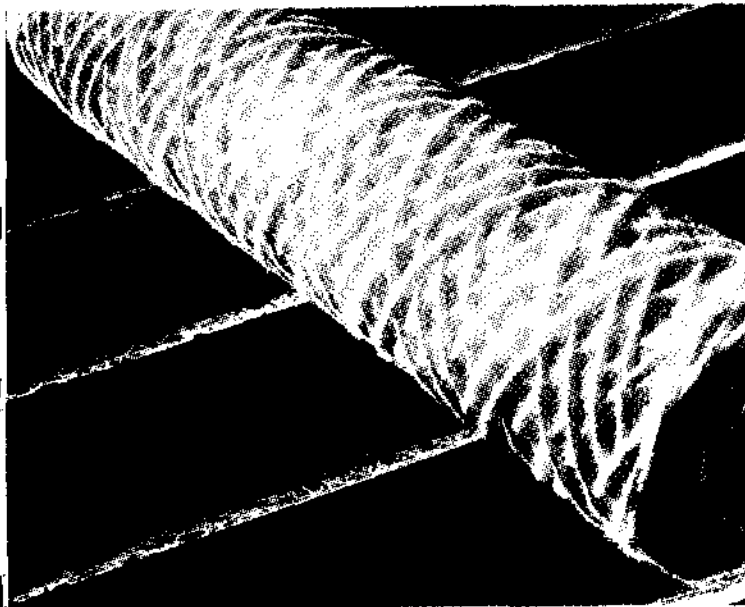


کامپوزیتها (۴)

Composites (4)
تألیف: مهندس محمود محرابزاده
مهندس ماسیس اکبریان



کامپوزیتها با ماتریس پلی مری

کامپوزیتها با ماتریس پلی مری (PMC) نه تنها به عنوان موضوع جالب آزمایشگاهی یا ماده ای برای ساخت محصولاتی ارزان مانند میز و صندلی، بلکه به عنوان موادی با ساختار مهندسی، مورد توجه قرار گرفته اند. این امر نه تنها به دلیل وجود الیاف با کیفیت بالا مانند کربن، یور، کولار (kevlar) است، بلکه به علت استفاده از بعضی ماتریسهای جدید بهبود یافته است. که در بخش مواد ماتریسی قبلاً از نظر خوانندگان گذشته است. ولی به طور کلی کامپوزیتها تقویت شده با الیاف شیشه

واژه های کلیدی:

کامپوزیتهای پلی مری، سطح مشترک کامپوزیتها، کامپوزیتهای فلزی، کامپوزیتهای سرامیکی

کامپوزیتها با ماتریس پلی مری، مواد پلی مری حاوی تقویت کننده های پودری و لیفی هستند که از استحکام بسیار بالایی برخوردارند و کاربرد آنها در عصر حاضر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر کامپوزیتها با ماتریس پلی مری کامپوزیتها با ماتریس سرامیکی و فلزی نیز اخیراً کاربرد فراوان پیدا کرده اند. در این مقاله که آخرین بخش از بحث ما در باره کامپوزیتها است، ابتدا سیستم کامپوزیتهای پلی مری تقویت شده با الیاف مختلف، روشهای ساخت و شکل دهی و ساختار آنها به طور مفصل مورد بررسی قرار می گیرد. سپس سطح مشترک کامپوزیتها و سطح مشترک در کامپوزیتها پلی مری به طور کلی بحث می شوند. در پایان سایر کامپوزیتها از جمله کامپوزیتهای سرامیکی و فلزی به اختصار مورد ارزیابی قرار می گیرند.

امید است که این مجموعه که در چهار شماره ارائه شده است اطلاعات مختصر و مفیدی در باره کامپوزیتها در اختیار خوانندگان عزیز گذاشته باشد.

Key Words:

Polymeric Composites, Interface in Composites, Metallic Composites, Ceramic Composites

بزرگترین گروه را در بین کامپوزیت‌های با ماتریس پلی‌مری به خود اختصاص داده‌اند. در این قسمت سیستم کامپوزیت‌های پلی‌مری تقویت شده با الیاف مختلف، روشهای ساخت و ساختار آنها بیان خواهد شد.

روشهای شکل دادن و ساخت کامپوزیت‌های با ماتریس پلی‌مری روشهای مختلفی برای ساخت کامپوزیت‌های با ماتریس پلی‌مری که با الیاف مختلف مثلاً الیاف شیشه تقویت شده‌اند وجود دارد که به شرح آنها می‌پردازیم.

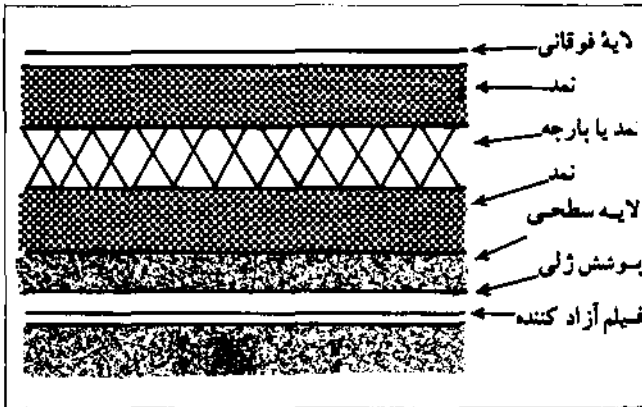
روش لایه‌گذاری دستی

ساخت کامپوزیت‌های پلی‌مری با روش لایه‌گذاری دستی ساده‌ترین روش تهیه پلیاستیکهای تقویت شده است. در این روش ابتدا یک لایه از نمد یا پارچه بافته شده شیشه‌ای را بادیست روی یک قالب یا شکلی قرار می‌دهند و سپس رزین را روی آن می‌افشانند (Spray) یا با برس می‌مالند. این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا کامپوزیت به ضخامت مورد نظر برسد. هوای حبس شده در رزین با فشردن آن به وسیله غلطک دستی خارج می‌گردد. سپس به رزین محتوی کاتالیزور فرصت کافی داده می‌شود تا در دمای اتاق پخت شود. رزینهای پلی‌استر و اپوکسی مستداولترین رزینهایی هستند که در روش لایه‌گذاری دستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اغلب، پرکننده‌های آلی یا معدنی مانند خاک اره، خاک رس، پودر سنگ، رنگ و مواد دیگر، به منظور کاهش اشتعال‌پذیری، کنترل وزن، و موارد تزئینی به رزین افزوده می‌شود. در این روش مقدار تقویت کننده حداکثر حدود ۳۰ درصد وزنی خواهد بود.

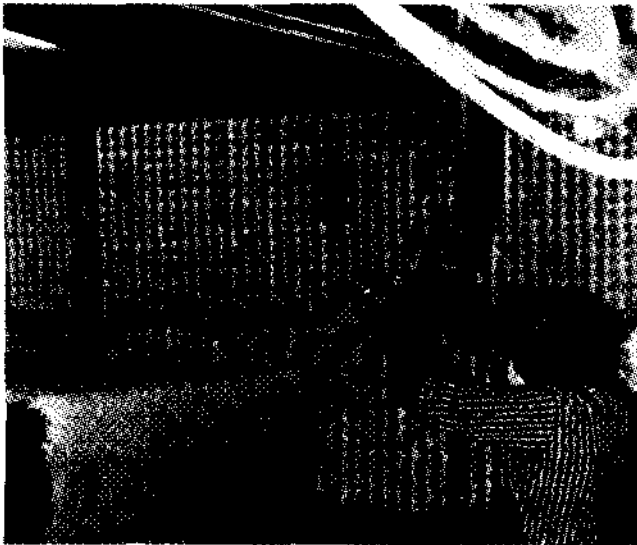
قالبهای مورد استفاده در روش لایه‌گذاری دستی از مواد مختلفی مانند فوم، خاک رس، چوب، فلز، کاغذ و ورقه‌های پلاستیکی تهیه می‌شوند. از جداکننده‌های قالب مانند پسی وینیل الکل، سیلیکون و روغنهای معمولی، اغلب برای راحت‌تر جدا شدن محصول نهایی از قالب استفاده می‌شود. هزینه وسایل تهیه شده با روش لایه‌گذاری دستی نسبتاً پایین است. این روش همچنین در تهیه مدل یا نخستین نمونه‌هایی که فقط تولید محدود آنها لازم است، به کار برده می‌شود. این روش برای ساخت محصولات پیچیده که تهیه آنها با روشهای دیگر عملاً امکان‌پذیر نباشد و به علاوه برای ساخت قطعات بسیار بزرگ مانند قایق و پوشش آنتن رادار هواپیما به کار برده می‌شود. شکل ۱ لایه‌های تشکیل دهنده یک محصول که با فرایند لایه‌گذاری دستی تولید شده است را نشان می‌دهد.

