دانشگاه صنعتی امیرکبیر
واحد دانشگاهی ماهشهر

دستور کار

کارگاه کامپوزیت

تهیه کننده : حسین ایزدی وصفی

کارگاه کامپوزیت

مقدمه

کلمه "کامپوزیت" (Composite) از نظر لغوی به معنی "ماده مرکب" می‌باشد که از مصدر to compose (به معنی ترکیب کردن، مخلوط کردن) مشتق شده است. در علم پلیمر، کامپوزیت به ترکیب یا مخلوطی از دو جزء (یا فاز) گفته می‌شود که دارای شرایط ذیل باشد:

۱- مصنوعی و جامد باشد.
۲- اختلاط فازها به صورت فیزیکی (نه شیمیایی) باشد.
۳- فازها به طور منظم و پراکنده در کنار یکدیگر قرار داشته باشند.
۴- فازها از نقطه نظر خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی با یکدیگر متفاوت باشند.
۵- یکی از فازها نسبت به فاز دیگر دارای خواص مورد نظر بهتری باشد.
۶- هر کدام از اجزاء ، خواص خود را در ترکیب حفظ کند.
۷- خواص مورد نظر در کامپوزیت، با توجه به نوع عملکرد و کاربرد نهایی، نسبت به خواص هر کدام از اجزاء بالاتر باشد.

بنابراین علم کامپوزیت به نوعی مربوط به طراحی و ساخت سازه‌هایی با خواص مکانیکی مطلوب می‌باشد. در واقع می‌توان گفت هدف اصلی از ساخت یک قطعه کامپوزیتی، رسیدن به یک یا چند خاصیت مکانیکی (و بعضاً فیزیکی) مطلوب می‌باشد.

کلیه سازه‌های کامپوزیتی دارای دو جزء (دو فاز) می‌باشند:

۱- فاز ضعیف، که فاز پیوسته یا ماتریس هم گفته می‌شود.
۲- فاز تقویت کننده، که به آن فاز ناپیوسته یا پراکنده هم می‌گویند.

فاز پیوسته یا ماتریس در سازه‌های کامپوزیتی به سه دسته کلی تقسیم می‌شود: فلزی، سرامیکی و پلیمری. ماتریسهای فلزی و سرامیکی (و کامپوزیتهای مرتبط با آنها) در حوزه تحقیقات مهندسین متالورژی و سرامیک بوده و از حیطه علم و مطالعات مهندسین پلیمر خارج است. در این بخش به اختصار به معرفی ماتریسهای پلیمری می‌پردازیم.

ماتریسهای پلیمری

در یک سازه کامپوزیتی بیشترین سهم قطعه را ماترس داراست. نقش ماتریس در یک قطعه کامپوزیت عبارتست از:

۱- انتقال تنش اعمالی به الیاف، ۲- حفاظت از الیاف در برابر سایش، و ۳- ایجاد یک سپر حفاظتی در مقابل شرایط محیطی نامناسب و نامطلوب.

ماتریسهای پلیمری به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: ۱- ترموپلاستیک‌ها، ۲- ترموست‌ها

۱- **ترموپلاستیک‌ها** : این مواد که به گرمانرم‌ها نیز موسوم هستند در اثر حرارت دیدن ذوب شده و قابلیت شکل‌دهی دارند. مثالهایی از این دسته پلی‌اتیلن، پلی‌پروپلین، پلی‌وینیل‌کلراید و نایلون می‌باشد.

۲- **ترموست‌ها** : این مواد نیز موسوم به گرماسخت‌ها می‌باشند و در اثر گرما پیوندهای عرضی در بین زنجیرهای آنها تشکیل شده و به یک ماده سخت تبدیل می‌شوند که پس از این تبدیل دیگر با حرارت دیدن نیز ذوب شدن یا تغییر شکل در آنها امکان‌پذیر نیست و در اثر حرارت بسیار زیاد، در دماهای بالا تخریب می‌شوند. رزینهای پلی استر غیر اشباع، اپوکسی، فنولیک و وینیل استر مثالهایی از این دسته‌اند.

از دو دسته ماتریسهای پلیمری ذکر شده در بالا، پلیمرهای ترموست در صنعت کامپوزیت کاربرد وسیعتری داشته و از اهمیت بیشتری نیز برخوردار هستند. از بین این ماتریسهای ترموست نیز رزینهای پلی استر غیر اشباع به دلیل استفاده بیشتر در مقابل دیگر رزینها، از موقعیت قابل توجه‌ای برخوردار است. لذا در بخش آتی به معرفی این نوع رزینها می‌پردازیم. پس از آن به سراغ روش‌ها و تکنیک‌های ساخت سازه‌های کامپوزیتی خواهیم رفت.

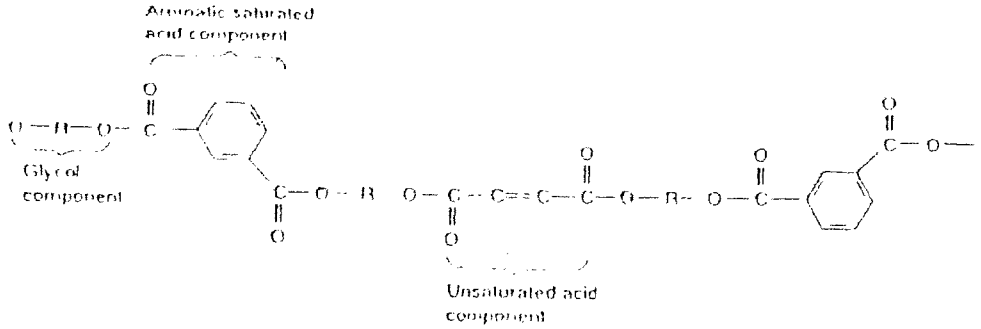
آشنایی با رزین‌های پلی‌استر غیراشباع

Unsaturated Polyester Resins

رزین‌های پلی استر غیر اشباع

مقدمه

مواد اصلی که در ساخت رزین‌های پلی استر غیر اشباع دخیل می‌باشد عبارتند از : اسیدهای اشباع، اسیدهای غیر اشباع و الکل‌های چند عاملی، که در اثر واکنش بین این مواد و حذف آب حاصل از واکنش آنها زنجیرهای پلی استر غیر اشباع تشکیل می‌شود. از مواردی که در خواص نهایی رزین پخت شده نهایی نقش مهم و اساسی دارد می‌توان به دانسیته مراکز غیراشباع در زنجیره پلی استر، نوع اسید و نیز نوع الکل شرکت کننده در واکنش تشکیل زنجیر اشاره کرد. شمای ساده‌ای از ساختار یک رزین پلی استر غیر اشباع در شکل زیر نشان داده شده است.

