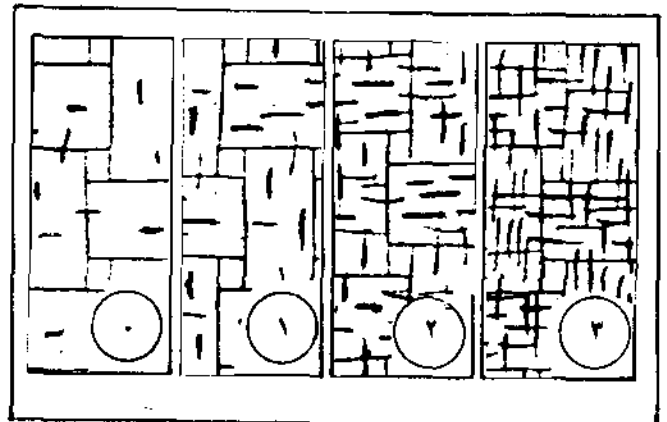
معایب به وجود آمده در تولید پیش آغشته‌ها

هنگام تولید پیش آغشته‌ها، اشکالاتی به وجود می‌آید که موجب بروز عیب و نقصهایی در آنها می‌شود. این عیب و نقص‌ها پیش آغشته را تحت تأثیر قرار می‌دهند و در نهایت روی کیفیت کامپوزیت تولید شده با آن مؤثرند. یک پیش آغشته بدون عیب پیش آغشته‌ای است که سطحی صاف داشته باشد و ماتریس پلیمری آن بدون حفره و ناخالصی بوده و تماس بین تقویت کننده و پلیمر به قدر کافی باشد. در صورتی که از چنین پیش آغشته‌ای استفاده شود کامپوزیتی حاصل خواهد شد که از پایداری ابعادی خوبی برخوردار است و مواد حد واسط نمی‌توانند در بین لایه‌های آن نفوذ کنند.

یکی از مهمترین عیب‌های به وجود آمده در پیش آغشته‌ها، نمایان شدن تقویت کننده است. این امر زمانی اتفاق می‌افتد که میزان رزین خیلی کم باشد. این حالت ممکن است به صورت اتفاقی یا به طور عمومی در سطح پیش آغشته ایجاد شود به آن آشکاری بافت (weave texture) یا *weave exposure* می‌گویند [1].

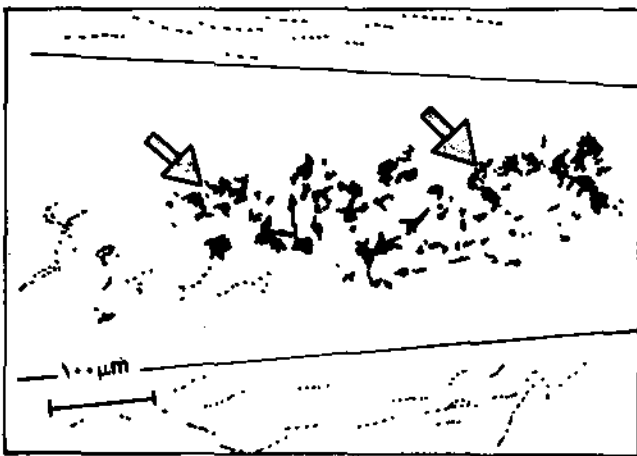
یکی دیگر از عیب‌های پیش آغشته‌ها، وجود حفره‌های ریز (*pinholes*) در آنهاست و هنگامی پیش می‌آید که سرعت خشک کردن بالا باشد. این حفره‌های ریز هنگام قالبگیری از بین نمی‌روند و در قطعه قالبگیری شده به صورت حفره باقی می‌مانند. وجود حفره در کامپوزیت، سبب افت خصوصیات آن می‌گردد. یکی از خصوصیات آن که در یک قطعه کامپوزیتی تعیین می‌شود، درصد حفره (*void*) می‌باشد و بهترین خصوصیات هنگامی به دست می‌آید که درصد حجمی حفره در کامپوزیت ۲٪ یا کمتر از آن باشد [10].