روش افشاندن

در این روش ابتدا الیاف از میان یک خردکن عبور می‌کند و در اندازه‌های طولی مورد نظر بریده می‌شود. سپس مخلوطی از الیاف، رزین و کاتالیزور روی قالب افشانده می‌شود. برای صاف کردن سطح و حذف حبابهای هوای محبوس، از یک غلطک استفاده می‌گردد. در شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب چگونگی افشاندن رزین، کاتالیزور و الیاف روی قالب و غلطک‌کاری نشان داده شده است.



شکل ۱ - نوعی لایه‌گذاری دستی

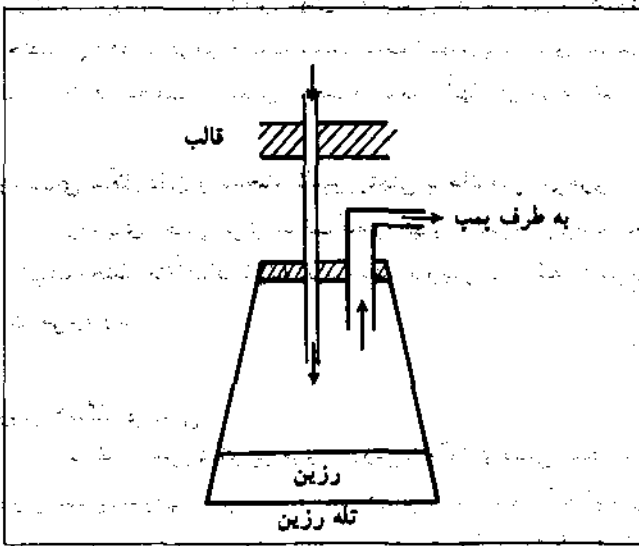


شکل ۲: افشاندن رزین و الیاف روی قالب



شکل ۳. غلطک‌کاری

از قالب گیری کیسه‌ای برای بهبود کیفیت محصولات تهیه شده با روش لایه گذاری دستی از طریق حذف بیشتر هوای محبوس شده استفاده می‌شود. سه روش اصلی قالب گیری کیسه‌ای عبارت‌اند از: الف: قالب گیری کیسه‌ای در خلأ (Vacuum Bag-Moulding) ب- قالب گیری اتوکلاو (Autoclave Moulding) ج- قالب گیری کیسه‌ای با فشار (Pressure Bag-Moulding).



شکل ۵- تله رزین

برای جلوگیری از کاهش خلأ و ورود هوا به داخل لایه‌های کیسه باید کاملاً مسدود شوند. پس از مسدود کردن لایه‌های کیسه، خلأ اعمال می‌شود. به کار بردن یک تله رزین در خط خلأ همچنان که در شکل ۵ نشان داده شده ضروری است. این تله همان نقشی را ایفا می‌کند که یک جداکننده روغن در یک خط هوا بازی می‌کند. همچنان که رزین در حین قالب گیری نرم و جریان می‌یابد، وارد خط خلأ می‌شود. در صورتی که این رزین توسط تله حذف نگردد، خلأ را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن خطوط را مسدود و خراب می‌کند، و در صورتی که وارد پمپ شود، پمپ را معیوب می‌سازد.

در این روش، در صورتی که از تقویت کننده ساخته شده آغشته به رزین (Prepreg) استفاده شود، باید به منظور پخت، تمام دستگاه سوار شده در آن قرار گیرد. در صورتی که رزین جهت پخت به دیسک بیشتر از 150°C نیاز داشته باشد، همه ورقه‌های جداکننده باید از پلی‌استر یا تفلون ساخته شوند. برنامه پخت نوعی عبارت است از: افزایش دما تا 120°C در ۳ دقیقه، افزایش دما تا 150°C در ۱۵ دقیقه، و افزایش دما تا 175°C در ۲۰ دقیقه. پس از تکمیل پخت، قبل از اینکه خلأ برداشته شود، دما باید تا حدود 65°C کاهش پیدا کند.

مزایای فرایند قالب گیری کیسه‌ای در خلأ به قرار زیر است

الف: قالبها نسبتاً ارزان هستند

ب: فرایند سریعتر از روش لایه گذاری دستی صورت می‌گیرد.

ج: از تقویت کننده آغشته به رزین (Prepreg) می‌توان استفاده کرد.

د: محصول این فرایند در مقایسه با فرایند لایه گذاری دستی، رزین

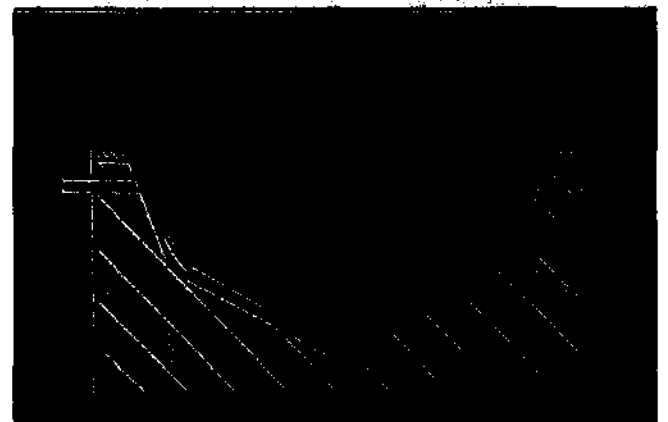
کمتری دارد، و در نتیجه خواص آن بهتر است.

ه: این فرایند نیاز به کارگر بسیار ماهر و متخصص ندارد.

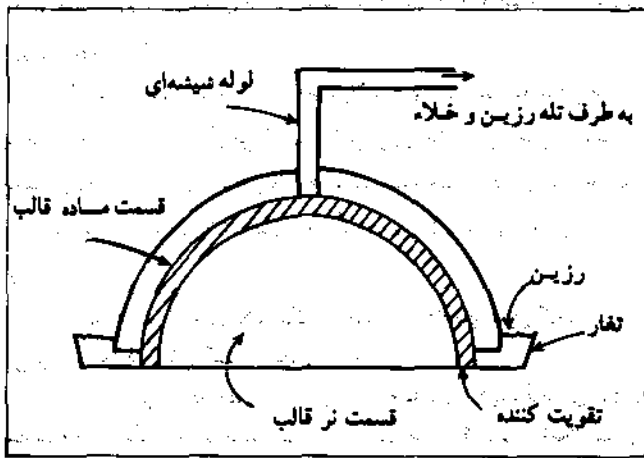
معایب این فرایند عبارت‌اند از:

الف - قالب گیری کیسه‌ای در خلأ: یکی از متداولترین روشهای ساخت قطعات اولیه یا Prototype در تعداد محدود است. شکل ۴ فرایند قالب گیری را نشان می‌دهد. روی سطح قالب، یک ورقه جداکننده مانند پلی وینیل الکل (PVA) قرار داده می‌شود. در دو انتهای قالب bleeder سوار می‌شوند. این bleeder از کف، چیت، یا نمد ساخته می‌شوند و فضای را فراهم می‌آورند که هوای داخل قالب را می‌توان از طریق آن تخلیه کرد. تقویت کننده آغشته به رزین گاهی با یک فیلم جداکننده سوراخ دار مانند PVA، تفلون یا پلی‌استر پوشانده می‌شود. در شیوه‌های دیگر بسته به اندازه و شکل قطعه، کیسه می‌تواند مستقیماً لایه گذاری شود. در خاتمه در کیسه خلأ ایجاد می‌شود و در محل خود گیره می‌شود.

کیسه‌های خلأ را می‌توان از مواد بسیار گوناگونی ساخت. سلوفان (Cellophane) ارزان در به سادگی قابل نصب است. محدودیتهای عمده سلوفان مقاومت کم در برابر پارگی و دیسک است. PVA را می‌توان تا حدود 70°C به کار برد و نسبت به سلوفان سخت تر و مقاوم تر در برابر پارگی بیشتری دارد. ولی PVA نسبت به رطوبت بسیار حساس و محلول در آب است. پلی اتیلن فقط در دمای اتاق مورد استفاده قرار می‌گیرد. کیسه‌های پلی وینیل کلراید (P.V.C) نادمای 70°C مفید هستند. در مواردی که دماهای بالا و بخار - اتوکلاو برای پخت لازم باشد، کیسه باید از لاستیک نیوپرن یا برخی الاستومرهای مشابه ساخته شود. نیوپرن و برخی لاستیکهای دیگر پخت رزینهای پلی استر را متوقف می‌کنند و در صورتی که پخت پلی استرها ضروری باشد، باید فیلمی از پلی استر بین لایه‌ها و کیسه قرار داد.