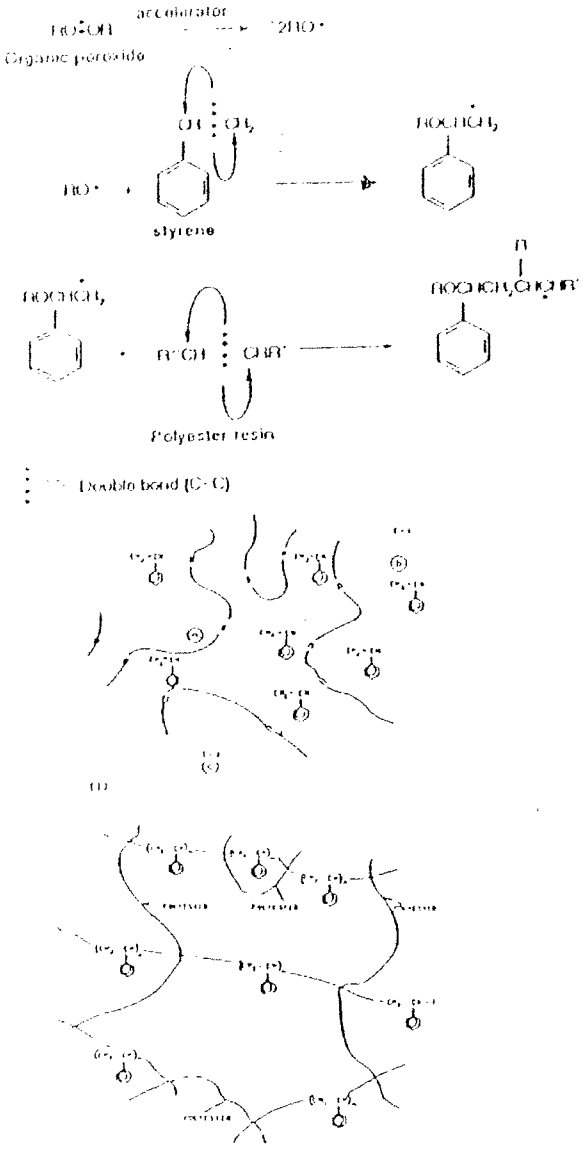


مکانیسم پخت رزین پلی‌استر

از آنجاییکه رزین‌های پلی استر غیر اشباع به صورت خالص دارای ویسکوزیته بالایی می‌باشند لذا جهت سهولت فرایندپذیری آنها را در حلالهای آلی حل می‌کنند. در بین حلالهای مورد نظر، ارزانترین و سازگارترین آنها استایرن است. بنابراین تمامی رزین‌های پلی استر غیر اشباع که در فرایندهای ساخت سازه‌های کامپوزیتی استفاده می‌شوند در واقع شامل زنجیرهای پلیمری حل شده در استایرن است. نقش دیگری که استایرن در رابطه با رزین‌های پلی استر غیر اشباع دارد این است که این ماده باعث ایجاد اتصالات عرضی در بین زنجیرهای پلی استر می‌شود. یعنی حلال استایرن هم به عنوان کاهنده ویسکوزیته و هم به عنوان برقرارکننده اتصالات عرضی نقش ایفا می‌کند. در این راستا، افزودن

کاتالیزور و شتابدهنده مناسب به رزین پلی استر، بدون فشار و حرارت منجر به ایجاد اتصالات عرضی شیمیایی و در نهایت جامد شدن و سخت شدن آن می‌گردد.

مکانیسم پخت رزین پلی استر غیر اشباع در شکل زیر نشان داده شده است.



دو نوع پخت کلی در مورد رزین‌های پلی استر وجود دارد: یکی پخت در دمای اتاق که موسوم به پخت خودبخودی (Self Curing) می‌باشد، دیگری پخت در دمای بالا که معروف به پخت داغ (Hot Curing) می‌باشد و در گستره دمایی 70-180 °C صورت می‌گیرد. در مورد پخت خودبخودی دو مولفه‌ای که برای پخت نیاز است عبارتست از کاتالیزور (مولفه شیمیایی اول) و شتابدهنده (مولفه شیمیایی دوم)، که اصطلاح "کاتالیزور" در واقع همان شروع‌کننده

(یا آغازگر) می‌باشد که به نوعی در صنعت کامپوزیت به نام رایج کاتالیزور شناخته می‌شود. این ماده از ترکیبات پراکسیدی است و در اثر واکنش با شتابدهنده (و یا بالا بردن دما در مکانیسم پخت داغ) ایجاد رادیکال آزاد کرده و رادیکال آزاد شده نیز استایرن را تبدیل به رادیکال آزاد کرده و رادیکال استایرن نیز با حمله به باندهای دوگانه موجود در زنجیره‌های پلی استر غیر اشباع منجر به ایجاد اتصالات عرضی می‌شود. در مورد پخت داغ مولفه‌های پخت عبارتست از کاتالیزور (مولفه شیمیایی) و حرارت (مولفه فیزیکی) که در این حالت- همانگونه که در بالا نیز بدان اشاره شد- کاتالیزور (یا همان شروع کننده) در اثر حرارت تجزیه شده و رادیکال آزاد تولید می‌کند.