معمولاً پیش آغشته‌ها دارای خطوط موئین (*capillaryline*) نیز می‌باشند که در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند. این خطوط موئین را با



شکل ۱۰ - نمای پیش آغشته‌هایی که دارای خطوط موئین می‌باشند شماره‌ها بیانگر میزان این خطوط می‌باشند [1]

بزرگنمایی کم می‌توان مشاهده کرد و از این نقطه نظر پیش آغشته‌ها را با شماره‌های ۲، ۱، ۰ و ۳ طبقه‌بندی می‌کنند که با بزرگ شدن شماره میزان خطوط موئین افزایش می‌یابد. این خطوط موئین معمولاً در تاروپودالیاف مشاهده می‌شوند و قطر آنها بین ۵ تا ۵۰ μm است. آنها طول زیادی ندارند و چنین برداشتی می‌شود که این خطوط، حفره‌های بین الیاف هستند که توسط رزین پر نشده‌اند. در شکل ۱۱ نمونه‌ای از این حفره‌ها نشان داده شده است. پیش آغشته‌هایی که دارای خطوط موئین نوع ۱ و ۲ می‌باشند قابل قبول و مطلوب هستند. آزمایش چند لایه‌ایساخته شده از این گونه پیش آغشته‌ها، نشان داده است که دارای فضای خالی نیستند زیرا طی عمل قالبگیری و پرس کردن، فضای خالی آنها به وسیله رزین پر شده است [1]. ولی پیش آغشته‌های نوع ۳ که خطوط موئین بیشتری دارند، خطوطشان به وسیله عمل قالبگیری ناپدید نمی‌شوند و در قطعه باقی می‌مانند. سطح مقطع چنین قطعه‌هایی مطابق شکل ۱۱ است. چنین چند لایه‌ایهایی از نظر کیفی مردودند که به دلیل نفوذ مایع به درون آنهاست. همچنین این قطعه‌ها هنگامی که تحت تنش قرار گیرند، حفره‌ها نقش تمرکز کننده تنش را بازی می‌کنند و باعث مردود شدن زودرس کامپوزیت می‌گردند.



شکل ۱۱ - سطح مقطع پرداخت شده یک پیش آغشته که دارای خطوط موئین می‌باشد. در داخل دسته‌های الیاف حفره‌هایی وجود دارد که این حفره‌های ریز و کانال مانند توسط پلیمر پر نشده‌اند [1]

هرچه کیفیت آغشته‌سازی بهتر باشد، چند لایه‌ایساخته‌های بهتری را می‌توان تولید کرد.

بنابراین باید دانست که کیفیت آغشته‌سازی تابع چه عواملی است، برای این منظور از قانون پوی سوله (*Hagen-Poiseuille's Law*) و اعمال آن روی سیستم آغشته‌سازی و با در نظر گرفتن این نکته که خطوط موئین توسط رزین پر می‌گردند، استفاده می‌شود. با توجه به آن کیفیت آغشته‌سازی تابع مستقیم کشش سطحی ماتریس (رزین)، کسینوس زاویه تماس ماتریس و تقویت کننده، زمان تماس و تابع غیرمستقیم ویسکوزیته ماتریس پلیمری و ضخامت تقویت کننده می‌باشد [1].

برای تولید پیش آغشته‌های با کیفیت بالا می‌توان از الیاف سبک نیز استفاده کرد (نوع شماره ۰ و ۱). هرچه الیاف مورد استفاده سنگینتر باشد، فرایند اقتصادی‌تر است ولی پیش آغشته تولید شده کیفیت پایینتری دارد (نوع شماره ۲ و ۳). اصلاحاتی را می‌توان روی سیستم آغشته‌سازی انجام داد تا کیفیت پیش آغشته‌ها بهتر شود که چند مورد آن در قسمت واحد آغشته‌سازی توضیح داده شد.

دو عامل اصلی وجود دارد که روی میزان نفوذ رزین در الیاف تأثیر می‌گذارد که عبارت‌اند از:

- ضخامت الیاف که هرچه ضخامت الیاف بیشتر باشد، حجم هوای بین الیاف که باید به‌وسیله رزین پر شود بیشتر است.
- آستری یا عامل جفت‌کننده روی الیاف، که سبب ایجاد حفره‌های خیلی ریز در آنها می‌شوند.