شکل ۴ - قالب گیری کیسه‌ای در خلأ



شکل ۷ - فرایند قالب‌گیری تزریقی در خلاء

می‌تواند یک کیسه باشد. سطوح قالب باید بسیار صاف و صیقلی باشند و به طور کامل با جداکننده پوشش داده شوند. تقویت کننده خشک (نمد یا پارچه) به مقدار لازم روی قسمت مادگی قالب قرار داده می‌شود تا ضخامت مورد نظر بدست آید. قسمت مادگی به دقت پائین آورده می‌شود تا روی قسمت تر قالب قرار گیرد (حین این عمل تقویت کننده نباید جا به جا شود). رزین (اپوکسی یا پلی‌استر) به همراه کاتالیزور که در دمائی اتاق پخت می‌شود، در تقار اطراف ته مادگی قالب، ریخته می‌شود و سپس خلاء اعمال می‌گردد. همچنان که هوا از داخل قالب به وسیله پمپ بیرون کشیده می‌شود، رزین از میان تقویت کننده‌ها بالا رفته و آنها را آغشته می‌کند. هنگامی که مقداری رزین عاری از حباب در لوله شیشه‌ای (که باید در بالاترین نقطه قالب باشد) دیده شد، خط خلاء بسته می‌شود. پس از پخت، قطعه‌ای که معمولاً به قسمت تر قالب چسبیده است، با دمیدن هوای فشرده بین قالب و آن قطعه جدا می‌شود. مزایای فرایند قالب‌گیری تزریقی در خلاء به قرار زیراند:

- الف: هر دو سطح محصول صاف و صیقلی‌اند.
- ب: عملیات بعدی مورد نیاز محدود است.
- ج: فرایند عاری از ضایعات است.
- معایب این فرایند عبارت‌اند از:
- الف: قطعات ساخته شده، رزین زیادی دارند.
- ب: ساخت دو قالب هزینه بیشتری دارد.
- ج: در محصول نقاط خشک (نقاط بدون رزین) ممکن است به وجود آیند که تا پایان کار آشکار نخواهند شد.
- د: تشخیص و کاربرد نادرست جدا کننده قالب ممکن است سبب چسبندگی شود.

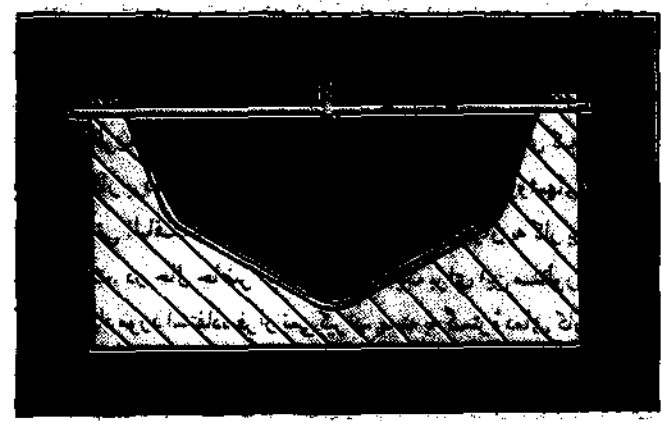
قالب‌گیری فشاری سرد

این روش از جنبه‌های مختلف شبیه قالب‌گیری تزریقی در خلاء است و به طور گسترده عمومیت یافته است. قالب‌گیری سرد روشی است که برای ساخت محصولات با حجم متوسطی مورد استفاده قرار می‌گیرد

الف: فقط سطح مجاور سطح قالب صاف است. سطح دیگر آن ممکن است تیره و دارای چین و نشانه‌هایی از کیسه باشد.
 ب: قطعه حاصل هنوز حاوی رزین بیشتری نسبت به قطعه‌ای است که با روش فشار بالا ساخته می‌شود بنابراین خواص آن بهینه نشده است.
 ج: ساخت قطعه‌هایی با اشکال معین و دارای سطوح پیچیده یا گوشه‌های تیز با این فرایند مشکل است.
 د: وجود نقاط خشک و مکانهای خالی در محصول متداول است.

ب: قالب‌گیری کیسه‌ای با فشار

در فرایند قالب‌گیری کیسه‌ای در خلاء در صورتی که فشار زیادی اعمال شود، فرایند به عنوان قالب‌گیری کیسه‌ای در خلاء شناخته می‌شود. همچنان که در شکل ۶ نشان داده شده است در این روش یک صفحه فشار روی قالب قرار می‌دهند



شکل ۶: قالب‌گیری فشاری در خلاء

قالب‌گیری همانند روش قبل است ولی در این روش می‌توان فشاری تا حدود ۵۰ Psi در قالب اعمال کرد. باید دقت کرد و اطمینان داشت که قالب تحمل چنین فشاری را داراست. پرتزی فرایند قالب‌گیری کیسه‌ای با فشار، در به هم پیوستن غوق المعاده لایه‌ها و کاهش مقدار رزین است که موجب تقویت خواص محصول می‌شود.

ج - قالب‌گیری اتوکلاو

قالب‌گیری اتوکلاو همانند روش قبل است با این تفاوت که صفحه فشار حذف شده، قالب و لایه‌ها همگی در اتوکلاو قرار داده می‌شوند. بخار یا هوای داغ تحت فشار تا ۱۰۰ Psi وارد کیسه می‌شود. در صورت استفاده از بخار پوشش کیسه نباید سوراخ یا نشتی داشته باشد زیرا بخار وارد لایه خواهد شد. مزایای عمده این روش تولید سریعتر و تقویت خواص محصول است.

قالب‌گیری تزریقی در خلاء

این روش برای ساخت نمونه‌ها بسیار مفید است زیرا بسیار ساده و کم‌هزینه است. شکل ۷ این فرایند را نشان می‌دهد. در این فرایند اجزاء تر و ماده قالب مورد نیازند، و مادگی قالب

که در فشار کم و با رزینهای پخت شونده در دمای اتاق و توسط قالبهای ارزان، تهیه می‌شوند.

الیاف شیشه تقویت کننده (معمولاً به صورت نمد) به شکل قالب بریده شده و در قالب قرار می‌گیرند. رزین (پلی استر یا اپوکسی) با سیستم پخت در دمای اتاق، در قالب ریخته و قالب بسته می‌شود، در این حالت رزین در داخل تقویت کننده توزیع می‌گردد. مزایای این فرایند عبارت‌اند از:

الف: هزینه قالبهای پلاستیکی در مقایسه با قالبهای فلزی کمتر است و می‌توان با صرف وقت کمتری آنها را ساخت.

ب: این فرایند در مقایسه با فرایندهای افشاندن و لایه گذاری دستی، ساخت قطعات یکنواخت‌تر با سرعت بیشتر و نظارت کمتر را امکان‌پذیر می‌سازد.

ج: در روش قالب‌گیری سرد نسبت به روشهای افشاندن و لایه گذاری دستی، امکان کنترل ابعاد قطعه‌های ساخته شده بیشتر است. این مشخصات امکان استفاده از روشهای مونتاژ مکانیزه تری را فراهم می‌آورد که موجب کاهش هزینه تولید می‌شود.

د: از نظر کیفیت قطعه‌های ساخته شده، فرایند قالب‌گیری سرد با فرایند قالب‌گیری *matched metal die* قابل مقایسه است. محصولات هر دو روش ظاهری مشابه و خواص فیزیکی نزدیک به هم دارند و هزینه ساخت برای تهیه قطعه‌هایی با حجم متوسط. توسط این روش نسبت به فرایند *matched metal die* کمتر است.

ه: قطعه‌های ساخته شده با فرایند قالب‌گیری سرد در مقایسه با فرایندهای افشاندن یا لایه گذاری دستی، مدول خمشی بالاتری دارد. در این روش برای حصول اطمینان از کیفیت محصولات، نظارت کمتری مورد نیاز است. معایب این فرایند عبارت‌اند از:

الف: هزینه متوسط تهیه قالبها.

ب: آسیب پذیری قالبها.

ج: وجود ضایعات ناشی از قطعه‌های ناقص.

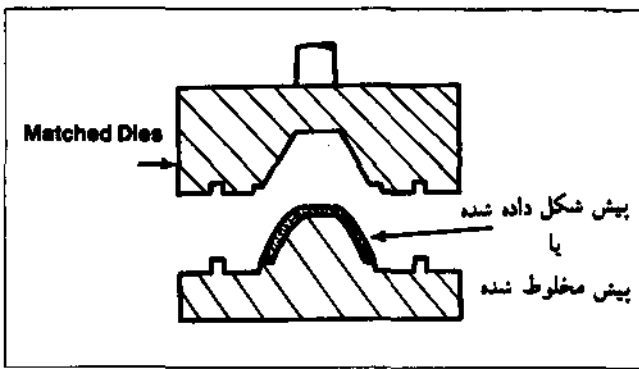
قالب‌گیری *matched metal die*

این روش برای ساخت نمونه‌های تقویت شده معمولاً توصیه نمی‌شود. ولی از نظر سرعت قالب‌گیری و کیفیت قطعه به دست آمده روش بسیار خوبی است. هزینه قطعه قالب‌گیری شده، مستقیماً بستگی به تعداد قطعه‌های مورد نظر دارد، زیرا هزینه گران قالبها باید مستهلک شود. قالبها معمولاً از آلیاژ فولاد با کیفیت بالا ساخته می‌شوند ولی برای موارد ویژه گاهی از آلومینیوم و چدن نیز استفاده می‌گردد. قالبها معمولاً طسوری طراحی می‌شوند که قطعات به طور خودکار آراسته می‌گردند و در نتیجه هزینه پرداخت نهایی حذف می‌شود. شکل ۸ یک *matched metal die* را در حال کار کردن نشان می‌دهد.