در ساخت سازه‌های کامپوزیتی در صنعت، معمولا میزان ۱ تا ۲ درصد حجمی شتابدهنده و میزان ۱ تا ۵ درصد حجمی کاتالیزور (نسبت به میزان رزین پلی استر غیر اشباع) جهت پخت قطعه کامپوزیتی استفاده می‌شود.

در ساخت سازه‌های کامپوزیتی، آشنایی با نوع رزین و تاثیر آن بر خواص محصول نهایی و نیز شناخت سیستم پخت مناسب و تاثیر هر کدام از مولفه‌های کاتالیزور و شتابدهنده در پخت سیستم، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. جهت بررسی اثر هر کدام از این مولفه‌ها بر پخت سیستم کامپوزیتی پارامتری تحت عنوان زمان ژل شدن (Gel Time) مطرح می‌شود که اصطلاح رایج آن در صنایع کامپوزیتی، Pot Life می‌باشد. این پارامتر به مدت زمان بین افزودن مولفه‌های مورد نیاز جهت پخت و دقیقا قبل از ژل شدن سیستم اطلاق می‌گردد. زمان ژل شدن در زمینه شکل‌دهی کامپوزیتها و ساخت قطعات کامپوزیتی اهمیت بسیار دارد، چرا که بر اساس این پارامتر می‌توان گفت که در روشهایی مانند لایه‌گذاری دستی (Hand Lay-up) چه مدت زمان جهت آغشته سازی الیاف به رزین برای اپراتور باقی مانده است و پس از اینکه سیستم زمان ژل شدن را گذراند و به صورت ژل درآمد دیگر امکان آغشته سازی الیاف وجود ندارد. در واقع می‌توان گفت که زمان ژل شدن به نوعی عمر ماندگاری رزین جهت آغشته سازی پس از افزودن کاتالیزور و شتابدهنده است. میزان کاتالیزور و میزان شتابدهنده از جمله پارامترهایی هستند که بر روی این پارامتر تاثیر دارند.

در ادامه جهت آشنایی بیشتر با سیستم پخت خودبخودی (در دمای اتاق) و تاثیر هر کدام از مولفه‌های پخت بر روی زمان ژل شدن، آزمایش‌های زیر ارائه می‌گردد.

آزمایش شماره ۱ (جلسه اول)

آشنایی با رزین پلی استر غیر اشباع (۱) – تاثیر میزان شتابدهنده بر زمان ژل شدن

مباحث تئوری: ۱- مزیت پلیمرها و کامپوزیت‌ها نسبت به مواد دیگر، ۲- تعریف کامپوزیت و خواص آن، ۳- آشنایی با انواع ماتریسها و تقویت کننده‌ها، ۴- آشنایی با ساختمان رزین پلی استر غیراشباع و روش تهیه آن، ۵- چگونگی پخت رزین پلی استر غیراشباع و عوامل موثر بر آن، ۵- آشنایی با پارامتر زمان ژل شدن یا Pot Life در زمینه کامپوزیت و اهمیت آن در ساخت سازه‌های کامپوزیتی.

مواد و وسایل مورد نیاز : رزین پلی استر غیراشباع؛ کاتالیست؛ شتابدهنده؛ ترازو؛ کرونومتر؛ وسایل ایمنی (شامل دستکش لاتکس، ماسک ایمنی).

نکات ایمنی : حتما از دستکش و ماسک ایمنی استفاده گردد؛ کلیه عملیات زیر هود انجام شود؛ از اضافه نمودن مستقیم شتابدهنده به کاتالیزور خودداری گردد.

دستور کار عملی :

مقدار ۵۰ گرم از رزین پلی استر غیراشباع را در ۴ ظرف توزین نمایید. سپس در تمامی ظروف مقدار ۰/۵ cc کاتالیزور اضافه کرده و مخلوط حاصل را به خوبی به هم بزنید تا کل سیستم یکنواخت گردد. پس از اینکه در تمامی ظرفها مخلوط یکنواختی به دست آمد نوبت به اضافه کردن شتابدهنده می‌رسد (دقت شود همانگونه که در بخش نکات ایمنی هم ذکر شد از افزودن مستقیم شتابدهنده به کاتالیزور خودداری شود، چرا که افزودن مستقیم آنها باعث تولید حرارت بسیار زیاد می‌کند و خطرناک می‌باشد. بدین منظور رزین پلی استر به عنوان یک واسطه عمل می‌کند تا کاتالیزور و شتابدهنده به صورت مستقیم تحت تماس مستقیم با یکدیگر قرار نگیرند). حال جهت افزودن شتابدهنده به مخلوط ظرف و بررسی تاثیر میزان آن، در ۴ ظرف به ترتیب مقادیر ۰/۲ cc ، ۰/۴ cc ، ۰/۶ cc و ۰/۸ cc شتابدهنده اضافه کرده و بازهم تا رسیدن به یک مخلوط همگن و یکنواخت در کل ظرف، محتویات ظرف را به خوبی به هم بزنید. در ضمن، در هر مورد بلافاصله پس از افزودن شتابدهنده به ظرف، کرونومتر را روشن کنید.

در نهایت نیز زمان ژل شدن (یا Pot Life) هر کدام از مخلوطها را اندازه‌گیری کرده و با توجه به مقادیر مختلف شتابدهنده در هر ظرف، تاثیر میزان شتابدهنده بر زمان ژل شدن را ارزیابی کنید.

آزمایش شماره ۲ (جلسه دوم)

آشنایی با رزین پلی استر غیر اشباع (۲) – تاثیر میزان کاتالیزور بر زمان ژل شدن

مباحث تئوری : ۱- آشنایی بیشتر با مفهوم سیستم پخت، زمان ژل شدن و زمان سخت شدن نهایی (مراحل پخت کامل)، ۲- تاثیر مولفه‌های فیزیکی و شیمیایی بر روی پخت، ۳- مقایسه‌ای بین تاثیر میزان کاتالیزور بر زمان ژل شدن و تاثیر میزان شتابدهنده بر زمان ژل شدن.