لایه‌ایهایی به ضخامت 0.25 ± 0.017 cm است. همان گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، چند لایه‌ای پلی‌استر که به‌روش ساورای بسفخت پخت شده است، خصوصیات بهتری دارد و حتی مقاومت در مقابل رطوبت آن نیز بهبود یافته است. خصوصیات چند لایه‌ای اپوکسی نیز از پلی‌استر بهتر است.

در جدول ۳ خصوصیات یک نوع پیش آغشته اپوکسی که در دمای حدود $200^{\circ}C$ مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان داده شده است. همان گونه که دیده می‌شود ویژگیها در زاویه بارگذاری صفر درجه به‌مراتب بهتر از زاویه 90° می‌باشد و افزایش دمای آزمون و رطوبت نیز اثر منفی دارد. زاویه بارگذاری، زاویه‌ای است که جهت اعمال نیرو با جهت آرایش الیاف می‌سازد.

نتیجه‌گیری و دورنمای آینده

فرایند پیش‌آغشته‌سازی، یکی از فرایندهای پلیمرهاست که شامل تحولات شیمیایی و شکل‌گیری مواد می‌باشد. امروزه به فرایند پیش‌آغشته‌سازی نه فقط به عنوان یک علم بلکه به عنوان یک هنر می‌نگرند و بسته به نوع سیستم رزین و تقویت‌کننده می‌توان پیش‌آغشته‌هایی با خصوصیات متنوع به دست آورد. در ضمن با آگاهی از عوامل مؤثر در فرایند می‌توان آنها را به نحو مطلوب تعیین کرد و پیش‌آغشته‌هایی با کیفیت بالا تولید کرد. در چنین سیستمی می‌توان توزیع دمای خشک‌کن را به شکل کامپیوتری کنترل کرد. انجام آزمونهای لازم روی پیش‌آغشته برای کنترل فرایند آغشته‌سازی و تعیین رفتار آن در فرایندهای بعدی، به خصوص فرایند پرس کردن از اهمیت فراوانی برخوردار است.

با دستیابی به تقویت‌کننده‌های مناسبتر با اصلاح تقویت‌کننده‌های

خواص مکانیکی پیش‌آغشته‌ها

خصوصیات مکانیکی پیش‌آغشته‌ها بستگی به نوع رزین و تقویت‌کننده آن و نسبت وزنی آنها دارد. در جدول ۱ ویژگیهای چند پیش‌آغشته با سیستم رزینهای پلی‌استر، اپوکسی و فنولی داده شده است. در هر مورد مقادیر پیش‌بینی شده (نظری) و مقادیر تجربی پارامترهای مهم ارائه شده‌اند. با توجه به این داده‌ها می‌توان مقایسه‌ای بین پیش‌آغشته‌های مختلف انجام داد. همان گونه که مشاهده می‌شود پیش‌آغشته اپوکسی در دمای محیط خصوصیات مکانیکی بهتری نشان می‌دهد ولی خصوصیات پیش‌آغشته فنولی در دماهای بالا بهتر است.

در جدول ۲ ویژگیهای چند نوع پیش‌آغشته که در آنها پوشش الیاف بهبود یافته (*improved finishes*) و منسوجات استفاده شده ارائه شده است. اشاره می‌شود که داده‌های موجود در جدول مربوط به چند

جدول ۱ - داده‌های تجربی و نظری در مورد خصوصیات پیش‌آغشته‌های پلی‌استر، فنولی و اپوکسی [2]

نوع	تقویت‌کننده فنولی در دمای محیط				تقویت‌کننده اپوکسی در دمای محیط				نوع
	۲/۱۰	۲/۷	۲/۵	۲/۰	۲/۱۲	۲/۷	۲/۷	۲/۱۰	
۱	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۱
۲	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۲
۳	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۳
۴	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۴
۵	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۵
۶	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۶
۷	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۷
۸	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۸
۹	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۹
۱۰	۲۸۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	۲۸۰۰	۲۵۰۰	۲۷۰۰	۲۵۰۰	۱۰

الف - مدت $\frac{1}{4}$ hr در دمای $70^{\circ}C$ قرار داده شده است. ب - در شرایط محیطی و آب هوایی طبیعی قرار داشته است. ج - مدت $\frac{1}{4}$ hr در دمای $26^{\circ}C$ قرار داده شده است. د - پس از $10 \cdot hr$ در دمای $26^{\circ}C$

موجود و با استفاده از رزینهای جدید یا بهبود در رزینهای فعلی می توان به خصوصیات بهتر دست یافت.