در جدول ۱ روشهای پیش گفته با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

روش رشته پیچی

در روش رشته پیچی، الیاف پیوسته مورد استفاده قرار می‌گیرند. این الیاف روی یک مندرل (*mandrel*) در جهتی که قبلاً تعیین شده است



شکل ۸ - قالب‌گیری *matched metal die*

پیچیده می‌شوند (مندرل نقش یک قالب را دارد). بدین ترتیب قرار دادن تقویت کننده‌ها در یک ردیف و در جهت تنش بالا، امکان پذیر می‌گردد که در نتیجه آن قدرت الیاف به نحو مؤثری می‌تواند به کار گرفته شود. مصرف محصولات رشته پیچی، در صنعت هوا - فضا برای ساخت پوشش موتور موشک و رادار و در کالاهای تجاری مانند مخازن ذخیره، لوله‌ها و ظروف تحت فشار است. مهمترین تقویت کننده‌ای که در رشته پیچی به کار برده می‌شود الیاف شیشه است. در بین تمام روشهای ساخت، درصد وزنی الیاف شیشه‌ای را که در رشته پیچی می‌توان به کار برد از همه بیشتر است. در حال حاضر الیاف بوروگرافیت برای این منظور به علت گرانی، زیاد مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. بسته به گستره دمای کاربردی از رزینهای چون پلی استرها، اپوکسی‌ها، سیلیکونها و فنولها در رشته پیچی استفاده می‌شود. در رشته پیچی اغلب دو نوع روش ساخت به کار گرفته می‌شود که عبارت‌اند از رشته پیچی تر و رشته پیچی خشک. در رشته پیچی تر، الیاف درست قبل از پیچیدن با رزین کاتالیزور دار آغشته می‌شوند ولی در روش رشته پیچی خشک، الیاف پیش آغشته می‌گردند. معمولاً رشته‌ها با دسته رشته‌های الیاف شیشه به هم پیوسته و روی مندرل یا دو طرح مختلف پیچیده می‌شوند.

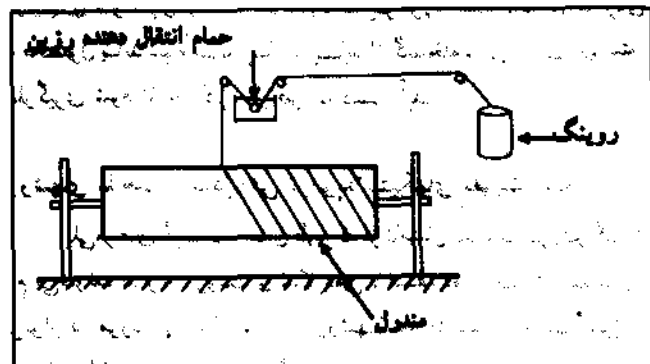
در پیچیدن صفحه‌ای، مندرل ساکن است. وقتی بازوی تغذیه الیاف در حدود یک محور طولی در یک حرکت انتقالی بچرخد، یک لایه از الیاف روی مندرل پیچیده می‌شود. الیاف در هر لایه مجاور هم قرار می‌گیرند و از روی یکدیگر عبور نمی‌کنند. دومین نوع پیچیدن، پیچیدن حلزونی است که برخلاف پیچیدن صفحه‌ای، در اینجا مندرل می‌چرخد به طوری که ماکوهای جلو و عقب رونده آنرا تغذیه می‌کنند، و در نتیجه رشته‌ها به صورت حلزونی پیچیده می‌شوند. پیچیدن حلزونی از تقاطع رشته‌ها روی مندرل مشخص می‌شود. محصول با به کار بردن فشار و گرما یا بدون آن پخت می‌شود. در مورد محصولاتی که انتهای آن باز است مانند لوله‌های استوانه‌ای به سادگی می‌توان مندرل را با اعمال نیرو خارج کرد، ولی در مورد ظروف تحت فشار بسته، مندرلها را نمی‌توان سالم خارج کرد. در این حالتها، مندرل را معمولاً از نمکهای محلول در آب یا فلزات با نقطه ذوب پایین می‌سازند که در این صورت با حل کردن یا ذوب می‌توان آنها را خارج کرد.

خاسته	لایه‌گذاری دستی	افشانند	قالب‌گیری کپسهای در حلال	قالب‌گیری کپسهای فنشاری	قالب‌گیری اتوکلاو	قالب‌گیری تزریقی در حلال	matched metal die	قالب‌گیری فنشاری سرد
هزینه قالب	کم	کم	متوسط	متوسط	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	متوسط
هزینه وسایل	کم	متوسط	کم	کم	زیاد	کم	بسیار زیاد	کم
سرعت تولید	کم	زیاد	کم	کم	کم	متوسط	بسیار زیاد	متوسط
خواص فیزیکی	بسیار کم	متوسط	کم	کم	متوسط	کم	بسیار زیاد	متوسط
کیفیت قطعه ساخته شده	بسیار بد	متوسط	بد	متوسط	متوسط	متوسط	خوب	خوب
ظاهر سطح محصول	بد	خوب	بد (یک طرف)	بد (یک طرف)	بد (یک طرف)	خوب	عالی	خوب
محتوای رزین	زیاد	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط	بسیار زیاد	کم	متوسط
نیاز به پرداخت	زیاد	کم	زیاد	زیاد	زیاد	کم	بسیار کم	کم
نیاز به کارگر ماهر	کم	زیاد	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	کم	متوسط

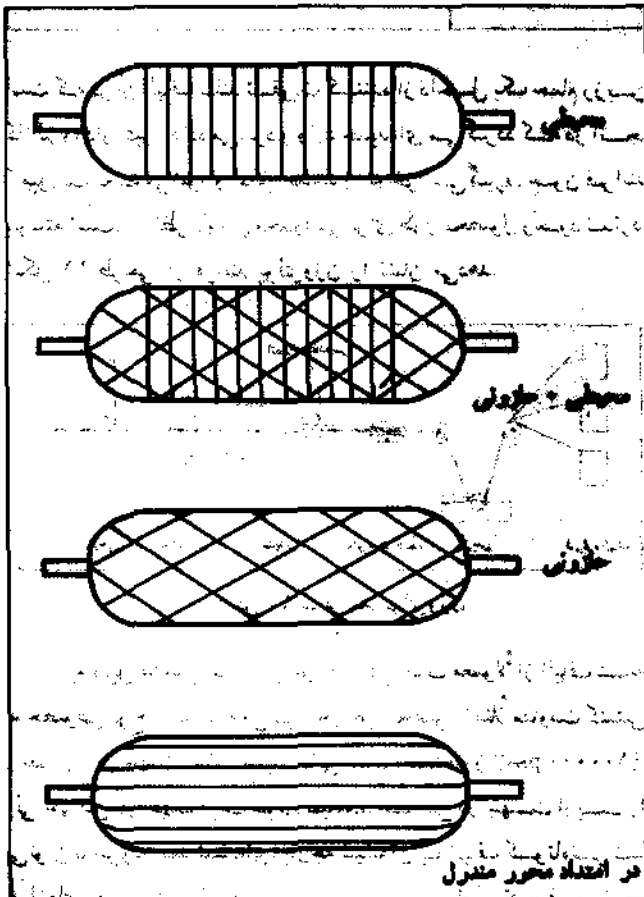
کشش اعمال شده بر رشته‌ها را می‌توان در حین پیچیدن کنترل کرد. این کشش می‌تواند روی مقدار حباب هوا و فضای خالی و مقدار رزین و بنابراین ضخامت لایه تأثیر بگذارد. در لایه‌های کامپوزیت حاصل از روش رشته پیچی معمولاً رشته‌ها به طرق زیر جهت یابی پیدا می‌کنند:

- (۱) یک angle-ply شامل دو تک لایه جهت یافته در $8^\circ \pm 2^\circ$ (۲) یک cross-ply شامل دو تک لایه با زاویه 90° درجه نسبت به یکدیگر و (۳) یک angle-ply و یک تک لایه با زاویه 90° درجه، مثلاً در ظروف تحت فشار بسته، جهت‌یابی الیاف مورد نیاز را می‌توان از تنش محیطی طولی و تنش ظرف به دست آورد.

در جدول ۲ خواص نوعی قطعه‌هایی که از الیاف شیشه و رزین اپوکسی به روش رشته پیچی تهیه شده‌اند آمده است و شکل ۹ این فرایند را نشان می‌دهد. روشهای مختلف پیچشی الیاف بر روی مندرول در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند.