مواد و وسایل مورد نیاز : رزین پلی استر غیراشباع؛ کاتالیست؛ شتابدهنده؛ ترازو؛ کرونومتر؛ وسایل ایمنی (شامل دستکش لاتکس، ماسک ایمنی).

دستور کار عملی :

مشابه با آزمایش اول، مقدار ۵۰ گرم رزین پلی استر را در هر کدام از ۴ ظرفی که در اختیار دارید بریزید. سپس به هر کدام از ظروف مقدار ۰/۵ cc شتابدهنده افزوده و محتویات ظروف را به خوبی هم بزنید تا یکنواخت و همگن گردد. پس از آن جهت بررسی میزان کاتالیزور بر زمان ژل شدن، به ترتیب به ظروف فوق مقدار ۰/۳ cc ، ۰/۵ cc ، ۰/۷ cc و ۰/۹ cc کاتالیزور اضافه کنید و شروع به هم زدن آن نمایید و تا رسیدن به یک مخلوط همگن و یکنواخت همزدن را ادامه دهید، در ضمن اینکه بلافاصله پس از افزودن کاتالیزور به هر ظرف، کرونومتر را نیز روشن کنید. در این آزمایش نیز برای هر کدام از سیستم‌ها زمان ژل شدن را اندازه گیری کرده و با توجه به مختلف بودن میزان کاتالیزور در هر کدام از ظروف، تاثیر میزان کاتالیزور بر زمان ژل شدن را بررسی کنید.

در نهایت با توجه به تاثیر میزان شتابدهنده بر زمان ژل شدن (که در آزمایش شماره ۱ بررسی کردید) مقایسه‌ای بین تاثیر میزان کاتالیزور بر زمان ژل شدن و تاثیر میزان شتابدهنده بر زمان ژل شدن انجام دهید.

آشنایی با تکنیک‌های ساخت سازه‌های کامپوزیتی

مقدمه

در این قسمت مطالبی کوتاه در مورد روشها و تکنیک‌های ساخت سازه‌های کامپوزیتی (که اغلب شامل پلیمرهای تقویت شده با الیاف شیشه (GRP) است) ارائه می‌دهیم. از آنجاییکه از بین پلیمرهای مورد استفاده، رزین‌های ترموست کاربرد بیشتری دارند لذا بحث مطرح شده در این قسمت نیز محدود به رزینهای ترموست می‌باشد. رزینهای ترموست در زمره ساده‌ترین مواد پلیمری جهت فرایند ساخت سازه کامپوزیتی هستند که در ضمن اختلاط با کاتالیزور یا مواد فعال کننده به سمت قالب هدایت شده و پس از سخت شدن در قالب، از آن خارج می‌شوند. قالبهای مورد استفاده در این زمینه، قالبهای جامد فلزی و غیر فلزی دارای استحکام بالا هستند. مثالهایی از این دسته، قالبهای پلیمری (کامپوزیتی)، قالبهای چوبی، قالبهای گچی، قالبهای سیمانی و قالبهای سنگی هستند.

مواردی که در بحث قالبگیری ترموستهای تقویت شده مهم است عبارتند از :

۱- کاهش احتمالی هوای محبوس، ۲- طراحی مناسب قالب به گونه‌ای که بتوانیم قطعه را به راحتی از آن جدا کنیم، ۳- در نظر گرفتن پدیده کاهش حجم (Shrinkage).

رزینهای ترموست در هنگام فرایند پخت و جامد شدن، کاهش حجم را در خود دارند. سرعت و نایکنواختی کاهش حجم باعث ایجاد تنش درونی در سازه پخت شده می‌شود و می‌تواند سبب ترک و شکاف در سازه کامپوزیتی گردد.

مراحل کلی ساخت و فرآورش

با توجه به توضیحات فوق، فرآورش تمامی قطعات کامپوزیتی مستلزم رعایت ۳ نوع عملیات مجزا و مشخص است:

۱- آمیزه سازی رزین (اختلاط رزین با مولفه‌های پخت و مواد دیگر).

۲- قرار دادن مواد در قالب و آغشته سازی تقویت کننده با رزین

۳- پخت کامپوزیت.

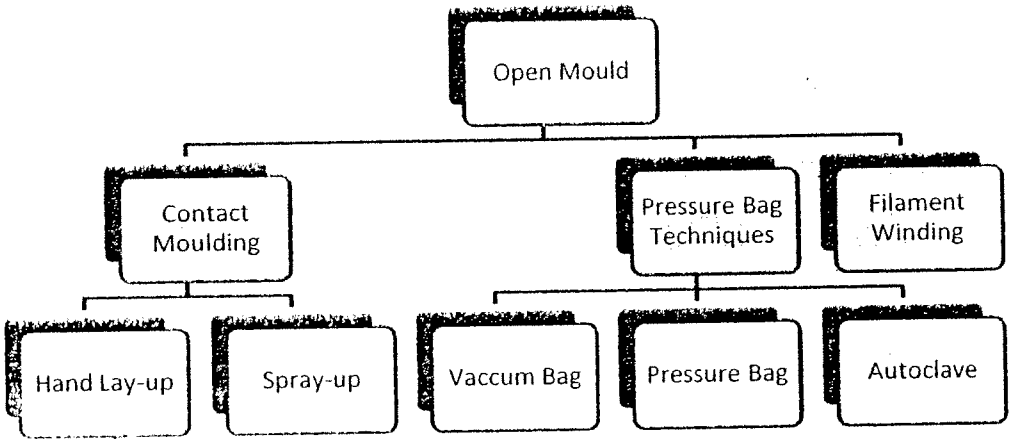
تمامی فرایندهای ساخت سازه‌های کامپوزیتی (که اغلب، پلیمرهای تقویت شده با الیاف هستند) شامل این سه مرحله می‌باشند.

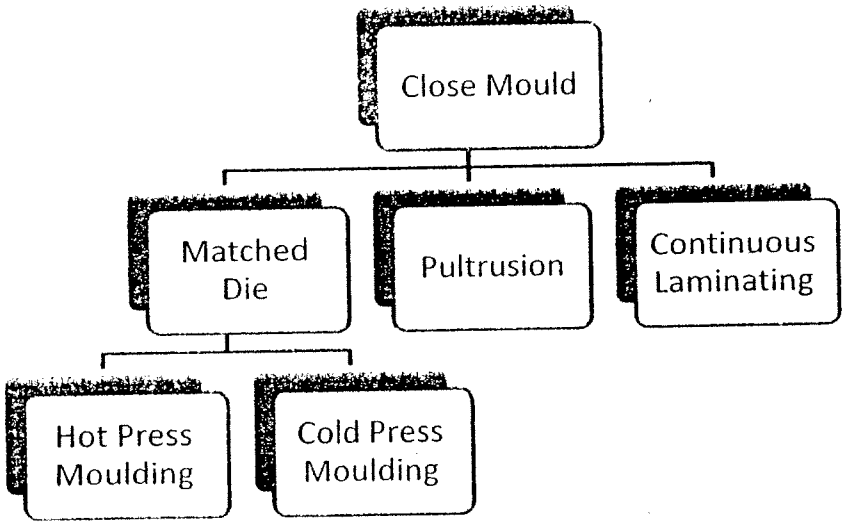
تکنیکهای ساخت سازه‌های کامپوزیتی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

۱- فرایندهای قالب باز (Open Mould Processes)

۲- فرایندهای قالب بسته(Close Mould Processes)

فرایندهای مختلف زیر شاخه‌های هر دسته در جداول زیر آمده است.





تکنیک لایه‌گذاری دستی

Hand Lay-up

تکنیک لایه‌گذاری دستی (Hand Lay-up یا Land Laminating)

روش لایه‌گذاری دستی که به اختصار به آن HLU هم می‌گویند هنوز در زمینه ساخت سازه‌های کامپوزیتی به طور وسیعی به کار می‌رود. علیرغم آلودگی آن (به دلیل سمی بودن حلال استایرن) و کنترل دشوار در لایه‌گذاری و نیاز به کارگر (مشکل نیروی کار طاقت‌فرسا) و تجرب در کار در این روش، دلیل کاربرد وسیع آن انعطاف‌پذیری و قیمت پایین قالب و دیگر تجهیزات مورد نیاز در این روش و نیز قابلیت تولید قطعات بزرگ (مانند بدنه قایق) است.

مراحل مختلف این روش با توجه به شکلی که در ادامه آمده است به صورت زیر می‌باشد.

مرحله ۱ : پاک سازی قالب از هر گونه آلودگی. سپس اعمال واکس به سطح قالب با استفاده از مواد جدا کننده از قالب (Release Agent) جهت جلوگیری از چسبیدن قطعه نهایی به قالب و آسان رهاشدن قطعه.

مرحله ۲ : اعمال لایه پوشش ژلی (Gel Coat) با برس یا غلطک نرم و یا اسپری کردن این لایه.

دلایل اعمال لایه پوشش ژلی عبارتند از : ۱- افزایش سختی در سطح، ۲- زیبا سازی سطح قطعه، ۳- مقاوم سازی سطح در برابر عوامل محیطی نامناسب و عوامل شیمیایی مختلف، ۳- پنهان کردن آرایش الیاف.

مرحله ۳ : اعمال لایه اول رزین با برس و یا غلطک نرم.

مرحله ٤ : برش الیاف به اندازه مناسب و قرار دادن آن در قالب.

مرحله ٥ : افزودن رزین در صورت نیاز.

مرحله ٦ : غلطک زنی و توزیع رزین.

مرحله ۷ : تکرار مراحل ۴ تا ۶ تا رسیدن به ضخامت مناسب قطعه.

نکته مهم : الیاف و رزین به طور یک در میان و متناوب در قالب قرار می‌گیرند و توسط یک غلطک شیاردار در هر مرحله لایه‌ها محکم و یکنواخت می‌شود. این عمل ابتدا سبب هر چه بیشتر اشباع شدن و آغشته شدن الیاف توسط

رزین و به نوعی اختلاط بهتر رزین و الیاف می‌گردد، در عین حال موجب خروج و از بین رفتن هوای محبوس و فضای خالی (Void) در داخل سازه می‌شود.

مرحله ۸ : رها سازی سیستم تا ژل شدن کامل رزین.

مرحله ۹ : تمیز کاری اولیه (مثلا تمیز کاری دور قالب و ...).

مرحله ۱۰ : فرصت دادن کافی جهت پخت کامل کامپوزیت.

مرحله ۱۱ : خارج کردن قطعه از قالب.

مرحله ۱۲ : پرداخت نهایی قطعه (برش اطراف قطعه، سمباده کاری و ...).

مراحل اول تا هفتم در شکل صفحه بعد نشان داده شده است.

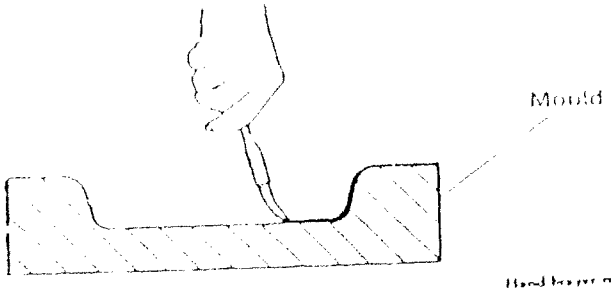
چهار مولفه اساسی که در این روش (به مانند روشهای دیگر ساخت سازه کامپوزیتی) باید رعایت کرد عبارتند از:

۱) آغشته سازی خوب الیاف به رزین

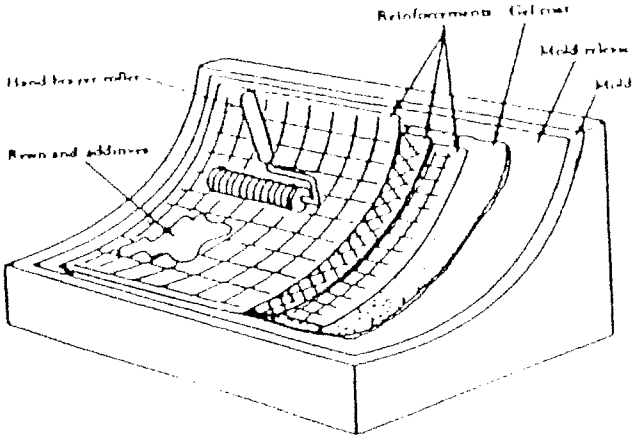
۲) تحکیم بین لایه‌ها

۳) استخراج حباب هوا (void) از توده قطعه (هواگیری خوب)

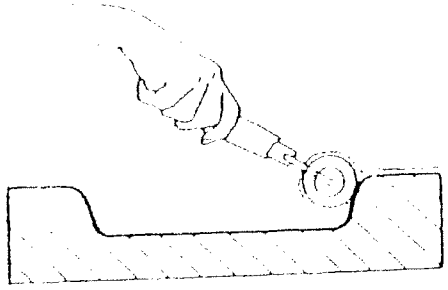
۴) استخراج رزین اضافی.



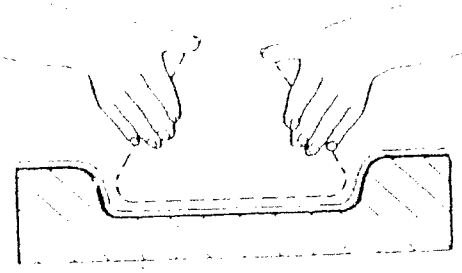
(a) Apply gel-coat with brush or soft roller
Allow to gel



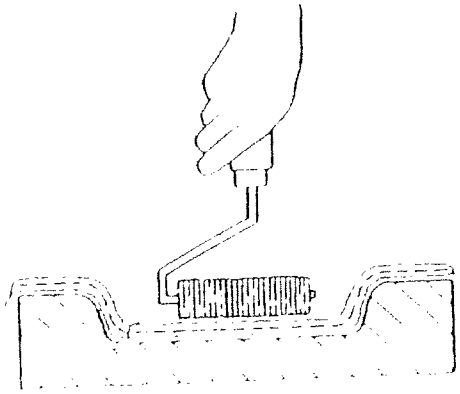
Concept of hand lay up process



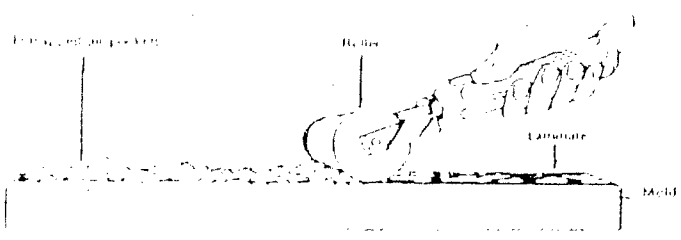
(b) Apply laminating resin with brush or soft roller



(c) Cut and fit reinforcement layer



(d) Consolidate with ribbed roller
Repeat (b), (c) and (d) until required build-up is achieved



آزمایش شماره ۳ (جلسه سوم)

آشنایی با پوشش ژلی (Gel Coat) و اعمال این لایه بر روی سطح قالب

مباحث تئوری: ۱- اصول طراحی کامپوزیتها، ۲- قالبهای کامپوزیتی و عوامل موثر بر انتخاب تکنیکهای ساخت، ۳- تقسیم بندی تکنیکهای ساخت سازه‌های کامپوزیتی، ۴- آشنایی با لایه پوشش ژلی و دلایل اعمال و کاربردهای آن، ۵- عوامل موثر بر کیفیت پوشش ژلی، ۶- آشنایی با تکنیک لایه‌گذاری دستی (Hand Lay-up)، مراحل فرایند و مزایا و معایب آن.

وسایل و مواد مورد نیاز: قلم مو یا اسپری، رزین پلی استر غیراشباع، اروسیل، خمیر رنگ، کاتالیست، شتابدهنده، واکس، پلی وینیل الکل (PVA)، قالب، همزن.

دستور کار عملی :

ابتدا قالب را با استفاده از پارچه تنظیف کاملا پاک کنید تا آلودگی‌های مربوط به سیکل قالبگیری قبلی بر روی سطح آن به جا نماند. پس از آن، نوبت به اعمال مواد جدا کننده از قالب بر روی سطح قالب می‌رسد؛ بدین منظور ابتدا از واکس استفاده نموده و مقدار کمی از آنرا بر روی سطح مالیده و پس از اطمینان از پوشیده شدن کامل سطح توسط لایه نازکی از آن، سطح قالب را به خوبی پولیش کنید. سپس از پلی وینیل الکل استفاده کرده و لایه نازکی از آنرا بر روی سطح قالب مالیده و تا خشک شدن کامل آن و ایجاد یک فیلم بسیار نازک بر روی سطح قالب صبر نمائید.

حال جهت تهیه مخلوط پوشش ژلی روند زیر را دنبال نمایید: سطح مربوط به لایه‌گذاری را اندازه‌گیری کرده و مقدار رزین را بر حسب $۴۵۰\ g/m^2$ توزین کرده و مقادیر زیر را نیز بر اساس مقدار رزین به آن اضافه کنید و به خوبی مخلوط کنید:

- خمیر رنگ به مقدار لازم (می‌توان از پودر جامد سفید رنگ دی‌اکسی‌تیتان، به مقدار ۴ درصد وزنی، نیز استفاده کرد)،
- اروسیل حدود ۲ درصد وزنی (نقش این ماده در ادامه گفته خواهد شد)،
- کاتالیزور بر حسب زمان ژل شدن مورد نیاز و اطلاعات بدست آمده از آزمایشات قبلی،
- شتابدهنده بر حسب زمان ژل شدن مورد نیاز و اطلاعات بدست آمده از آزمایشات قبلی،

پس از اختلاط کامل این مواد با یکدیگر، پوشش ژلی آماده اعمال می‌باشد. برای این منظور با استفاده از قلم مو (یا اسپری) آنرا بر روی سطح قالب اعمال نموده و تا گذشتن از حالت ژل شدن و پخت نهایی آن جهت شروع لایه‌گذاری منتظر بمانید.

اطلاعات تکمیلی مربوط به مواد جدا کننده از قالب و لایه پوشش ژلی :

مواد جدا کننده از قالب (Release Agents) معمولا به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند؛ داخلی (Internal) و خارجی (External). نوع داخلی آن معمولا به مخلوط رزین و سیستم پخت اضافه می‌شود و اغلب در مکانیسم پخت داغ (Hot Curing) استفاده می‌شود ولی نوع خارجی آن که معمولا در مکانیسم پخت خودبخودی استفاده می‌شود به سطح قالب اعمال می‌شود. موادی که به عنوان جداکننده از قالب استفاده می‌شوند نوعی واکس (موسوم به کارنابا واکس) و پلی وینیل الکل می‌باشد. جهت اعمال لایه جداکننده از قالب ابتدا بایستی واکس بر روی سطح قالب اعمال شده و پس از پولیش دادن سطح قالب، لایه نازکی از پلی وینیل الکل اعمال گردد. دقت شود که هدف از اعمال لایه واکس، صیقلی کردن و آماده کردن سطح قالب برای چسبیدن بهتر لایه‌های بعدی و هدف از اعمال پلی وینیل الکل نیز جدا شدن راحتِ قطعه از قالب می‌باشد.

در مورد لایه پوشش ژلی نیز تاکید دوباره بر این نکته اهمیت دارد که نقشهای اصلی این لایه عبارتند از : زیبایی سطح قطعه، محافظت الیاف در برابر شرایط محیطی نامناسب (مانند محیط اسیدی)، پنهان ساختن آرایش الیاف، دادن خواص فیزیکی یا شیمیایی ویژه به سازه کامپوزیتی. سازکار بودن ماده مورد استفاده در فرمولاسیون این لایه با رزین نهایی مورد استفاده در ساخت سازه کامپوزیتی نکته مهم دیگری است که باید به آن توجه داشت.

همانگونه که در قسمت دستور کار آزمایش اخیر هم ذکر شد فرمولاسیون این لایه شامل رزین (حدود ۴۵۰ گرم برای هر متر مربع)، اروسیل (حدود ۲ درصد وزنی)، کاتالیزور، شتابدهنده و خمیر رنگ می‌باشد. در فرمولاسیون فوق، اروسیل به عنوان یک ماده ضد شرّه عمل می‌کند؛ بدین معنی که با افزایش ویسکوزیته کل مخلوط از همان ابتدا، از شرّه کردن و جاری شدن پوشش ژلی از روی سطح قالب جلوگیری می‌کند. برخی مواقع ممکن است با توجه به کاربرد سازه کامپوزیتی و محیط اطراف آن در زمان استفاده، مواد افزودنی دیگری به فرمولاسیون آن نیز اضافه شود؛ این مواد افزودنی شامل عامل ضدالکتریسیته ساکن(Antistatic Agent)، عامل مقاوم کننده در برابر مواد شیمیایی

(Chemical Resistant Agent)، تاخیر اندازنده شعله (Flame Retardant)، عامل مقاوم کننده در برابر اشعه ماوراء بنفش (Anti UV Agent)، عامل کاهش‌دهنده درهم رفتگی (Low Profile Agent) می‌باشد.

به منظور رسیدن به حداقل خطا و حداکثر استحکام و زیبایی، نکات زیر را باید در هنگام اعمال لایه پوشش ژلی و پس از آن حتما رعایت کرد:

۱) ترکیب درصد اجزاء در خواص نهایی سازه بسیار موثر است لذا بایستی به خوبی تنظیم شود.

۲) اختلاط اجزاء نیز بسیار مهم است. عدم وجود کلوخه و ذرات جامد در مخلوط و داشتن یک سیستم همگن با همزدن کامل مخلوط اجزاء میسر است. قابل ذکر است که کلوخه‌های ایجاد شده در ظرف به دلیل شکل کلوخه‌ایِ ذرات اروسیل می‌باشد.

۳) عدم وجود حباب هوا (Void) در مخلوط اجزاء سبب وجود نقص در سازه کامپوزیتی و عدم زیبایی ظاهری قطعه می‌گردد. همچنین استحکام سازه نیز در صورت وجود حباب، کاهش می‌یابد. لذا جهت به حداقل رساندن حباب هوا در مخلوط، باید از میکسر مناسبی استفاده کرد تا ایجاد حباب در مخلوط نکند یا همزدنِ دستی مخلوط بایستی به آرامی صورت پذیرد.

۴) معمولا ضخامت لایه پوشش ژلی نباید از ۰/۸ میلیمتر بیشتر شود. دلیل چنین قضیه‌ای این است که پوشش ژلی تنها به عنوان یک لایه نازک جهت زیبایی بخشیدن به سطح قطعه و پوشاندن آرایش الیاف می‌باشد و در تهیه و اعمال آن از الیاف شیشه جهت استحکام بخشیدن به آن استفاده نشده است، در حالیکه به منظور استحکام بخشیدن به سازه کامپوزیتی از الیاف شیشه استفاده می‌شود، لذا ضخامت بیش از حد مجاز این لایه منجر به کاهش خواص مکانیکی مطلوب می‌گردد. بنابراین در اعمال این لایه بر روی سطح قالب این نکته را مد نظر داشته و مراقب باشید تا ضخامت این لایه از حد مجاز آن بیشتر نشود.

۵) نکته بسیار مهم دیگر، هم‌پوشانی مناسب لایه پوشش ژلی می‌باشد؛ هم‌پوشانی مناسب در واقع به معنی ایجاد یک لایه یکنواخت با ضخامت مشخص در کل سطح قالب می‌باشد. عدم هم‌پوشانی مناسب در مورد این لایه، موجب ایجاد لکه‌هایی در سطح کامپوزیت شده که زیبایی ظاهری قطعه تولیدی را از بین می‌برد. در حقیقت این مورد به تجربه اپراتور بستگی دارد.

آزمایش شماره ۴ (جلسه چهارم)

لایه‌گذاری دستی – بخش اول: نشاندن لایه اول

مباحث تئوری: ۱- آشنایی تکمیلی با تکنیک لایه گذاری دستی، ۲- روش محاسبه میزان رزین در سطح صنعتی و آزمایشگاهی، ۳- ایجاد سیستم پخت مناسب و زمان ژل شدن کافی جهت عملیات قالبگیری به منظور برآورده ساختن نیازهای صنعتی (دقت کار) و نیز سرعت بخشیدن به کار جهت مقرون به صرفه بودن و اقتصادی بودن (سرعت در کار)، ۴- طرز نشاندن لایه اول به صورت دو نیم‌لایه، ۵- هواگیری مناسب لایه اول.

وسایل و مواد مورد نیاز: رزین پلی استر غیراشباع، کاتالیزور، شتابدهنده، همزن، الیاف شیشه، قلم مو، قالب، غلطک.

دستور کار عملی :

ابتدا یک لایه الیاف شیشه که به صورت رشته‌های خردشده نمدی (Chopped Strand Mat) (CSM) است را به اندازه مناسب قالب برش داده و آنرا به دو نیم‌لایه تقسیم کرده و آنرا وزن کنید.

سپس رزین مورد نیاز را برای آغشته سازیِ دو نیم لایه محاسبه کرده توزین نمایید. توزین رزین بر اساس مقدار ۲۵ درصد وزنی الیاف انجام گیرد. رزین را با توجه به زمان مورد نیاز جهت آغشته سازی، غلطک کاری و هواگیری با یک سیستم پخت مناسب فرموله کرده و زمان ژل شدن را به دست آورید. در نهایت پس از آماده ساختن رزین، نیم لایه اول را بر روی سطح نشانده و رزین را اعمال نمایید. دقت کنید چنانچه از قلم‌مو استفاده می‌کنید، عمل آغشته سازی الیاف به رزین باید با حرکت عمودی قلم‌مو به سطح الیاف صورت گیرد. پس از آغشته کردن کامل نیم لایه اول و استخراج رزین اضافی به کمک غلطک هواگیری، نیم لایه دوم را بر روی نیم لایه اول نشانده و عمل آغشته سازی را دوباره انجام دهید. از چسبندگی کامل نیم لایه اول و نیم لایه دوم به سطح پوشش ژلی و خروج حباب هوا از منطقه مشترک پوشش ژلی و لایه اول به خوبی اطمینان پیدا کنید.

در انتهای این جلسه، لایه اول قطعه کامپوزیتی مورد نظر به صورت دو نیم لایه نشانده شده است. قطعه کامپوزیتی جهت نشاندن لایه‌های بعدی آماده می‌باشد.

آزمایش شماره ۵ (جلسه پنجم)

لایه‌گذاری دستی – بخش دوم: نشاندن لایه‌های دوم و سوم

مباحث تئوری: ۱- آشنایی تکمیلی با تکنیک لایه گذاری دستی، ۲- طرز نشاندن لایه‌های دوم و سوم، ۳- هواگیری لایه‌های دوم و سوم.

وسایل و مواد مورد نیاز: رزین پلی استر غیراشباع، کاتالیزور، شتابدهنده، همزن، الیاف شیشه، قلم مو، قالب، غلطک.

دستور کار عملی :

ابتدا با توجه به تعداد لایه‌های مورد نظر جهت ساخت قطعه کامپوزیتی، الیاف را به اندازه قالب برش زده و وزن کنید. سپس به مانند آزمایش قبل، بر اساس نسبت ۲۵ درصد وزنی الیاف، مقدار رزین را برداشته و بر حسب زمان ژل شدن مقتضی، سیستم پخت را فرموله کنید. سپس طبق برنامه ریزی و طراحی انجام شده، لایه گذاری را به صورت لایه لایه انجام داده و پس از هر مرحله لایه گذاری، عملیات آغشته سازی و هواگیری را جهت تحکیم بین لایه‌ها انجام دهید.

پس از اینکه عملیات لایه گذاری قطعه کامپوزیتی به اتمام رسید، قطعه جهت اصلاح و جداسازی از قالب آماده است که البته بایستی اجازه دهیم تا قطعه کاملا خشک شود تا پس از آن عملیات برش و جداکردن از قالب را انجام دهیم.

۲۹

آزمایش شماره ۶ (جلسه ششم)

اصلاح و برش قطعه (Trimming) و جداسازی از قالب

مباحث تئوری: ۱- هدف از عملیات اصلاح قطعات تولیدی و روش‌های اجرا و ابزار آن، ۲- انجام عملیات برش زائدات و پرداخت لبه‌های قطعه با ابزار برقی، ۳- خارج کردن قطعه از قالب و بررسی اشکالات و نقص‌های احتمالی لایه پوشش ژلی و لایه گذاری.

وسایل و مواد مورد نیاز: مینی فرز برقی، اره عمود بر، ماسک.

دستور کار عملی :

با رعایت نکات ایمنی ارائه شده توسط مسئول کارگاه، ابتدا زائده‌های خارج شده از قالب را توسط فرز یا عمودبر برش زنید. سپس با تعویض دیسک فرز به دیسک ساب، عملیات پرداخت لبه‌ها و گوشه‌ها را انجام دهید. پس از اتمام عملیات برش و پرداخت، قطعه را از قالب خارج کنید.