از جمله این ویژگیها می توان از پایداری حرارتی زیادتر، مقاومت شیمیایی بیشتر، رفتار پختی بهتر، عمر نگهداری بیشتر نام برد و در نهایت به آمیزه های بدون حلال دست یافت.

در آینده نزدیک از روشهای آزمون تجربی از جمله *FTIR*، *DSC*، *HPLC* و *DMA* نه تنها برای شناسایی و بررسی خصوصیات این مواد بلکه برای ایجاد شرایط لازم، دستیابی به فرآیندی مناسب برای تولید پیش آغشته ها با خصوصیات مطلوب استفاده خواهد شد [1].

در آینده برای بهبود شرایط، نه تنها از بهینه کردن شرایط فرایند به طور آزمایشی بلکه از مدل های ریاضی موجود و سه ویژه از روشهای کامپیوتری استفاده خواهد شد. کنترل کیفیت محصول در این فرایندها نیز بدین طریق صورت خواهد گرفت.

تفاوت بین پلیمرهای گرماسخت و گرمنازم از نظر ساخت پیش آغشته به تدریج ناپدید می شود و پیش آغشته های گرمنازم نیز به خوبی پیش آغشته های گرماسخت مورد استفاده قرار می گیرند [1].

از دیگر کارهای انجام شده در این زمینه استفاده از آمسهای مصنوعی در امور مربوط به کنترل فرایند و حمل و نقل می باشد که مواردی از کاربرد آنها نیز اخیراً گزارش شده است [1,3].

REFERENCES

- [1] Wiedemann., Gottfried; Rothe H., "Development in Reinforced Plastics - 5, Process and Fabrication", Elsevier Applied Science, 1986.
- [2] Lubin G., "Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics Composites", Huntington, N. Y. R. E. Krieger Pub. Co., 1975.
- [3] Neise E., "Automated Prepreg Processing", Modern Plastics Int., pp. 132 - 135, Oct 1986.
- [4] Lee Walter J., Seferis J. C., "Prepreg Processing Science", SAMPE Quarterly, pp. 68 - 85, Jan 1986.
- [5] Paterson I. F., "Preimpregnation Techniques in Filament Winding and Experience in their Operation", Plastics and Polymers, Apr 1973.
- [6] Bikales M., Overberger, Menges, "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Sec. ed. V.8", JohnWiley and Sons Inc., 1987.
- [7] Mark H. F., Gaylord N. G., "Encyclopedia of Polymer Science and Technology V.8", JohnWiley and Sons Inc., 1969.
- [8] Mohr J. Gilbert, Oleesky S., "SPI Handbook of Technology and Engineering of Reinforced Plastics / Composites", Litton Educational Pub. Co., 1973.
- [9] Grandilli, Peter A., Technician's Handbook of Plastics", Van Nostrand Reinhold, 1981.
- [10] Lubin G., "Handbook of Composites", Sponsored, The Society of Plastics Engineerings, 1982.
- [11] ASTM D3531, D3532, American Society for Testing and Materials, Race. St, Philadelphia, USA, 1984.
- [12] Brown R.P., "Handbook of Plastics Test Methods", Sec. ed. P. 79, Plastics and Rubber Institute, 1981.
- [13] Brydson J. A., "Plastics Materials", 3rd. ed., Newnes Butter - Worths, 1975.

Paul John Flory

پاول جان فلوری

مشکل بنوان پاول جان فلوری را با عباراتی چون: «خردمند بزرگ» یا «پدر علم پلیمر جدید» توصیف نمود. در حقیقت این اوصاف ناساگامی هستند.