شکل ۹ - روش رشته پیچی



شکل ۱۰ - روشهای مختلف پیچشی الیاف روی مندرول

بولتروژن

بولتروژن روشی پیوسته برای ساخت پلاستیکهای تقویت شده

جدول ۲ - خواص نوعی محصولات تهیه شده از الیاف شیشه و رزین اپوکسی به روش رشته پیچی

مقدار	خواص
۲/۰	جرم مخصوص (g/cc)
۲/۲	هدایت گرمایی $(F)(Ft^2/in)$
۷/۰	انبساط گرمایی (در $F \times 10^{-6}$)
۰/۲۲۷	گرمای ویژه (Btu/(Lb F))
۴۰۰ >	حداکثر دمای کاربرد (F)
	کشش محیطی (10^{-3} Psi)
۲۳۰	پیچش محوری
۱۳۵	پیچش حلزونی
۷۰	مقاومت فشاری (10^{-3} Psi)
	مقاومت برشی (10^{-3} Psi)
۶	بین لایه‌ای
۱۸	درون لایه‌ای
۶/۰	مدول کشسانی (10^6 Psi)
۲	مدول خمشی (10^6 Psi)
۴۰۰	مقاومت دی الکتریک (volts/mil)

رزینهای اپوکسی، پلی استر، اکریلی، وینیل استر و سیلیکونها همگی در فرایند پولتروژن به کار برده می‌شوند، ولی پلی استرها باداشتن هزینه مناسب و خواص مطلوب ۹۰ درصد مصرف را به خود اختصاص داده‌اند. معمولاً سیستمهای مایع با ویسکوزیته کم (حدود ۲۰۰۰ cp) مورد استفاده قرار می‌گیرند تا دسته‌های الیاف به سرعت اشباع شوند. سرعت پخت رزین در حدیده گرم باید به دقت کنترل شود. پخت بیشتر این رزینها گرم‌از است. پخت بسیار سریع منجر به فضاهای خالی و ترک می‌شود، در صورتی که پخت بسیار آهسته نیز محصولی با مقاومت برشی فشاری ضعیف، تولید می‌کند.

حدیده‌های مورد استفاده در پولتروژن معمولاً ساده و ارزان‌اند. اغلب حدیده‌های فولادی تا طول ۲ متر و با سرعت تولید ۱/۵ متر در دقیقه به مورد استفاده قرار می‌گیرند. حدیده‌ها به طور الکتریکی یا با امواج رادیویی یا فرکانس بالا گرم می‌شوند. وقتی از گرم کننده‌های امواج رادیویی استفاده می‌شود، حدیده از جنس تفلون است.

جدول ۳ - خواص نوعی محصولات پولتروژن شده (۶۰ درصد وزن الیاف شیشه و ۴۰ درصد پلی استر)

مقدار	خواص
۱۰۰۰۰۰ psi	مقاومت خمشی
۱۲۰۰۰۰ psi	مقاومت کششی
۴۰۰۰۰ psi	مقاومت فشاری
۴۰ ft-lb/in-notch	مقاومت در برابر ضربه
	مقاومت الکتریکی
۴۵۰ v/mil	عمود بر الیاف
۶۰ kv/mil	در امتداد الیاف
۰/۱٪	جذب آب

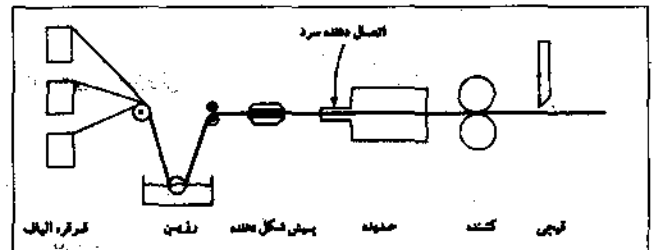
مزایا و معایب محصولات پولتروژن شده در جدول ۴ نشان داده شده‌اند. میله‌های ماهیگیری، نردبانها، تیرهای I شکل، دسته ابزار و پروفیل‌های گوناگون از جمله محصولات پولتروژن شده‌اند. در مواردی که محصول باید تنبیه کابل باشد، باید از گسیخته شدن الیاف پیوسته جلوگیری شود تا حداکثر خواص به دست آید.

روشهای ساخت و شکل‌دهی ترموپلاستیکهای تقویت شده

پلی‌مرهای گرما نرم همان طور که از نامشان پیداست در اثر گرما نرم می‌شوند، بنابراین روشهای شکل‌دهی با استفاده از جریان مذاب را می‌توان در مورد آنها به کار برد؛ این روشها عبارت‌اند از: قالب‌گیری تزریقی، اکستروژن و قالب‌گیری فشاری. از روش ترموفرمینگ (Thermoforming) نیز در بعضی موارد استفاده می‌شود.

ترموفرمینگ عبارت است از گرما دادن ورق پلاستیکی که در

است که در آن الیاف بلند تقویت کننده از داخل یک حمام رزین کاتالیزوردار عبور داده می‌شود و وارد حدیده‌ای می‌گردد که در آنجا کامپوزیت پخت می‌شود و شکل حدیده را به خود می‌گیرد، چون فرایند پیوسته است، از نظر تئوری محدودیتی برای طول محصول وجود ندارد. شکل ۱۱ طرحی از فرایند پولتروژن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ - فرایند پولتروژن

به دلیل هزینه پایین و خواص فیزیکی خوب معمولاً از الیاف شیشه به خصوص نوع E استفاده می‌شود. خواص محصول (مثلاً مقاومت کششی و خمشی) در جهت الیاف بسیار عالی است (مستجاوز از ۱۰۰۰۰۰ psi)، ولی خواص در جهت اریب خوب نیست. خواص در جهت اریب را می‌توان با افزودن نمذ شیشه‌ای، پارچه شیشه‌ای یا الیاف کوتاه‌تر تا اندازه‌ای تقویت کرد ولی همزمان خواص در جهت طولی تضعیف می‌شود. به این دلیل به هنگام طراحی یک قطعه پولتروژن شده، باید به دقت جهت عمده تنش را مورد بررسی قرار داد. خواص فیزیکی یک قطعه پولتروژن شده با ترکیب ۶۰ درصد وزنی الیاف شیشه و ۴۰ درصد رزین پلی استر در جدول ۳ نشان داده شده است.

مزایا	معایب
مقاومت بالا مقاومت در برابر مواد شیمیایی طولهای نامحدود هزینه کم وسایل ارزان و ساده پایداری ابعادی عالی سطوح صاف و صیقلی	مقاومت یک جهتی مقاومت برشی کم

قالب محکم شده است که در پی آن توسط خلاء و با اعمال فشار کالا شکل می‌گیرد. در این روش معمولاً الیاف کوتاه و ناپیوسته (عموماً الیاف شیشه) به عنوان تقویت کننده به کار می‌رود.

در فرایند قالب‌گیری تزریقی، مخلوط پلی‌مر گرما نرم و الیاف کوتاه که قبلاً به شکل حبه در آمده‌اند، ذوب می‌شوند و به داخل حفره قالب تزریق می‌گردند. مواد گرما نرمی که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارت‌اند از: نایلونها، پلی‌پروپیلن، پلی‌کربنات، کاپلی‌مسر (اکریلونیتریل - بوتادی‌ان - استیرن)، پلی‌استال و پلی‌استر. الیاف شیشه نیز متداولترین ماده تقویت کننده است. حبه‌ها معمولاً شامل الیاف، پلی‌مر گرما نرم، رنگدانه و روان کننده هستند.

حبه‌ها از طریق آغشته ساختن الیاف شیشه به پلی‌مر گرما نرم و سپس بریدن این الیاف تهیه می‌شوند یا از طریق اکستروژن کردن مخلوط پلی‌مر گرما نرم و الیاف به شکل مفتول و سپس حبه کردن آنها، به دست می‌آیند. در مواد گرما نرم تقویت شده با الیاف شیشه افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت و مدول و به علاوه کاهش انبساط گرمایی، مشاهده می‌شود. در سالهای اخیر کاربرد تجارتي مواد گرما نرم تقویت شده در زمینه تهیه قطعات صنعتی و الکترونیکی و کالاهای خانگی، توسعه پیدا کرده است. این کامپوزیتها را می‌توان با روشی که قالب‌گیری تزریقی واکنشی تقویت شده:

RRIM (Reinforced Reaction Injection Moulding) نامیده می‌شود، نیز تولید کرد. در واقع روش قالب‌گیری تزریقی واکنشی، *RRIM*، *Reaction Injection Moulding*) توسعه یافته است. در روش *RIM* دو جزء مایع با سرعت و فشار زیاد به داخل یک محفظه پمپ می‌شوند و سپس از آنجا با فشار به داخل قالب هدایت می‌گردند، که در قالب دو جزء به سهولت با یکدیگر ترکیب و پلی‌مرهایی تهیه می‌شود. مهمترین مواد مورد استفاده در این روش پلی‌سورتانها هستند. در *RRIM* الیاف کوتاه با پرکننده‌ها به یک یا هر دو جزء اضافه می‌شوند. دستگاه‌هایی که برای *RRIM* به کار می‌روند باید مقاومت کافی در برابر مواد چسبناک را داشته باشند. طول الیافی که می‌توان به کاربرد معمولاً به علت محدودیت ویسکوزیته کوتاه است. بیشتر کساربردهای *RIM* و *RRIM* در صنایع اتومبیل‌سازی است.

سطح مشترک در کامپوزیتها

خواص و رفتار نهایی کامپوزیتها ترکیبی از خواص و رفتار الیاف با فاز تقویت کننده و ماتریس و سطح مشترک بین فاز تقویت کننده و ماتریس است.

سطح مشترک فازهای تشکیل دهنده کامپوزیتها در حقیقت سطح تماس با مرز بین فازها است، که در آن خواص از قبیل مدول، مقاومت، دانسیته، ضریب انبساط گرمایی و غیره، از فازی به فاز دیگر تغییرات تدریجی یا ناگهانی پیدا می‌کنند. به علاوه انتقال تنش از ماتریس به فاز تقویت کننده نیز از طریق سطح مشترک صورت می‌گیرد.

دلیل اهمیت فوق‌العاده سطح مشترک در کامپوزیتها این است که سطح داخل اشغال شده توسط سطح مشترک می‌تواند بسیار گسترده باشد مثلاً در کامپوزیتی با کسر حجمی نسبتاً زیاد الیاف، در حدود ۳۰۰ cm^2/cm^3 است وجود هر نوع فاصله و فضای باز بین دو فاز می‌تواند مانند یک ترک عمل کرده خواص را تضعیف کند.

سطح تماس بین ماتریس و الیاف در اکثر کامپوزیتها به جای اینکه صاف و یکنواخت باشد پستی و بلندی‌هایی دارد. بنابراین در چنین حالتی بهتر است که از قابلیت خیس شدن سطح الیاف توسط ماتریس صحبت شود.

در کامپوزیتها این سطح مشترک باید بسیار محکم باشد (یعنی چسبندگی بین دو فاز زیاد باشد) و این امر مستلزم این است که ماتریس سطح الیاف را کاملاً خیس کند تا چسبندگی زیاد به دست آید. تماس بسیار نزدیک در سطح ملکولی، به ویژه در کامپوزیتهای پلی‌مری، باعث فعال شدن نیروهای بین مولکول خواهد شد که ممکن است اتصال شیمیایی دو فاز را به دنبال داشته باشد.

با استفاده از عوامل اتصال دهنده (*Coupling Agent*) مقدار این چسبندگی افزایش پیدا می‌کند. در روشهای دیگر برای افزایش چسبندگی از ماتریسهای اصلاح شده و الیاف اصلاح شده در سطح می‌توان استفاده کرد. پیوندهای حاصل بین دو فاز می‌تواند از نوع ضعیف واندروالسی یا نوع قوی کووالانسی باشد. روشهای معمول افزایش چسبندگی شامل پیوند دادن مکانیکی و پیوند دادن شیمیایی یا واکنشی است.

پیوند دادن مکانیکی شامل نفوذ فازها به داخل یکدیگر با انقباض ماتریس در اطراف الیاف و در نتیجه اعمال فشار بر فاز تقویت کننده است. در بسیاری از موارد پیوندهای مکانیکی به تنهایی برای افزایش چسبندگی کافی نیستند، ولی در ترکیب با پیوندهای شیمیایی نتیجه بهتری ارائه می‌دهند.

در پیوند دادن شیمیایی از مواد اتصال دهنده که تمایل ترکیب با هر دو فاز را دارند و در نتیجه مانند رابطی بین دو فاز عمل می‌کنند، استفاده می‌شود. مثلاً در مورد کامپوزیتهای پلی‌مری با الیاف شیشه بیشتر از ترکیبات آلی فلزی سیلان (*Silanes*) استفاده می‌شود. به نظر می‌رسد که تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین گروههای سیلانول موجود در سطح الیاف شیشه و گروههای هیدرولیز شده سیلان و تشکیل پیوندهای کووالانسی بین گروههای آلی سیلان و ماتریس پلی‌مری اساس عمل این ترکیبات را

تشکیل می‌دهد.

اکسایش سطحی الیاف کریل نیز افزایش چسبندگی را به دنبال دارد. کامپوزیت‌های فلزی تشکیل محلول‌های جامد (فلز در فلز) و ترکیبات حاصل از واکنش دو فلز در سطح مشترک، چسبندگی فازها را افزایش می‌دهد.

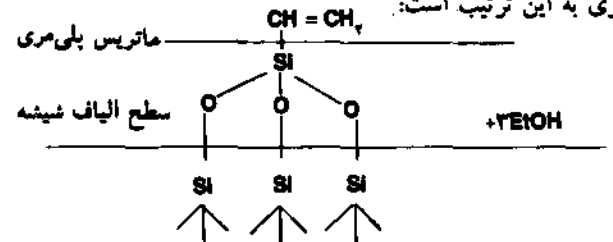
سطح مشترک در کامپوزیت‌های پلی‌مری

به منظور افزایش چسبندگی بین الیاف و ماتریس‌های پلی‌مری در کامپوزیت‌ها سطح الیاف باید با مواد اتصال دهنده آغشته شود. با این عمل علاوه بر تقویت چشمگیر بعضی از خواص، کامپوزیت‌ها خواص خود را در تماس دراز مدت با مایعات به ویژه آب حفظ می‌کنند.

از مواد اتصال دهنده در کامپوزیت‌های پودری نیز استفاده می‌شود که علاوه بر افزایش مقاومت سطح مشترک، ویسکوزیته کامپوزیت را در مرحله فرایند به مقدار زیادی کاهش می‌دهند، به طوری که افزایش مقادیر بیشتری از پرکننده امکان‌پذیر می‌شود. مقدار مطلوب در صد وزنی اتصال دهنده ۰/۵ تا ۱ است. از آنجا که رزین‌های پلی‌استر اشباع نشده و اپوکسی و الیاف شیشه بهترین ماتریس‌ها و الیاف تقویت کننده مورد استفاده در صنایع هستند، لذا اکثر اتصال دهنده‌های مهم تجاری، برای این سیستم‌ها تولید و طراحی شده‌اند. اتصال دهنده‌های مهم مصرفی، انواع سیلان‌ها متشکل از گروه‌های آلی هستند که با ماتریس‌های پلی‌مری می‌توانند ترکیب شوند. گروه‌های وینیلی و آلیلی جهت ترکیب با رزین‌های پلی‌استر و گروه‌های آمینی جهت واکنش با رزین‌های اپوکسی مناسب هستند. جزء دوم مولکول سیلان شامل گروه‌های معدنی یا معدنی-آلی است که با گروه‌های هیدروکسیل در سطح الیاف شیشه واکنش می‌دهد.

به عنوان مثال واکنش وینیل‌تری اتوکسی سیلان با یک ماتریس

پلی‌مری به این ترتیب است:



نمونه‌هایی از اتصال دهنده‌های مهم نوع سیلان و موارد استفاده

آنها در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵ - نمونه‌هایی از اتصال دهنده‌های سیلان و موارد استفاده آنها

در مورد کامپوزیت‌های شامل مواد گرمانرم با الیاف کوتاه، به نظر می‌رسد که اتصال دهنده‌های مرسوم تأثیری بر خواص نداشته باشند. در مورد این کامپوزیت‌ها خواص اکثراً تابع درجه سازگاری طبیعی بین دو فاز است. تقویت حاصل از پلی‌مرهای آبدوست (Hydrophilic) مانند نایلونها و پلی سولفون‌ها بیشتر از تقویت حاصل از پلی‌مرهای آب‌گریز (Hydrophobic) مانند پلی الفین‌ها و پلی استیرن است.

جدول ۶ اثر اتصال دهنده‌های نوع سیلان را بر خواص تعدادی از کامپوزیت‌های پلی‌مری نشان می‌دهد.

مواد اتصال دهنده بر پایه ترکیبات آلی فلزی کروم از اولین انواعی بودند که اهمیت تجاری یافتند. از دیگر انواع می‌توان ترکیبات آلی فلزی تیتان را نام برد که به ویژه در مورد پرکننده‌های معدنی مصارف فراوانی پیدا کرده‌اند.

جدول ۶ - اثر اتصال دهنده‌های سیلان بر مقاومت خمشی کامپوزیت‌های

پلی‌مر	مقاومت خمشی (Psi)		
	حالت تر	حالت خشک	بدون سیلان یا سیلان مناسب بدون سیلان مناسب
پلی‌استر	۳۵۰۰۰	۸۰۰۰۰	۶۰۰۰۰
اپوکسی	۳۰۰۰۰	۶۶۰۰۰	۷۸۰۰۰
ملامین فرمالدهید	۱۷۰۰۰	۸۶۰۰۰	۹۱۰۰۰
فنولی	۱۴۰۰۰	۵۰۰۰۰	۶۹۰۰۰
نایلون ۶۶	۱۴۰۰۰	۳۰۰۰۰	۱۷۰۰۰
پلی پروپیلن	۴۳۰۰	۵۰۰۰	۵۶۰۰
پلی کرپتات	۱۰۰۰۰	۱۲۰۰۰	۱۴۵۰۰

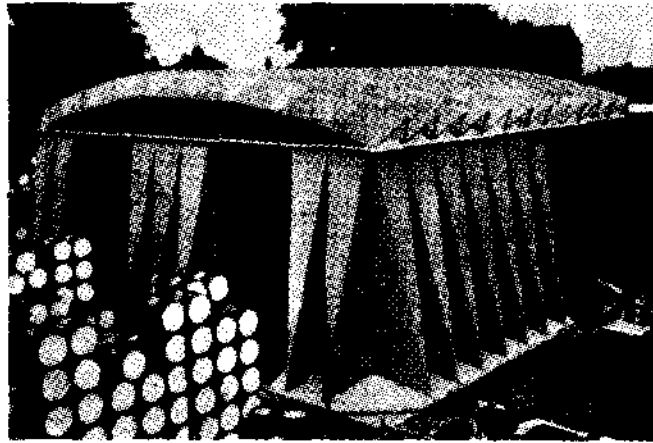
کاربردهای کامپوزیت‌های پلی‌مری

چون کامپوزیت‌های پلی‌مری کاربردهای متنوع و گسترده‌ای دارند، مطالب این قسمت به صورت خلاصه تحت عنوان صنایع مختلف مصرفی ارائه می‌شود.

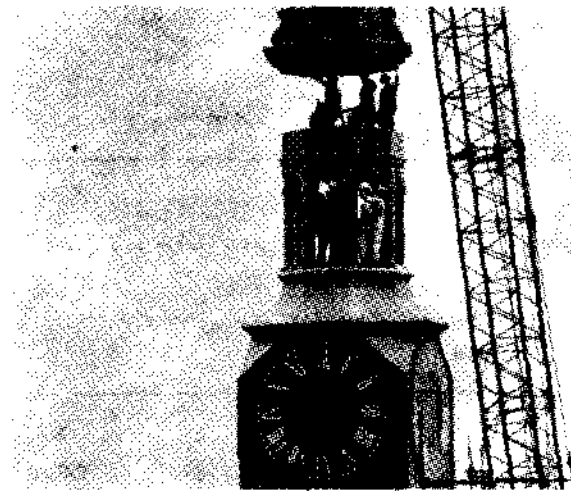
صنایع ساختمان سازی: وزق‌های شیروانی و سقفی، نماهای خارجی، پارتنش‌های داخلی، دیوارهای پیش ساخته، واحدهای حمام و

موارد استفاده مواد گرما نرم	مواد گرما سخت	اتصال دهنده
نایلونها	پلی استرها	$(\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{SiCl}_2)$
نایلونها - پلی کرپتات	پلی استرها	$(\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{Si}(\text{OEt})_2)$
پی.وی.سی - پلی پروپیلن	اپوکسیها	$(\text{NH}_2 - (\text{CH}_2)_6 - \text{Si}(\text{OEt})_2)$
اکریلیکها - ABS	ملامین فرمالدهید	آلیل تری کلروسیلان - زورسینول
	اکثر رزینها	$(\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{SiCl}_2 - \text{O} - \text{O})$

وان، دستشویی، مخازن آب، لوله‌ها و دودکشها، درب و پنجره.
 شکل ۱۲ و ۱۳ انباری جهت ذخیره مواد شیمیایی و نصب قسمتی
 از برج ساعت کلیسایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲



شکل ۱۳

صنایع حمل و نقل و صنایع مربوطه: قایقهای ماهیگیری و تفریحی
 و ورزشی، قایقهای مین‌یاب، بدنه واگنهای قطار، قسمتهای گوناگون بدنه
 خودروهای سبک و سنگین، مخازن تانکرها، سردخانه‌های کانتینری،
 قطعات موتور، رینگ چرخ، محور انتقال نیرو.



شکل ۱۴

صنایع شیمیایی: دودکشهای کارخانه‌ها، ستونهای تقطیر، لوله‌های
 انتقال مواد شیمیایی و بخار، مخازن تحت فشار، تانکهای ذخیره مسود
 شیمیایی.

صنایع هوافضایی: قسمتهای مختلف بدنه و سیستمهای کنترل
 هواپیما و هلی‌کوپترهای سبک، سکانهای عمودی و افقی در هواپیماهای
 نظامی، تیغه‌های هلی‌کوپتر، پوشش رادار، لوله‌های محافظ کابل‌های
 الکتریکی، پوسته و نازل راکت و موشک، تیغه‌های موتورهای جت و
 قطعات پولاترود شده و آبلاتور در شاتل فضایی.
 صنایع الکتریکی و الکترونیکی: ورق مدارها، کلیدها و کنتورها و
 پوسته وسایل الکتریکی.
 وسایل ورزشی و خانگی: راکت، صندلی، پوسته وسایل
 الکتریکی.

سایر صنایع: چرخ دنده، یاتاقان، بوش، اتصالات مصنوعی داخلی
 و خارجی بدن.
 سایر کامپوزیتها

همان طور که در مبحث ماتریس‌ها، در شماره‌های قبل، علاوه بر
 ماتریسهای پلی‌مری به ماتریسهای سرامیکی و فلزی اشاره گردید. این
 ماتریسها نیز می‌توانند همانند ماتریس‌های پلی‌مری توسط تقویت
 کننده‌های پودری و لیفی تقویت شوند. امروزه کامپوزیتها با ماتریس
 سرامیکی و فلزی اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده‌اند. در ادامه مقاله
 کامپوزیتهای سرامیکی و فلزی به اختصار مورد بررسی قرار می‌گیرند.

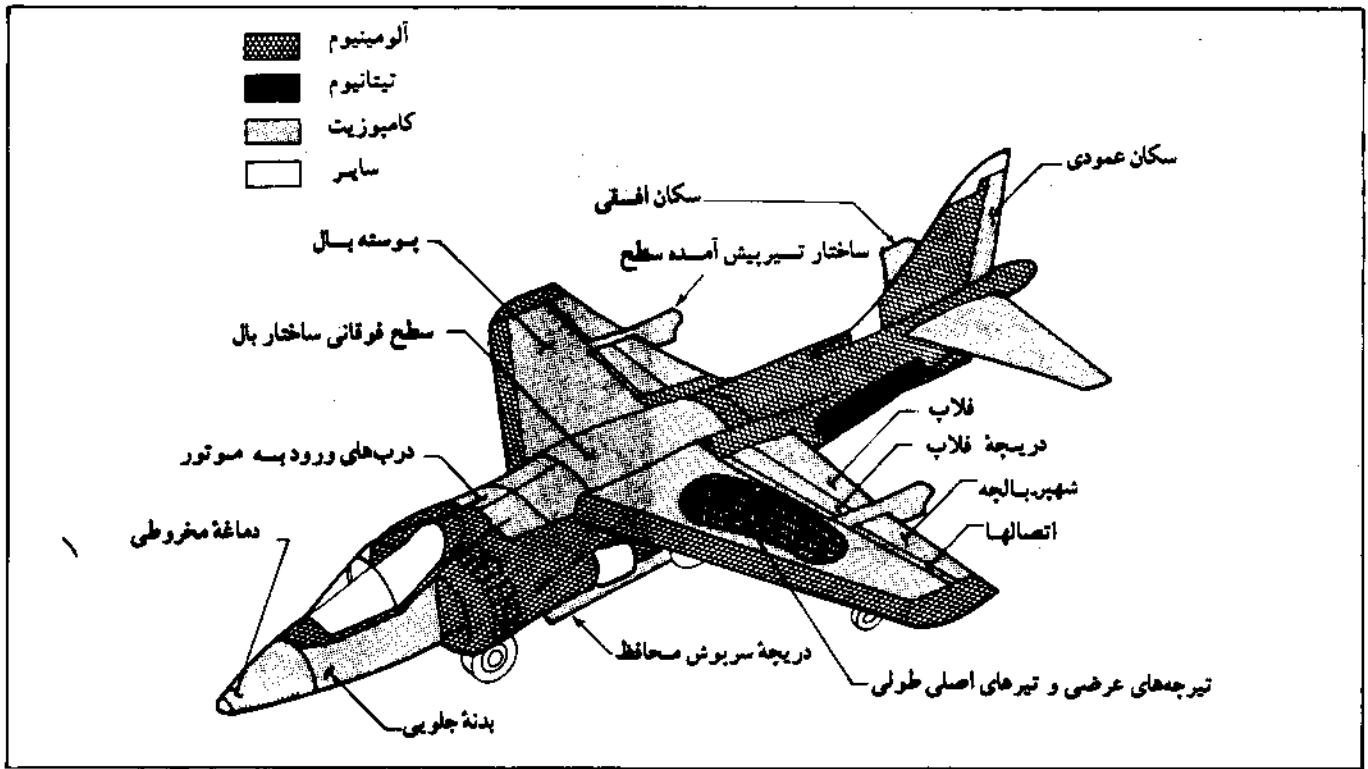
کامپوزیتها با ماتریس فلزی

مهمترین کامپوزیتهای فلزی شامل سیستم‌های بور / آلومینیم و
 کربن / آلومینیوم و آلومینا / آلومینیم و سیلیسیم / آلومینیم و مهمترین
 روشهای تهیه و شکل دهی کامپوزیتهای فلزی روشهای حالت جامد و
 حالت مایع و شکل دهی در محل (in situ) هستند.

در روشهای جامد، لایه‌های الیاف تقویت کننده و ورقهای آلومینیم
 یک در میان روی هم چیده می‌شوند، سپس با اعمال فشار و گرما در حلال،
 ماتریس سیال شده و الیاف را کاملاً در برمی‌گیرد. کامپوزیتهای بور
 آلومینیم با این روش تهیه می‌شوند.

روشهای مایع شامل گرما دادن به ماتریس فلزی تا مرحله ذوب و
 آغشته ساختن الیاف با مذاب فلزی است. انجام این روش تحت حلال یا در
 فضای گاز خنثی بدون اعمال فشار امکان پذیر است. کامپوزیتهای آلومینا
 / آلومینیوم با این روش شکل داده می‌شوند.

در روشهای شکل دهی در محل آلیاژ او تکتیکی (Eutectic)، منظور
 آلیاژی از دو فلز یا مخلوطی از یک فلز و یک کاربید است که نقطه ذوب
 منبهم دارد (را پس از ذوب کردن تسخت شرایسط کنترل شده منجمد
 می‌سازند. یکی از فازها (معمولاً فاز کاربید) به شکل الیاف در فاز دیگر
 منجمد می‌شود. افزایش مقاومت سطح مشترک در کامپوزیتهای فلزی
 بازبرساختن سطح الیاف یا از طریق اصلاح شیمیایی سطح الیاف یا



شکل ۱۵

جدول ۷ - خواص بعضی از کامپوزیتهای فلزی در جهت الیاف

کامپوزیت درصد حجمی الیاف جرم مخصوص مقاومت کششی مدول کششی	Gpa	g/cc		
B/AI	۲۱۰	۱/۵	۲/۶۵	۵۰
SIC/AI	۳۱۰	۰/۲۵	۲/۸۲	۵۰
Al ₂ O ₃ /AI	۳۶۲	۰/۷	۲/۴۵	۶۰
C/AI	۱۶۰	۰/۷	۲/۴۵	۳۰

کامپوزیتهای سرامیکی معمولاً در دو مرحله تهیه می‌شوند و شکل می‌گیرند. در مرحله اول، الیاف بلند با عبور از حمام مستشکل از پودر سرامیک، مایع مناسب و چسب پلی‌مری کاملاً خیس می‌شوند. این الیاف پس از خشک شدن در اندازه و شکل‌های مناسب بریده شده و در مرحله دوم تحت فشار و گرمای زیاد به شکل مورد نظر قالب‌گیری می‌شوند. استفاده از فشار همراه با گرمای زیاد که از نظر اقتصادی با صرفه نیست، تنها روش شکل‌دهی این کامپوزیتهای به شمار می‌رود.

چون در تهیه قطعات گوناگون از کامپوزیتهای سرامیکی از دماهای بالا استفاده می‌شود، سطح مشترک بین فازها علاوه بر افزایش خواص مکانیکی، باید وظیفه کاهش تأثیر تفاوت انبساط گرمایی فازها را به ویژه پس از سرد شدن، نیز به عهده داشته باشد. بررسی میزان سازگاری بین ماتریس و الیاف در این کامپوزیتهای نیز با مطالعات ترمودینامیکی و سینتیکی امکان‌پذیر است. پیوندهای بین دو فاز غالباً از نوع ساده مکانیکی است که

ماتریس فلزی امکان‌پذیر است. پوششهای سیلیسیم کاربید و بور کاربید به سطح الیاف بور و پوششهای تیتان و بور بر سطح الیاف کربن از جمله اصلاحاتی است که چسبندگی بین آلومینیم و الیاف را به شدت افزایش می‌دهد. آلیاژ کردن آلومینیم با فلزاتی چون لیتیم (حدود ۲-۳ درصد وزنی) چسبندگی را با الیاف آلومینا افزایش می‌دهد و کامپوزیتهای مقاومتری تولید می‌کند.

کامپوزیتهای فلزی از نظر مدول و مقاومت ویژه و مقاومت در برابر ضربه و عوامل محیطی برجسته‌اند و از نظر تحمل دماهای بالا و انبساط گرمایی بر کامپوزیتهای پلی‌مری برتری دارند. جدول ۷ خواص بعضی از کامپوزیتهای فلزی را در امتداد جهت الیاف نشان می‌دهد.

علاوه بر خواص پیش‌گفته، مقاومت فشاری و یرشی بالا، کامپوزیتهای فلزی را انتخاب‌های مناسبی برای کاربردهای هوا فضا و خود روستازی ساخته است. از جمله مصارف این کامپوزیتهای در صنایع هوا - فضا می‌توان از قطعات بدنه هواپیما، هلی‌کوپتر و شاتل فضایی و قطعات موتورهای جت و زاکت را نام برد.

کامپوزیتهای با ماتریس سرامیکی

همان‌طور که در شماره‌های قبیل اشاره شد حساسیت در برابر شکنندگی مهمترین نقطه ضعف ماتریسهای سرامیکی به شمار می‌رود. هدف از تهیه کامپوزیتهای سرامیکی علاوه بر کاهش ضعف فوق، استفاده از مقاومت بسیار خوب آنها در دماهای بالا و جرم مخصوص نسبتاً مناسب آنها است.

REFERENCES:

[1] K.K. Chawla, *Composite Materials Science and Engineering*, Springer - Verlag, N. Y. 1987
 [2] I. R. Winson and Tsu - Weiclan, *Composite Materials and Their Use in Structures*, Allied Science, London, 1975
 [3] B. Porkyn, Ed. *Glass Reinforced Plastics*, Illif Books, London, 1970
 [4] R. G. Weatherhead, *FRP Technology*, Application Science Publishers, London 1980
 [5] M. Holmes and D. I. Just, *GRP in Structural Engineering Application*, Science Publishers, London, 1983
 [6] C. A. Harper, Ed. *Handbook of Plastics and Elastomers*, McGraw Hill Book Co., N. Y., 1975

در آن ماتریس سرامیکی تحت فشار تا اندازه‌ای به داخل سطوح الیاف نفوذ می‌کند. وجود پیوندهای شیمیایی در این کامپوزیتها تا به حال گزارش نشده است.

با وجود قیمت زیاد و کاربرد کم، مهمترین خواص این کامپوزیتها مقاومت و مدول بالا به ویژه در دماهای بسیار زیاد و همچنین خستگی بودن شیمیایی آنهاست و مهمترین ماتریسهای مورد استفاده شیشه‌های نوع بور سیلیکات (Borosilicate)، لیتیم آلومینوسیلیکات، (Lithium LAS)، متیزیم اکسید و آلومینا و الیاف تقویت کننده عمدتاً از نوع کربن و سیلسیم کاربرد هستند. جدول ۸ خواص LAS تقویت شده با ۵۰ درصد حجمی الیاف سیلسیم کاربرد را نشان می‌دهد.

جدول ۸ خواص LAS تقویت شده با ۵۰ درصد حجمی الیاف SIC در امتداد الیاف

مقدار	خواص
۲/۵	جرم مخصوص (g/cc) مقاومت خمشی (MPa)
۶۰۰	دمای عادی
۸۵۰	۱۰۰۰°C مقاومت در برابر ضربه (MPa.m) ^{۱/۲}
۱۷	دمای عادی
۲۵	۱۰۰۰°C

در مورد افزایش مقاومت در برابر ضربه کامپوزیتهای سرامیکی، مکانیسمهای مختلفی پیشنهاد شده است. به نظر می‌رسد که مهمترین مکانیسم فعال شامل انحراف مسیر ترکها و جلوگیری از گسترش آنها توسط الیاف باشد. برای این منظور میزان و چسبندگی بین دو فاز نباید زیاد باشد.

یکی از مهمترین کاربردهای کامپوزیتهای سرامیکی در ابزار تراش است که به تدریج جایگزین نوع کاربید و فلز در این ابزار می‌شوند. در حال حاضر مصرف این کامپوزیتها به دلیل هزینه بالا و عدم اطلاع کافی از میزان مقاومت آنها در برابر ضربه و همچنین عدم امکان ساخت قطعات پیچیده از آنها محدود است.