پاول فلوری در ۱۹۱۰ رونیه در استرلینگ ایلی نویز (Sterling Illinois) متولد شد. او در ۱۹۳۶ از کالج منچستر، ایندیانا، فارغ التحصیل گردید و در ۱۹۳۴ موفق به اخذ درجه دکترا در شیمی فیزیک از دانشگاه ایالتی اوهایو در کلمبوس شد. وی آزمایشگاه مرکزی پژوهشی دوپون (Dupont) را برای شروع فعالیتهای خود برگزید. به زبان خود فلوری خوش اقبالی او بود که در گروه کوچکی پذیرفته شد که داکتر والاس کارودز (Wallace H. Carothers) کاشف نایلون و نیوپرن و دانشمندی با اصالت و توان خارق العاده سرپرستی آن را به عهده داشت. این شروع نه تنها برای او بلکه با نگاهی به گذشته برای همه خوب بود. از کارهای پاول فلوری می توان از فعالیتهايش در دانشگاه سینسیاتی (Cincinnati)، آزمایشگاههای ايسو (Esso) (اکنون اکسون، Exxon) آزمایشگاه پژوهشی گودیر (Good Year)، تدریس در دانشگاه کورنل و سپس در مؤسسه ملون در پیترزبورگ، نام برد. در ۱۹۶۱ او اسنادی دانشگاه استفورد (Stanford) را پذیرفت. در سال ۱۹۶۶ در آنجا او را استاد جکسون - وود شیمی نامیدند. سمتی که تا پایان عمر حفظ کرد.

فهرست مسائل علمی که پاول فلوری از عهده حل آنها برآمد باور کردنی نیست. از آن جمله: توزیع جرم مولکولی پلیسولفید، ترمودینامیک محلولهای پلیمری (که در ابتدا نظریه فلوری - هاگینز نامیده می شد ولی چندی بعد به نام نظریه حجم آزاد حالت مایع نامگذاری شد)، نظریه زله شدن، ارتباط بین ویسکوزیته مواد مذاب و محلولها و ساختار مولکولی، مکانیک آماری مولکولهای زنجیری و مفهوم دمای تننا (Theta) که عموماً به نام دمای فلوری نامیده می شود. در ۱۹۷۴ جایزه نوبل شیمی به وی اعطا گردید.

نتایج پژوهشهای فلوری عبارتند از: یک نظریه جامع و جدید مربوط به کشسانی لاستیک، توضیحی بر ریختشناسی (مورفولوژی) مولکولی پلیمرهای نیمه بلورین و یک نظریه در مورد پلیمرهای بلور مایع. دو کتاب او به نامهای «اصول شیمی پلیمر» و «مکانیک آماری مولکولهای زنجیری» تورات و انجیل علوم پلیمر نامیده شده است کارهای انتخابی او مجموعه ای از انتشارات ناکامل وی شامل سه جلد کتاب است که بالغ بر بیش از ۲۶۰۰ صفحه می شود و توسط چهار متخصص در زمینه های متفاوت تدوین شده است.

پاول فلوری دینی وسیع از آینده موضوعهای خود داشت. در ژوئیه ۱۹۸۵ طی جشن تولدی که به مناسبت هفتاد و پنجمین سال تولد وی در استفورد برگزار شده بود گفت که اگر دوباره متولد می شد باز هم بر روی پلیمرها مطالعه می کرد زیرا آینده در انتظار بزرگترین کشفیات در علم پلیمر است. کارهای پاول فلوری در حد وسیعی به واقعیت پیوستن این پیش بینی را تضمین می کند. در حالی که کارهای وی ماهیتی بنیادی داشت ولی نتایج آنها شکل دهنده صنعت پلیمر بود. کتابی با عنوان «شکست پلاستیکها» درباره کاربرد سالم و بی خطر مواد پلیمری توسط ۳۲ نویسنده از آمریکای شمالی، اروپا، آسیا نوشته شده است که به نام پاول فلوری اهدا شده است.

Chemistry in Britain Aug. 1986

منبع: